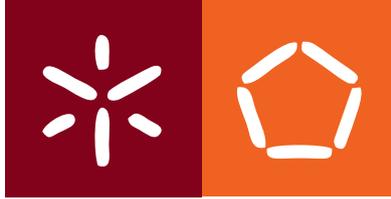


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vânia Filipa Fernandes da Silva

**Relação entre a exposição a elementos
potencialmente tóxicos e as tarefas mais
frequentes de soldadores da Indústria
Metalomecânica**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vânia Filipa Fernandes da Silva

**Relação entre a exposição a elementos
potencialmente tóxicos e as tarefas mais
frequentes de soldadores da Indústria
Metalomecânica**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Humana

Trabalho elaborado sob a orientação do
Professor Doutor Néilson Bruno Martins Marques da Costa

e do
Doutor Francisco António Coelho e Silva

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Obrigada aos meus orientadores que alimentaram desde o primeiro momento deste estudo, a minha motivação e a vontade de fazer acontecer.

Um especial agradecimento às empresas que me abriram portas e me confiaram os seus valiosos fios de cabelo.

Aos meus avós que me abriram caminho para ser quem sou e sempre se orgulharam das minhas vitórias.

Aos meus pais e irmão que me acompanham nos grandes momentos da vida.

Aos meus amigos que me fazem querer ser melhor pessoa, que me arrancam gargalhadas, fazem-me sentir especial e estão sempre comigo.

A ti Ricardo, amor da minha vida que no melhor e no pior, nunca me largas a mão, que me apoias e incentivas a pôr-me à prova e a ser cada vez melhor. Para ti, todo o amor sempre.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Relação entre a exposição a elementos potencialmente tóxicos e as tarefas mais frequentes de soldadores da Indústria Metalomecânica

Este estudo teve como objetivo determinar a concentração de elementos potencialmente tóxicos, através da análise ICP-MS de fios de cabelo de soldadores da Indústria Metalomecânica.

Os resultados obtidos dos soldadores foram comparados com os resultados obtidos para trabalhadores sem exposição a fumos de soldadura, tendo-se verificado que as concentrações de elementos potencialmente tóxicos nas amostras de cabelo dos soldadores apresentam tendencialmente valores médios superiores, de acordo com o esperado.

Através deste estudo foi possível verificar que a análise ICP-MS de fios de cabelo humano apresenta ser uma ferramenta de biomonitorização com potencial, face aos resultados obtidos e às vantagens que oferece comparativamente com a utilização de outras amostras biológicas, tais como o sangue e urina.

PALAVRAS-CHAVE: análise de cabelo humano; biomarcadores; biomonitorização; ICP-MS; metais pesados; soldadura.

ABSTRACT

Relationship between the exposure to potentially toxic elements, and the most frequent tasks of welders in the Metalworking Industry

This study allowed to determine the concentration of potentially toxic elements, through the ICP-MS analysis of hair strands of welders in the Metalworking Industry.

The results obtained from the welders were compared with the results obtained for the welders were compared with the results obtained for workers without exposure to welding fumes, and it was verified that the concentrations of potentially toxic elements in the hair samples of the welders tend to present higher average values, as expected.

Through this study, it was possible to verify that the ICP-MS analysis of human hair is a potential biomonitoring tool, given the results obtained and the advantages it offers compared to the use of other biological samples, such as blood and urine.

KEYWORDS: hair analysis; biomarkers; biomonitoring; ICP-MS; heavy metals; welding.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	ii
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE.....	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE vi	
ÍNDICE DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Metodologia de investigação.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Estrutura da Dissertação	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Processos de Soldadura	7
2.2 Riscos Ocupacionais resultantes da atividade de Soldadura.....	9
2.3 Avaliação dos riscos químicos nos processos de soldadura	11
2.3.1 Agentes químicos tipicamente presentes nos tipos de soldadura SMAW, MIG/MAG, por pontos e por bossas	14
2.4 Efeitos adversos na saúde dos trabalhadores expostos a fumos de soldadura.....	16
2.5 Monitorização ambiental e Monitorização biológica ou biomonitorização.....	22
2.6 Papel do cabelo humano na biomonitorização da exposição a EPT's	30
3. PROTOCOLO EXPERIMENTAL	36
3.1 Apresentação do trabalho de investigação, recrutamento e triagem.....	36
3.2 Caracterização das Entidades participantes	37
3.2.1 Entidade 1	38
3.2.2 Entidade 2	39
3.2.3 Entidade 3	39
3.3 Caracterização dos Grupos de Controlo e de Exposição.....	40
3.3.1 Recolha e tratamento dos dados dos participantes.....	40
3.3.2 Caracterização dos Grupos de Controlo e de Exposição.....	40
3.3.2.1 Entidade 1	41

3.3.2.2 Entidade 2	42
3.3.2.3 Entidade 3	44
3.4 Recolha, lavagem e secagem das amostras de cabelo	45
3.5 Digestão das amostras de cabelo	47
3.6 Procedimento.....	50
3.7 Controlo de Qualidade	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
4.1 Entidade 1	54
4.1.1 Amostras de cabelo.....	54
4.1.1.1 Atividade ocupacional.....	54
4.1.1.2 Género.....	59
4.1.2 Soluções de lavagem.....	62
4.1.2.1 Atividade ocupacional.....	62
4.1.2.2 Género.....	65
4.2 Entidade 2	68
4.2.1 Amostras de cabelo.....	68
4.2.1.1 Atividade ocupacional.....	68
4.2.2 Soluções de lavagem.....	72
4.2.2.1 Atividade ocupacional.....	72
4.3 Entidade 3	75
4.3.1 Amostras de cabelo.....	75
4.3.1.1 Atividade ocupacional.....	76
4.3.2 Soluções de lavagem.....	77
4.3.2.1 Atividade ocupacional.....	77
4.4 Discussão dos resultados	79
5. CONCLUSÃO.....	84
5.1 Recomendações para trabalhos futuros	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
Anexo I - <i>Flyer</i> disponibilizado a todos os trabalhadores das entidades participantes para a apresentação do estudo e recrutamento de participantes.....	98
Anexo II - Composição química das matérias-primas utilizadas na entidade 1	99
Anexo III - Composição química das matérias-primas utilizadas na entidade 2	102

Anexo IV - Composição química das matérias-primas utilizadas na entidade 3	103
Anexo V - Questionário disponibilizado aos participantes dos Grupos de Controlo (C1, C2, C3).....	104
Anexo VI - Questionário disponibilizado aos participantes dos Grupos de Exposição (E1, E2, E3)	107
Anexo VII - Massa das soluções de lavagem das amostras.....	111
Anexo VIII - Concentração dos biomarcadores nos grupos de exposição (E1, E2, E3) e de controlo (C1, C2, C3), de acordo com a faixa etária.	114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos tipos de soldadura em análise (adaptado de Dehghan & Mehrifar, 2019; Golbabaie & Khadem, 2015; Khaliq et al., 2006; Laohaudomchok et al., 2010; Li, Zhang & Lu, 2004; Luo et al., 2006; Loukazadeh, Sharifian & Aminian, 2009; OSHA, 2013; Quémerais et al., 2015; Riccelli et al., 2020).	14
Tabela 2 - Concentrações máximas dos elementos constituintes das matérias-primas utilizadas na entidade 1, no momento de recolha das amostras de cabelo.	38
Tabela 3 - Concentrações máximas dos elementos tipicamente presentes nas matérias-primas utilizadas na entidade 2, no momento de recolha das amostras de cabelo.	39
Tabela 4 - Concentrações máximas dos elementos das matérias-primas utilizadas na entidade 3, no momento de recolha das amostras de cabelo, no momento de recolha das amostras de cabelo.	39
Tabela 5 - Caracterização do grupo de exposição E1.	41
Tabela 6 - Caracterização do grupo de controlo C1.	42
Tabela 7 – Caracterização do grupo de exposição E2.	43
Tabela 8 – Caracterização do grupo de exposição C2.	43
Tabela 9 - Caracterização do grupo de exposição E3.	44
Tabela 10 - Caracterização do grupo de controlo C3.	45
Tabela 11 - Resultados da análise do material de referência certificado [mg/kg], para os elementos com valores certificados.	52
Tabela 12 - Resultados da análise do material de referência certificado [mg/kg], para os elementos com valores informativos.	52
Tabela 13 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E1, de acordo com a atividade ocupacional.	55
Tabela 14 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de controlo C1.	56
Tabela 16 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E1, de acordo com o género.	59
Tabela 17 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de controlo C1, de acordo com o género.	60
Tabela 18 - Concentrações (µg/L) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de exposição E1, de acordo com a atividade ocupacional.	62
Tabela 19 - Concentrações (µg/L) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de controlo C1, de acordo com a atividade ocupacional.	63

Tabela 20 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de exposição E1, de acordo com o género.....	66
Tabela 21 – Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de controlo C1, de acordo com o género.....	67
Tabela 22 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E2, de acordo com a atividade ocupacional.	69
Tabela 23 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de controlo C2, de acordo com a atividade ocupacional.	70
Tabela 24 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de exposição E2, de acordo com a atividade ocupacional.	73
Tabela 25 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de controlo C2, de acordo com a atividade ocupacional.	74
Tabela 26 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E3 e de controlo C3.	76
Tabela 27 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem dos grupos de exposição E3..	78
Tabela 28 - Composição química do aço GMW 3032, de acordo com o certificado de matéria-prima.	99
Tabela 29 - Composição química do aço GMW 2, de acordo com o certificado de matéria-prima.	99
Tabela 30 - Composição química do aço H320LA AM O, de acordo com o certificado de matéria-prima.	99
Tabela 31 - Composição química dos aços HC360 LA AM O, de acordo com o certificado de matéria-prima.	99
Tabela 32 - Composição química do aço STW 22, de acordo com o certificado de matéria-prima.....	100
Tabela 33 - Composição química do aço CR590T/340Y DP, de acordo com o certificado de matéria-prima.	100
Tabela 34 - Composição química do aço HCT590X, de acordo com o certificado de matéria-prima..	100
Tabela 35 - Composição químicas dos elétrodos usados no processo de soldadura MIG com gás de proteção à base de mistura de Ar e CO_2 , de acordo com a ficha técnica do produto.....	100
Tabela 36 - Composição química dos elétrodos utilizados no processo de soldadura por resistência, de acordo com a ficha técnica do produto.	101
Tabela 37 - Composição química dos elétrodos UltraMag utilizados na soldadura MIG com gás de proteção à base de mistura de Ar e CO_2 , de acordo com a ficha técnica do produto.....	101

Tabela 38 - Composição química dos terminais de soldadura utilizados na soldadura por pontos, de acordo com a ficha técnica do produto.	101
Tabela 39 - Composição química do aço S355J2H (matéria-prima de base), de acordo com a norma EN 10219-1, utilizado na soldadura MAG com gás de proteção de CO ₂ + Ar e na soldadura por arco elétrico manual.....	102
Tabela 40 - Composição química da liga de alumínio 1050 H24, de acordo com a norma EN 573, utilizada na soldadura MIG com gás de proteção de CO ₂ + Ar.....	102
Tabela 41 - Composição química do material de adição utilizado na soldadura MIG, de acordo com a norma EN ISO 18273:S AL 4043.....	102
Tabela 42 - Composição química dos eletrodos utilizados na soldadura por arco elétrico manual, de acordo com a norma ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5.	102
Tabela 43 - Composição química do aço S275JR+M, de acordo com as fichas técnicas dos aços, utilizados na soldadura MAG com gás de proteção de CO ₂ + Ar.	103
Tabela 44 - Composição química do material de adição, de acordo com a ficha de produto, utilizado na soldadura MAG da entidade 3.	103
Tabela 45 - Massa de cada uma das amostras de cabelo e da solução de lavagem, dos grupos de exposição E1 e de controlo C1.....	111
Tabela 46 - Massa de cada uma das amostras de cabelo e da solução de lavagem, dos grupos de exposição E2 e de controlo C2.....	112
Tabela 47 - Massa de cada uma das amostras de cabelo e da solução de lavagem, dos grupos de exposição E3 e de controlo C3.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACGIH	Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)
ACT	Autoridade para as Condições do Trabalho
Ag	Prata
Al	Alumínio
Ar	Árgon
As	Arsénio
B	Boro
Ba	Bário
Be	Berílio
Bi	Bismuto
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
cm	Centímetro
Co	Cobalto
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COV	Compostos orgânicos voláteis
Cr	Crómio
Cr (VI)	Crómio hexavalente
Cu	Cobre
DGS	Direção Geral da Saúde
dv	Desvio-padrão relativo
EPC's	Equipamentos de proteção coletiva
EPI's	Equipamentos de proteção individual
EPT's	Elementos potencialmente tóxicos
F	Flúor
Fe	Ferro
g	Grama
H	Hidrogénio

He	Hélio
HNO ₃	Ácido nítrico
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogénio
IAIE	Agência Internacional de Energia Atômica (International Atomic Energy Agency)
IARC	Agência Internacional de Investigação do Cancro (International Agency for Research on Cancer)
IBE	Índice biológico de exposição
ICP-MS	Espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (Inductively coupled plasma mass spectrometry)
IV	Infravermelhos
K	Potássio
Kg	Quilograma
LDM	Limite de deteção do método
Li	Lítio
MAG	Soldadura por arco elétrico com gás de proteção ativo (Metal active gas)
Máx.	Máximo
Mg	Magnésio
mg	Miligramas
MIG	Soldadura por arco elétrico com gás de proteção inerte (Metal inert gas)
Min.	Mínimo
ml	Mililitro
mm	Milímetros
m ³	Metro cúbico
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdénio
MRC	Materiais de referência certificados
N	Azoto
n	Tamanho da amostra
Na	Sódio
Nb	Nióbio
Ni	Níquel

NIOSH	Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health)
nm	Nanómetro
NO _x	Óxidos nitrosos
NO ₂	Dióxido de azoto
NP	Norma Portuguesa
O ₃	Ozono
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSHA	Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (Occupational Safety & Health Administration)
P	Fósforo
Pb	Chumbo
ppm	Parte por milhão
PSOC	Partículas insolúveis ou fracamente solúveis sem outra classificação
Rb	Rubídio
S	Enxofre
SEM-EDX	Espectroscopia de raios-X com dispersão de energia
Sb	Antimónio
Se	Selénio
Si	Silício
SMAW	Soldadura por arco elétrico com elétrodo revestido (Shielded metal arc welding)
Sn	Estanho
Sr	Estrôncio
Th	Tório
Tl	Tálio
T°	Temperatura
U	Urânio
UV	Ultravioleta
W	Tungsténio
WHO	Organização Mundial de Saúde (World Health Organization)
V	Vanádio
VLE	Valor limite de exposição

VLE-MP	Valor limite de exposição – Média ponderada
VLE-CD	Valor limite de exposição – Curta duração
Zn	Zinco
°C	Grau Celsius
µg	Microgramas
µm	Micrómetro
µg/L	Micrograma por litro
mg/kg	Miligrama por quilograma

1. INTRODUÇÃO

Os soldadores encontram-se expostos a um conjunto de riscos ocupacionais, vastamente estudados e por isso, muito bem caracterizados. Por outro lado, no que diz respeito aos efeitos crónicos na saúde destes profissionais associados à exposição aos fumos de soldadura, não se encontram tão bem definidos, quanto a comunidade científica desejaria. Mesmo após a realização de vários estudos a comprovar os efeitos na saúde humana deste tipo de exposições, há ainda um longo caminho a fazer no que diz respeito à prevenção e controlo da exposição.

Deste modo, estudar recursos de monitorização alternativos que contribuam para a prevenção e o controlo da exposição aos fumos de soldadura, é um contributo importante para a melhoria das condições de trabalho e por consequente, da saúde dos soldadores e de outros profissionais com exposição nos seus locais de trabalho.

Neste estudo, realizou-se a análise elementar de fios de cabelo, através de equipamento ICP-MS (Espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo), de soldadores e de profissionais não soldadores, mas com exposição a fumos de soldadura e ainda de profissionais sem exposição (grupo de controlo), inseridos na indústria metalomecânica.

Foi possível verificar que o uso de amostras de cabelo na biomonitorização constitui uma alternativa praticável, fiável e com grande potencial na revolução da biomonitorização.

Os resultados obtidos estão de acordo com o esperado, tendo-se verificado que os soldadores apresentaram concentrações médias superiores em relação aos grupos de controlo, em especial para os elementos potencialmente tóxicos (EPT's) tipicamente presentes na atmosfera de trabalho nos processos de soldadura em geral. Destes elementos salientam-se: Al, Co, Cr, Mn, Fe, Ni, Mo, Ti, Ag, Zn, Cd e o Pb. Além disso, as concentrações médias das amostras de cabelo dos soldadores apresentaram valores superiores relativamente aos valores de referência certificados do cabelo humano usado neste estudo.

1.1 Enquadramento

Na indústria metalomecânica são usados diversos processos de transformação de metais, dos quais fazem parte os processos de soldadura. Esta indústria constitui uma das indústrias economicamente mais ativas do mundo, uma vez que, a transformação de metais é aplicada em diversas atividades, tais como, a construção civil, a construção naval, a indústria de equipamentos médicos, a indústria eletrónica, a indústria de equipamentos e materiais desportivos, a indústria automóvel, as indústrias petroquímica e metalúrgica e entre outras atividades industriais. Os processos de soldadura desempenham também um papel muito importante em atividades de manutenção de equipamentos e instalações industriais em

diversos setores de atividade (Golbabaiei, & Khadem, 2015; Marrugo et al., 2019; Yadav, & Agarwal, 2020). A soldadura é por isso, um processo industrial comum, que consiste na união de peças metálicas com recurso a uma fonte de calor (Yadav, & Agarwal, 2020) e estima-se que em todo mundo existam mais de 10 milhões de soldadores expostos a fumos de soldadura e em igual número ou superior, outras pessoas se encontram igualmente expostas de forma indireta (Cherrie, & Levy, 2020). Só na Europa, estima-se que existem cerca de 730.000 soldadores a tempo inteiro e cerca de 5,5 milhões de pessoas que pontualmente executam soldadura (Dehghan, & Mehrifar, 2019; Golbabaiei, & Khadem, 2015; Mehrifar, Zeverdegani, & Faraji, 2019; Santos, & Almeida, 2017). Ainda que os processos de soldadura tenham vindo a tornar-se cada vez mais mecanizados e automatizados, há ainda atualmente a necessidade de se realizarem mais estudos de investigação, no que diz respeito aos seus efeitos na saúde dos soldadores e outros trabalhadores expostos. Os soldadores, em específico, encontram-se expostos a um conjunto de riscos ocupacionais como resultado das atividades de soldadura, sendo que, os riscos resultantes da exposição a EPT's (Elementos potencialmente tóxicos), incluindo os metais pesados, correspondem aos riscos com maior preocupação para a comunidade científica. A exposição a fumos de soldadura tem efeitos na saúde cientificamente comprovados, como por exemplo o cancro, sendo dada especial atenção ao desenvolvimento de doenças pulmonares crónicas entre os soldadores. É de salientar que o cancro é atualmente considerado a primeira causa de morte relacionada com o trabalho na União Europeia. O cancro resultante da atividade profissional mata 10 pessoas em cada hora, existindo pelo menos 32 milhões de trabalhadores expostos a substâncias cancerígenas e estimase que no ano de 2012 tenha sido diagnosticado cancro entre 91.500 e 150.500 trabalhadores que estiveram expostos a substâncias cancerígenas no trabalho. Para o mesmo, estima-se que entre 57.700 e 106.500 trabalhadores tenham morrido de cancro profissional devido a exposição a substâncias cancerígenas presentes no local de trabalho. Neste contexto, a Organização Mundial de Saúde (World Health Organization - WHO) e a Agência Internacional de Investigação do Cancro (International Agency for Research on Cancer - IARC) destacam a proteção dos trabalhadores relativamente às substâncias cancerígenas como uma das medidas preventivas do Código Europeu contra o cancro, considerando que o “cancro de origem profissional é evitável, o que significa que a proteção dos trabalhadores é fundamental e deve ser salvaguardada e exigida pelos próprios trabalhadores” (DGS, 2018).

Além disso, estes profissionais fazem parte de um dos grupos de trabalhadores mais negligenciados, sofrendo de vários problemas relacionados com o trabalho, como resultado não só da lacuna do conhecimento acerca dos efeitos na sua saúde, mas também muitas das vezes, pelas precárias condições de trabalho e das medidas de segurança e saúde no trabalho (Joshi, Dhakal, & Shrestha,

2020). Os fumos de soldadura são misturas complexas de diferentes metais, cuja composição e quantidade emitida dependem das matérias-primas utilizadas, da existência de revestimentos, do tipo de soldadura, do ambiente onde o processo é realizado e ainda, da experiência do soldador (Bakri, Hariri, & Ismail, 2019). Os soldadores estão expostos a elevadas quantidades de fumos, que independentemente do tipo de soldadura, estes agentes químicos são misturas complexas de gases e ricos em metais, prejudiciais quer para o ambiente, quer para a saúde humana (Laohaudomchok et al., 2010) e que podem entrar no organismo, principalmente através do aparelho respiratório, provocando efeitos em todos os sistemas do corpo humano (Marrugo et al., 2019). Torna-se por isso, urgente a prevenção da ocorrência de doenças profissionais resultantes da exposição ocupacional a fumos de soldadura, assim como, a informação e a sensibilização dos trabalhadores expostos ou potencialmente expostos e das entidades empregadoras, acerca dos efeitos indesejados na saúde dos trabalhadores expostos. Para além da exposição ocupacional (Apostoli, 2002; Chojnacka et al., 2012; Damastuti et al., 2017; Ishak, Rosli, & Mohamed, 2015), a entrada de metais, incluindo os metais pesados, pode ocorrer também através da alimentação (Baran, & Wieczorek, 2013), da exposição ambiental como consequência da poluição (Liang, Pan, & Liu, 2017) e de fenómenos naturais, a título de exemplo, da atividade vulcânica (Amaral, Arruda, & Cabral, 2008). Ainda que em concentrações baixas, os metais pesados podem também entrar no organismo humano através de produtos de tratamento de beleza, através da ingestão de fármacos e como resultado de hábitos tabágicos (Apostoli, 2002). Os metais pesados são elementos que estão presentes na natureza como elementos constituintes e fundamentais para a ocorrência de vários processos biológicos, desde que mantidos em níveis normais (Apostoli, 2002). Adicionalmente, os metais pesados são artificialmente emitidos para o ambiente fruto da ação antropogénica, através da agricultura, das indústrias e entre outras atividades (Chojnacka, Saeid, & Michalak, 2012). Por não se degradarem biologicamente, podem permanecer na natureza centenas de anos, inserindo-se na cadeia alimentar, desde os vegetais à água e consequentemente nos seres vivos. Apesar de muitos dos metais constituírem micronutrientes essenciais ao correto funcionamento do organismo humano (como o Fe, o Cu, o Zn, o Cr e o As), podem tornar-se tóxicos, quando ingeridos em concentrações superiores aos valores biologicamente admissíveis, ao passo que, alguns micronutrientes não essenciais (como o Cd, o Hg e o Pb), com papéis ainda desconhecidos nos organismos vivos, são tóxicos mesmo em concentrações muito baixas, representando um sério risco à saúde humana. Assim, não é possível definir os metais pesados como elementos tóxicos para o organismo humano, uma vez que, quando mantidos em concentrações baixas, não produzem efeitos tóxicos (Feisal et al., 2019; Jaishankar et al., 2014). Os metais tornam-se tóxicos para o organismo humano, quando este não

consegue metabolizar estes elementos pelo organismo e acumulam-se nos tecidos, atingindo valores acima dos valores biologicamente admissíveis (Feisal et al., 2019; Liang et al., 2017). A partir destes valores, pode ocorrer intoxicação aguda ou crónica, que pode danificar ou reduzir a função nervosa mental e central, a composição do sangue, dos pulmões, dos rins, do fígado e em outros órgãos, onde a exposição prolongada pode causar efeitos físicos, musculares e condições degenerativas neurológicas e ainda, doenças oncológicas (Feisal et al., 2019). A concentração de metais pesados no organismo humano pode ser determinada recorrendo a matrizes biológicas, como o sangue, a urina e a saliva, as unhas (Rashed, & Hossam, 2007), os dentes (Mehra, & Juneja, 2004) e também o cabelo (Baran, & Wieczorek, 2013; Chojnacka et al., 2012; Liang et al., 2017). O cabelo, em específico, comparativamente com outras amostras biológicas apresenta várias vantagens, tais como: a facilidade de recolha de amostras por não se tratar de um processo invasivo, a facilidade de transporte e a estabilidade das amostras (Zhang, Chai, & Sun, 2007), a obtenção de concentrações superiores de metais pesados (Doğan-Sağlamtimur, & Kumbur, 2010), o que facilita o processo analítico e aumenta a precisão do mesmo (Dorosz et al., 2006; Suliburska et al., 2015; Wiechuła et al., 2007; Wójciak et al., 2019), a obtenção de uma retrospectiva temporal de exposição muito superior (Appenzeller et al., 2016; Ash, & He, 2018,) quando comparado com os fluidos corporais e ainda, a concentração nele presente refletir o nível médio presente no organismo (Mehra, & Juneja, 2004), no momento de formação do cabelo (Damastuti et al., 2017). Tais resultados são conseguidos porque o cabelo é um tecido com baixa taxa de crescimento, quando comparada por exemplo com as unhas (Apostoli, 2002) e à medida que cresce, nutrientes e elementos tóxicos como os metais pesados entram na corrente sanguínea dos folículos capilares (Damastuti et al., 2017). Posteriormente e graças à sua rica composição em queratina, que por sua vez, é composta por aminoácidos com elevada afinidade de ligação com iões metálicos, formam-se ligações com os iões dos metais pesados presentes nos folículos capilares, que ficam acumuladas à medida que o cabelo cresce (Woźniak et al., 2019). A análise de cabelo tem vindo a ser vastamente utilizada em vários estudos de âmbito ocupacional, salientando-se, o estudo realizado por Reiss, Simpson, Baker, & Stover (2015), onde foi determinada a concentração de Mn no cabelo de soldadores, o estudo de Damastuti et al. (2017), no qual foi determinada a concentração de Hg, Cr, Pb e As em trabalhadores de uma oficina automóvel. Hassani et al., (2015) concluíram no seu estudo que o uso de amostras biológicas (sangue, urina e cabelo) é uma ferramenta de biomonitorização de grande utilidade, em especial, no que se refere à monitorização da exposição ao Mn. Grande parte dos processos de soldadura são realizados em aços ao carbono ou de baixa liga, em que os elétrodos são maioritariamente compostos por Fe e quantidades variáveis de Mn. Nos fumos de soldadura, para além destes elementos,

podem ainda ser encontrados o Cu e o Zn (Hassani, Golbabaei, & Shir Khanloo, 2015; Laohaudomchok et al., 2010), o Cr (Scheepers et al., 2008) e outros elementos conforme as composições químicas analisadas neste estudo. Até aos dias de hoje foram já realizados vários estudos relacionados com a monitorização ocupacional ao Mn, os quais permitiram concluir que o sangue é adequado para avaliar exposições mais recentes, quando comparado com os resultados obtidos com a urina, ao passo que o cabelo é mais adequado para exposições mais prolongadas (Hassani et al., 2015). O cabelo é um apêndice filamentosos derivado da epiderme que desempenha funções de termorregulação, proteção contra fatores externos, como radiações solares e de produção de sebo e de suor apócrino (Erdoğan, 2017; Popescu, & Höcker, 2007; Pozebon, & Curtius, 1999). O papel específico do cabelo do couro cabeludo como amostra biológica de eleição, decorre do facto de que este pode acumular componentes inorgânicos na sua estrutura durante o crescimento e, portanto, ser usado para a triagem de grupos populacionais expostos dos grupos normais não expostos à poluição por metais. Em comparação com outras análises de tecido, a análise do cabelo é vantajosa por ser não invasiva e analiticamente menos complexa, além de fornecer informações sobre a absorção de metal endógeno e/ou exógeno em escalas de tempo que variam de semanas a anos. 6 A correlação entre os níveis de metais no cabelo e a exposição ocupacional encontra-se bem documentada, havendo evidências de correlação mútua significativa entre os níveis de metais pesados no cabelo e nos dentes, unhas e sangue (Khaliq et al., 2006). Com este estudo pretende-se demonstrar a relevância do uso de cabelo na biomonitorização, como sendo uma metodologia não invasiva e com vantagens face à utilização de outras amostras biológicas, em especial em atividades profissionais de soldadura. Neste trabalho será usado o termo elementos potencialmente tóxicos (EPT's), que são os elementos que têm sido considerados contaminantes perigosos ao meio ambiente e/ou homem, devido à sua perseverança, persistência e toxicidade.

1.2 Metodologia de investigação

Este estudo tratou-se de um estudo de exploração de abordagem quantitativa, tendo por base a estratégia de investigação por experimentação.

1.3 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo determinar a relação entre a exposição a EPT's e as tarefas mais frequentes, em soldadores da Indústria Metalomecânica,

No que diz respeito aos objetivos específicos, pretende-se:

- Determinar as concentrações de EPT's presentes no organismo de soldadores (Grupos de Exposição), inseridos na Indústria Metalomecânica, com recurso à análise elementar de amostras de cabelo;
- Determinar a concentração de EPT's nas amostras de cabelo dos Grupos de Controlo;
- Realizar a análise comparativa entre a concentração de EPT's dos Grupos de Exposição e nos Grupos de Controlo;
- Demonstrar a pertinência da biomonitorização com recurso à análise elementar de cabelo, como uma ferramenta de avaliação da exposição ocupacional a EPT's e de controlo e prevenção de distúrbios na saúde dos trabalhadores expostos.

1.4 Estrutura da Dissertação

Neste ponto pretende-se apresentar a estrutura adotada neste trabalho de investigação.

No capítulo seguinte é apresentado o enquadramento teórico, onde são abordados os principais conceitos, estudos realizados no âmbito.

No capítulo seguinte e como forma de resposta à pergunta de investigação, é feita a descrição da metodologia e métodos utilizados, a caracterização das amostras que permitiu a realização da investigação e as hipóteses formuladas.

Posteriormente segue-se o capítulo de apresentação dos resultados e discussão dos mesmos, assentes na bibliografia disponível.

Por fim, são tecidas as principais conclusões com base dos resultados analíticos, seguindo-se das limitações sentidas no decorrer do estudo e recomendações de trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Feita a apresentação da temática a que se propõe este estudo, torna-se imperativo apresentar as afirmações dos estudos realizados neste âmbito, assim como definir conceitos. Neste capítulo são descritos de forma resumida e sucinta, os fundamentos dos processos de soldadura executados nas empresas participantes. De seguida, são apresentados os principais riscos ocupacionais a que os soldadores se encontram expostos, com detalhe os riscos químicos, identificando os principais agentes químicos tipicamente presentes nos fumos de soldaduras destes processos. Tendo por base a bibliografia existente, são apresentados os efeitos na saúde dos soldadores e de outros trabalhadores expostos ou potencialmente expostos a agentes químicos. No que diz respeito à avaliação dos riscos químicos, são apresentadas as metodologias de avaliação convencionais para a avaliação da concentração de agentes químicos. Por último, apresentam-se as principais amostras biológicas utilizadas na biomonitorização, sendo apresentadas as vantagens pelas quais, o cabelo é a amostra biológica de eleição na biomonitorização da exposição a EPT's, incluindo metais pesados, no organismo de soldadores e outros trabalhadores que possam estar expostos a fumos de soldadura.

2.1 Processos de Soldadura

Tendo já sido apresentado o tema deste estudo, considera-se importante abordar conceitos genéricos de processos de soldadura, com especial interesse nos processos utilizados nas empresas participantes.

Os processos de soldadura são técnicas que permitem a junção permanente de dois ou mais elementos metálicos, quer por aquecimento (soldadura por fusão) quer por pressão (soldadura no estado sólido), ou em simultâneo, com ou sem recurso a material de adição, igualmente de natureza metálica (Cherrie & Levy, 2020; Golbabaie & Khadem, 2015; Marrugo et al., 2019; Riccelli et al., 2020; Santos & Almeida, 2017).

De uma forma geral e de entre os mais de cinquenta tipos de soldadura, estes diferem entre si em alguns parâmetros: tipologia da fonte de calor utilizada (chama de gás, arcos elétricos, resistência elétrica, lasers, fricção, feixes de eletrões ou ultrassons), a pressão, o tipo de equipamento utilizado, a composição química dos materiais de base e dos materiais de adição e pela geometria e dimensões dos componentes a unir (Golbabaie & Khadem, 2015; Marrugo et al., 2019; Santos & Almeida, 2017).

Parece existir consenso sobre a classificação dos tipos de soldadura em cinco categorias, nomeadamente: soldadura por arco elétrico, soldadura por resistência elétrica, soldadura oxiacetilénica, soldadura no estado sólido e outros tipos de soldadura como a soldadura a laser (Golbabaie & Khadem, 2015).

No presente estudo foram considerados os processos de soldadura utilizados nas empresas participantes, sendo:

- Soldadura por resistência elétrica, do tipo soldadura por pontos (resistance spot welding) e do tipo soldadura de bossas (resistance projection welding);
- Soldadura por arco elétrico, do tipo MAG (Soldadura por arco elétrico com gás de proteção ativo) e MIG (Soldadura por arco elétrico com gás de proteção inerte), com gás de proteção e do tipo SMAW (soldadura por arco elétrico com eletrodo revestido).

Na soldadura por resistência elétrica, a união das peças metálicas é realizada através da fusão localizada nas superfícies a unir, como resultado do calor gerado pela resistência elétrica que as peças a unir, oferecem à passagem do fluxo de corrente elétrica. Este fluxo é gerado através de eletrodos¹ de cobre ligado, que simultaneamente exercem pressão sobre os componentes metálicos a soldar, após a interrupção do fluxo cessar (Reis, 2009; Antonini et al., 2017).

Neste tipo de processos não são utilizados materiais de adição e são utilizadas elevadas correntes elétricas, mas de baixa voltagem (Reis, 2009; Santos & Almeida, 2017).

Na soldadura por pontos, as peças metálicas são soldadas apenas por pontos de contato das suas superfícies, através da passagem de fluxo de corrente elétrica que origina a fusão localizada das superfícies, unindo-as (Reis, 2009).

O processo de soldadura por bossas é uma variante da soldadura por pontos, mas para que o processo se realize, é necessário que pelo menos um dos componentes a unir detenha saliências (bossas). A fusão localizada ocorre através destas bossas, onde é concentrado o calor gerado pelo fluxo de corrente elétrica e ocorre a soldadura dos componentes metálicos (Reis, 2009).

Nos processos de soldadura por arco elétrico, do tipo MIG/MAG, a união dos materiais é realizada por meio de um arco elétrico mantido entre a peça metálica e o eletrodo de arame² não revestido, que é abastecido de forma contínua por um alimentador (Dehghan & Mehrifar, 2019; Riccelli et al., 2020).

Nestes processos, a zona da soldadura é constantemente alimentada por um metal de adição fundido, através de um componente apropriado, designado de tocha, que tem também a função de assegurar o fluxo de gás ou uma mistura de gás que protege o eletrodo, o metal fundido, o arco elétrico e as áreas envolventes do material de base contra a contaminação atmosférica (Dehghan & Mehrifar, 2019; Riccelli et al., 2020).

¹ O eletrodo também conhecido como polo, é o terminal que efetua a ligação do circuito elétrico entre um elemento metálico ou não metálico ou solução aquosa.

² Nas soldaduras por arco elétrico, o eletrodo corresponde ao material de adição, sendo por isso um material de consumo.

As soldaduras MIG e MAG são geralmente designadas por soldadura MIG/MAG pela semelhança do processo, sendo o tipo de gás de proteção utilizado, o fator que as distingue.

Na soldadura MIG é utilizado um gás de proteção inerte, como o Ar ou o He e na soldadura MAG é utilizado um gás de proteção ativo, normalmente dióxido de carbono (CO₂) ou mistura de CO₂ e Ar.

A soldadura SMAW³ é realizada manualmente e à semelhança das soldaduras MIG/MAG, a união das peças metálicas é feita à custa do calor gerado pelo arco elétrico, que é mantido entre a extremidade do eletrodo metálico revestido⁴, continuamente abastecido através do porta eletrodo, e o material de base. O calor produzido funde o material de base, a alma do eletrodo, assim como o seu revestimento de fluxo. Neste tipo de soldadura não são utilizados gases de proteção. O fluxo do eletrodo decompõe-se, emitindo gases, cuja função é proteger da contaminação atmosférica, o material de base e a região de soldadura, durante a solidificação. Além dos gases produzidos, a escória líquida contribui igualmente para a função de proteção.

A seleção do método de soldadura varia de acordo com as características, dimensões e a posição dos materiais metálicos a unir, exigências técnicas ao nível de acabamento da zona soldada, a velocidade do processo, a quantidade de soldaduras necessárias e o custo associado (Santos & Almeida, 2017).

Importa referir que nas atividades de soldadura e à semelhança de outras atividades profissionais, estão associados um conjunto de riscos ocupacionais com impacto na saúde dos trabalhadores expostos ou potencialmente expostos.

Seguidamente apresentam-se os principais riscos ocupacionais a que os profissionais de soldadura se encontram expostos no decorrer da jornada diária de trabalho.

2.2 Riscos Ocupacionais resultantes da atividade de Soldadura

De uma forma transversal aos processos de soldadura, os soldadores estão expostos a um conjunto de riscos profissionais resultantes desta atividade, tais como: ruído, vibrações, riscos mecânicos (esmagamento, corte, etc.), riscos elétricos, riscos de exposição a radiações ultravioleta (UV) visíveis e/ou infravermelhos (IV), riscos de exposição a campos eletromagnéticos, risco de incêndio e explosão, risco de queimadura, adoção de posturas pouco ergonómicas, iluminação deficiente ou desadequada, desconforto térmico e riscos químicos (Cherrie & Levy, 2020; Dehghan & Mehrifar, 2019; Golbabaei &

³ Tipicamente designada de soldadura de eletrodo na indústria no geral.

⁴ O eletrodo revestido consiste em dois elementos: a alma metálica, com funções de conduzir a corrente elétrica e fornecer metal de adição para a região de soldadura, e o revestimento, que é uma mistura de metal designado de fluxo.

Khadem, 2015; Luo, Hsu & Shen, 2006; Santos & Almeida, 2017; Marrugo et al., 2019; Yarmohammadi et al., 2016; Yadav & Agarwal, 2020).

Embora não diretamente relacionados com a atividade de soldadura, também podem ser considerados os riscos associados à manipulação manual e mecânica de cargas e a condução de veículos, trabalhos realizados em altura, debaixo de água e em espaços confinados (Golbabaie & Khadem, 2015; Santos & Almeida, 2017).

De entre os riscos ocupacionais supracitados salientam-se os riscos químicos, uma vez que quando comparados com os outros riscos, igualmente perigosos, são os agentes que mais afetam a saúde dos trabalhadores expostos (Dehghan & Mehrifar, 2019; Golbabaie & Khadem, 2015; Yarmohammadi et al., 2016).

De igual modo, trabalhadores que embora não executem tarefas de soldadura, mas com postos de trabalho próximos aos postos de soldadura, encontram-se expostos a alguns dos riscos resultantes deste tipo de atividade industrial, em especial os riscos químicos. Estes trabalhadores veem, por isso, a sua saúde também afetada como resultado dessa exposição (Golbabaie & Khadem, 2015; Santos & Almeida, 2017).

Os riscos químicos nos processos de soldadura resultam da exposição aos fumos gerados ao longo do processo, considerados como potencialmente tóxicos e classificados como sendo um agente cancerígeno (Golbabaie & Khadem, 2015; Reiss et al., 2015; Riccelli et al., 2020; Santos & Almeida, 2017; Yadav & Agarwal, 2020)

Nos processos de soldadura, os fumos e vapores são resultado da transferência do metal fundido para o metal de base, a uma temperatura superior ao seu ponto de fusão, ocorrendo vaporização de partículas metálicas.

Por sua vez, o contacto destes metais vaporizados com o oxigénio presente no ar, desencadeia a formação de óxidos metálicos (Laohaudomchok et al., 2010; Marrugo et al., 2019).

Além dos óxidos metálicos, podem também estar presentes componentes inorgânicos, como fluoretos e silicatos não cristalizados e gases, classificados como poluentes atmosféricos.

Estes gases resultam da utilização de gases de proteção, como forma de minimizar a ocorrência de oxidação, quando aplicável, e/ou da degradação dos revestimentos de superfície dos materiais de base no decorrer do processo de soldadura (Golbabaie & Khadem, 2015; Laohaudomchok, et. al, 2010; Riccelli et al., 2020; Yadav & Agarwal, 2020).

Os fumos e gases de soldadura pela sua natureza são prejudiciais não só para o ambiente como também para a saúde humana (Mehrifar et al., 2019) e por essa razão devem ser identificados e quantificados nos postos de trabalho, de modo a prevenir a afeção da saúde dos trabalhadores expostos.

Nesse sentido, no ponto seguinte aborda-se a importância de uma avaliação dos riscos químicos detalhada e que permita a obtenção de informação realista, à imagem dos postos de trabalho em análise e dos trabalhadores expostos, sendo ainda identificadas as principais dificuldades que podem ocorrer na avaliação dos riscos químicos nos processos de soldadura em geral.

2.3 Avaliação dos riscos químicos nos processos de soldadura

A avaliação dos riscos profissionais constitui a base de uma gestão sólida em matéria de segurança e saúde no trabalho. Constitui por isso, uma ferramenta essencial para o controlo e a redução dos riscos profissionais ao mínimo, que promove a diminuição da ocorrência de acidentes de trabalho, de doenças profissionais e de outras doenças relacionadas com o trabalho, dos trabalhadores expostos ou potencialmente expostos.

No que se refere à avaliação dos riscos químicos, importa previamente definir agente químico, como sendo: “qualquer elemento ou composto químico, isolado ou em mistura, que se apresente no estado natural ou seja produzido, utilizado ou libertado em consequência de uma atividade laboral, incluindo sob a forma de resíduo, seja ou não intencionalmente produzido ou comercializado” (ACT, 2018; Decreto-lei n.º 24/2012, 2012).

Os agentes químicos podem ser perigosos e ainda que não sejam classificados como tal, podem implicar riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores expostos, devido às suas propriedades toxicológicas, à forma como são utilizados ou do estado que se apresentam nos locais de trabalho (ACT, 2018).

Por esta razão, a avaliação dos riscos químicos dos postos de trabalho é de extrema importância e exige o conhecimento aprofundado de um conjunto de informações e dados que devem ser considerados na avaliação, tais como: caracterização dos postos de trabalho, identificação e informações sobre os trabalhadores expostos, as tarefas desempenhadas e a duração das mesmas ao longo da jornada diária de trabalho, a identificação e quantificação dos agentes químicos presentes nos locais de trabalho, as condições de ventilação e extração existentes, o tipo de Equipamento de Proteção Individual (EPI) de proteção respiratória utilizado e outras informações que sejam pertinentes para a avaliação.

No que se refere à quantificação da exposição ocupacional a agentes químicos, esta é realizada através de monitorização ambiental com recurso a amostras de ar, podendo também recorrer-se à monitorização biológica, cruzando os resultados obtidos nas duas monitorizações.

Nos processos de soldadura, a determinação e quantificação da exposição aos agentes químicos, tornam-se atividades complexas devido à variabilidade dos constituintes dos fumos e gases de soldadura e da duração⁵ da exposição aos agentes (Reiss et al., 2015).

Tal acontece, pelo facto da composição e quantidade dos fumos de soldadura serem função do tipo de soldadura e por isso, da intensidade de corrente utilizada, da quantidade e composição química dos materiais de base e do eléctrodo, dos gases de proteção utilizados e da técnica e experiência do soldador. Além disso, a presença de tintas de proteção, revestimentos de superfície (por exemplo, galvanização, materiais plásticos) e de óleos de proteção nos materiais de base, contribui igualmente para a variabilidade da composição química dos fumos e na quantidade de fumos e gases emitidos (Bakri et al., 2019; Dehghan & Mehrifar, 2019; Golbabaei & Khadem, 2015; Reiss et al., 2015; Riccelli et al., 2020; Yadav & Agarwal, 2020).

Os agentes químicos nos fumos de soldadura encontram-se maioritariamente sob a forma de óxidos metálicos, como resultado do contato entre o oxigénio presente no ar e os metais vaporizados, podendo também apresentar-se sob a forma de fluoretos. Além disso, são libertados gases, como o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogénio (NO_x) e o ozono (O₃) (Golbabaei & Khadem, 2015).

Os gases emitidos resultam quer da alta temperatura e da radiação UV do arco elétrico, quer do contato entre os revestimentos de superfície, quando existentes, com superfícies quentes ou com radiação UV (Mehrifar et al., 2019).

Relativamente aos níveis de exposição, estes podem variar de acordo com o tipo de soldadura⁶ executada, composição do material de base, composição dos eléctrodos, o ambiente onde o processo se realiza (ao ar livre, em espaços fechados ou confinados), características dos sistemas de ventilação e extração dos fumos, se existentes, e a utilização de EPI de proteção respiratória, assim como, a sua adequabilidade ao tipo de exposição, uma vez que a sua utilização é determinante na diminuição da exposição a agentes químicos (Reiss et al., 2015; Santos & Almeida, 2017).

Quer a existência de sistemas de ventilação e extração eficazes, quer a utilização de EPI's de proteção respiratória, constituem fatores de extrema relevância, uma vez que, a concentração das substâncias nocivas nos fumos de soldadura é superior na região mais próxima do processo (Santos & Almeida,

⁵ De acordo com Santos, & Almeida (2017), foi demonstrado na bibliografia através de cálculos, que quanto maior a duração do processo, maior a quantidade de fumos produzidos e conseqüentemente, maior o risco de inalação.

⁶ A taxa de geração de fumos depende do tipo de soldadura executada (Quémérais et al., 2015).

2017). Estes fatores constituem, por isso, ferramentas de proteção coletiva e individual, respetivamente, na prevenção da ocorrência de doenças profissionais (Joshi, Dhakal & Shrestha, 2020).

Outro fator importante na avaliação de riscos químicos é a dimensão das partículas constituintes dos fumos de soldadura.

Estas partículas, que podem ser em grande parte das vezes classificadas como nanopartículas⁷, têm ganho especial atenção por parte da comunidade científica, pela sua potencialidade de causar efeitos na saúde dos trabalhadores expostos.

As nanopartículas são mais prejudiciais para a saúde humana do que as partículas de maior dimensão, para o mesmo tipo de material, pelo facto de terem a capacidade de penetrarem no sistema respiratório e devido à sua grande área superficial. Estas partículas chegam aos alvéolos pulmonares e conseguem atravessar os tecidos onde se dão as trocas gasosas entre os alvéolos e o sangue (Quémerais, Mino & Amin, 2015; Riccelli et al., 2020).

De uma forma geral, nos processos de soldadura as partículas que constituem os fumos de soldadura variam entre partículas finas - dimensões inferiores a 2,5 µm – e nanopartículas – inferiores a 100 nm. As dimensões e quantidades de nanopartículas variam de acordo com o tipo de soldadura, sendo emitidas maiores quantidades nos processos de soldadura que envolvam maior intensidade de corrente elétrica (Golbabaie & Khadem, 2015; Riccelli et al., 2020).

Não obstante, em todos os processos de soldadura pode ocorrer a deposição de concentrações significativas de nanopartículas nos pulmões dos soldadores (Golbabaie & Khadem, 2015) e porque de forma geral, a capacidade destas partículas penetrarem mais profundamente no sistema respiratório, está inversamente relacionada com o seu tamanho (Riccelli et al., 2020).

Assim, é possível afirmar, que a toxicidade das nanopartículas é função da sua capacidade em penetrar no sistema respiratório e entrar, posteriormente, na corrente sanguínea.

Face ao exposto, é de extrema importância que na avaliação dos riscos químicos seja considerada a avaliação da distribuição de tamanhos das partículas emitidas e uma vez que, estas são função dos tipos de soldadura executados (Golbabaie & Khadem, 2015; Riccelli et al., 2020).

Por último, importa referir que, mais do que realizar a avaliação dos riscos químicos, torna-se imperativo definir medidas de proteção e prevenção eficazes, oferecendo ambientes de trabalho seguros e saudáveis.

Na secção seguinte apresentam-se os agentes químicos que podem estar presentes nos tipos de soldadura indicados no ponto anterior desta dissertação.

⁷ Nanopartículas ou partículas ultrafinas são partículas aerotransportadas com diâmetro inferior a 100 nanómetros (Golbabaie, & Khadem, 2015).

2.3.1 Agentes químicos tipicamente presentes nos tipos de soldadura SMAW, MIG/MAG, por pontos e por bossas

Tendo já sido demonstrada a importância da avaliação dos riscos químicos resultantes das atividades de soldadura, apresenta-se na Tabela 1 e de acordo com a bibliografia disponível, os agentes químicos tipicamente presentes nos fumos e gases nos tipos de soldadura em análise.

Tabela 1 – Características dos tipos de soldadura em análise (adaptado de Dehghan & Mehrifar, 2019; Golbabaie & Khadem, 2015; Khalique et al., 2006; Laohaudomchok et al., 2010; Li, Zhang & Lu, 2004; Luo et al., 2006; Loukzadeh, Sharifian & Aminian, 2009; OSHA, 2013; Quémerais et al., 2015; Riccelli et al., 2020).

Tipos de soldadura	Eléctrodo	Material de base típico	Gases de proteção	Produtos e gases tóxicos
Soldadura por pontos/Soldadura por bossas	Pólos não consumíveis, geralmente em Cu	Fe, aços ao carbono, aços de construção, Al	N.A.	Al, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn, fluoretos, óxidos, NO, NO _x e O ₃ .
MIG	Arame não revestido, consumível e continuamente fornecido	Fe, Al, aços ao carbono, aço inoxidável, ligas de Cu, ligas de Ni, Mn	Ar ou He	Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Si, Sn, Ti, V, Zn, fluoretos. Grandes quantidades de: CO, CO ₂ , NO _x e O ₃ .
MAG			CO ₂ ou mistura de CO ₂ com Ar	
SMAW	Eléctrodo revestido, consumível	Fe, aço, aço inoxidável, ligas de Ni, Al e Cu	Gases produzidos no processo de soldadura	Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Si, Ti, Zn, fluoretos. Pequenas quantidades de: CO, CO ₂ , NO _x e O ₃ .

Legenda:

N.A. – Não aplicável; nm – Nanómetros; mm – Milímetros; Ag – Prata; Al – Alumínio; As – Arsénio; Be – Berílio; Ca – Cálcio; CO – Monóxido de Carbono; CO₂ – Dióxido de Carbono; Co – Cobalto; Cr – Crómio; Cu – Cobre; Fe – Ferro; K – Potássio; Mg – Magnésio; Mn – Manganês; Mo – Molibdénio; Na – Sódio; Ni – Níquel; NO – Óxidos Nitrosos; O₃ – Ozono; Sb – Antimónio; Sn – Estanho; Zn – Zinco; V – Vanádio.

Nas soldaduras por arco eléctrico são tipicamente utilizados aços macios e eléctrodos compostos principalmente por Fe - cerca de 80% - e quantidades variáveis de Mn (Laohaudomchok et al., 2010; Riccelli et. al, 2020) e de acordo com a bibliografia, grande parte dos agentes químicos advêm

aproximadamente de 90% a 95% dos materiais de adição (Dehghan & Mehrifar, 2019; Mehrifar et al., 2019).

Por esta razão, o principal composto dos fumos de soldadura é o óxido de ferro seguido do Mn, podendo ainda ser encontradas partículas de C, O₂, K e sílica (Quémerais et al., 2015).

Ao nível da quantidade de fumos de soldadura emitidos, a soldadura SMAW produz maior quantidade de fumos comparativamente com as soldaduras MIG/MAG, ao passo que, no que se refere à quantidade de gases emitidos (CO₂, NO_x e O₃), verificou-se que a quantidade de gases é superior na soldadura MIG, seguindo-se a soldadura MAG (Dehghan & Mehrifar, 2019) e por último a soldadura SMAW (Riccelli, et al., 2020).

No que se refere à dimensão das partículas que constituem os fumos de soldadura por arco elétrico, de acordo com a revisão feita por Riccelli et al. (2020) neste âmbito, os estudos demonstraram que os diâmetros aerodinâmicos destas partículas estão compreendidos entre 0,01 µm e 1 µm (Laohaudomchok et al., 2010), sendo grande parte das partículas primárias sob a forma de diferentes aerossóis, constituídas por diâmetros entre 0,005 µm e 0,04 µm, facilmente respiráveis.

Para os processos SMAW, MIG/MAG demonstrou-se nos estudos realizados, principalmente partículas aglomeradas com diâmetros acima de 0,1 µm, enquanto os processos de soldadura com baixas taxas de emissão de massa, como a soldadura por pontos, emitem partículas predominantemente ultrafinas, com diâmetros abaixo de 0,1 µm (Riccelli et al., 2020). Além disso, em muitos dos estudos realizados, verificou-se que no decurso dos processos de soldadura, as partículas tendem a agregar-se no ar para formar partículas maiores, com diâmetros aerodinâmicos entre 0,1 µm e 0,6 µm, alterando assim o seu tamanho e peso (Laohaudomchok et al., 2010; Riccelli et al., 2020).

Por esta razão, a concentração do número de partículas com dimensões inferiores, diminui com a duração do processo de soldadura, pelo facto das partículas menores serem eliminadas pelas partículas maiores por meio de coagulação (Riccelli et al., 2020).

A dimensão média das partículas constituintes dos fumos de soldadura para cada um dos três tipos de soldadura por arco elétrico, em análise na presente dissertação, encontra-se caracterizada da seguinte forma: soldadura SMAW a dimensão média das partículas dos fumos é de 150 nm, para a soldadura MAG de 100 nm e para a soldadura MIG entre 100 nm e 150 nm (Riccelli et al., 2020).

Importa ainda, referir que as partículas com diâmetro abaixo de 0,05 µm correspondem principalmente a óxidos metálicos, ao passo que partículas de dimensões superiores correspondem a partículas com elementos voláteis, como o K, o F, o S e o Na. Elementos como o Cr, o Ni e o Mn podem estar presentes sob a forma de partículas com dimensões inferiores a 300 nm (Riccelli et al., 2020).

A solubilidade das partículas dos fumos de soldadura é outra característica importante a considerar nos fumos de soldadura. Esta característica para metais individualizados é extremamente variável e é função do tipo de soldadura executado.

As partículas dos fumos de soldadura SMAW são altamente solúveis em água, ao passo que as partículas dos fumos de soldadura MIG/MAG são praticamente insolúveis (Riccelli et. al., 2020).

Relativamente aos processos de soldadura por resistência elétrica (Soldadura por Pontos e Soldadura por Bossas), estes processos são considerados menos perigosos comparativamente com outros processos de soldadura (Loukzadeh et al., 2009; Luo et al., 2006), pela reduzida taxa de emissão de partículas.

Contudo, de acordo com o estudo realizado por Golbabaie & Khadem (2015) e pela revisão de Riccelli et al. (2020), estes processos carecem de mais estudos pelo facto de serem emitidas partículas ultrafinas – abaixo de 0,1 µm. Além disso, nestes processos os estudos demonstraram que não ocorre aglomeração destas partículas em partículas de dimensões superiores, como acontece nos processos de soldadura por arco elétrico (Riccelli et al., 2020).

Identificados os principais agentes químicos dos fumos dos tipos de soldadura executados pelas entidades participantes, apresentam-se seguidamente os principais efeitos adversos na saúde dos trabalhadores expostos ou potencialmente expostos aos fumos de soldadura.

2.4 Efeitos adversos na saúde dos trabalhadores expostos a fumos de soldadura

A exposição prolongada a fumos de soldadura representa uma ameaça à saúde humana pelos seus efeitos prejudiciais comprovados cientificamente. Estes efeitos correspondem a doenças profissionais, que podem afetar os sistemas respiratório, renal, reprodutivo e nervoso, a pele, havendo também o risco de cancro (Golbabaie & Khadem, 2015).

No sistema respiratório é onde se relataram, até ao momento, a maior incidência de doenças profissionais, como resultado da inalação dos fumos de soldadura. Tal acontece, pelo facto da via respiratória corresponder à principal via de entrada no organismo dos fumos de soldadura, uma vez que, estes ficam temporariamente suspensos na atmosfera, sendo assim, facilmente inalados (Bakri et al., 2019; Mehrifar et al., 2019; Santos & Almeida, 2017).

Fatores como a absorção cutânea, que pode adicionalmente ocorrer, a idade, as práticas de trabalho (podendo ser desadequadas em algumas situações), o tempo de exposição e a variação da carga de trabalho durante o turno, o uso e a eficácia de EPI's e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC's) e ainda, a exposição resultante do ambiente em geral, incluindo a poluição ambiental, são fatores que

podem também contribuir para a deposição das partículas metálicas no organismo dos soldadores (Jakubowski, 2012).

A comunidade científica tem vindo a debruçar a sua atenção sobre os efeitos na saúde, até ao momento comprovados e os que ainda carecem de mais estudos, resultantes deste tipo de exposição ocupacional, uma vez que, se estima que em média, podem ser encontrados cerca de 13 metais nestes fumos (Dehghan & Mehrifar, 2019). Além disso, ainda não foi possível comprovar a relação casual entre a exposição a um elemento específico e o desenvolvimento de uma determinada doença ocupacional, para muitos dos metais presentes na composição dos fumos de soldadura.

Bakri et al. (2019) realizaram uma revisão que envolveu 123 estudos, realizados entre 1950 e 2016, cujo objetivo foi a avaliação dos efeitos adversos no sistema pulmonar de soldadores expostos a fumos de soldadura, em especial na indústria automóvel.

Em 1950 iniciaram-se os estudos para verificar a relação entre a exposição a metais pesados e o desenvolvimento de doenças pulmonares em soldadores.

Posteriormente, demonstrou-se que a concentração de agentes químicos no ar circundante dos soldadores é divergente das áreas envolventes, concluindo-se que a dose real de concentração de partículas no ar emitidas e a dose penetrada nos pulmões, constituem fatores fundamentais na avaliação do estado de saúde dos soldadores.

Entre 1993 e 2014, foram realizados estudos que permitiram demonstrar a correlação entre a exposição a metais pesados, presentes nos fumos de soldadura e a ocorrência de doenças pulmonares nos soldadores. Contudo, os autores verificaram a existência de uma grande variação entre os diferentes grupos de soldadores, como resultado dos fatores ambientais e individuais, do método de soldadura, das matérias-primas utilizadas, do tempo de exposição e da taxa de ventilação pulmonar individual de cada soldador.

Até ao momento, foram realizados estudos que permitiram verificar que os metais se podem depositar nos pulmões dos soldadores e penetrar nos bronquíolos e alvéolos pulmonares, quando inalados.

No que diz respeito à dimensão das partículas inaladas, não existe ainda, consenso entre a comunidade científica. Alguns autores defendem que se trata de partículas com dimensões abaixo de 05 μm , outros indicam abaixo de 5 μm e outros indicam ainda, tratar-se de dimensões inferiores a 10 μm .

Ainda neste contexto, Miller & Chang, de acordo com a revisão de Bakri et al. (2019), especificaram que partículas aerodinâmicas superiores a 10 μm depositam-se na laringe ou ficam retidas na nasofaringe, partículas entre 3 μm a 10 μm depositam-se nas vias aéreas, partículas entre 0,5 μm e 3 μm penetram

mais profundamente nas vias aéreas distais e no espaço dos alvéolos, e por último, partículas inferiores a 0,5 µm comportam-se como um gás, sendo por isso, exaladas.

A influência das matérias-primas utilizadas nos diferentes tipos de soldadura, foram também alvo de estudo, tendo sido demonstrado que a exposição a fumos de soldadura de aço inoxidável pode desencadear mais problemas pulmonares, incluindo o cancro de pulmão, comparativamente com os fumos de soldadura de aços macios. Tal acontece, pelas percentagens elevadas de Cr (VI) e de Ni emitidas nos fumos de soldadura de aço inoxidável, para além do maior consumo de metal de adição, comparativamente com os aços macios.

Desde então e à medida que têm vindo a ser realizados mais estudos neste âmbito, foram relatados vários efeitos na saúde dos soldadores, locais, quando se localizam na parte do corpo que se encontra exposta, podendo resultar em irritação do trato respiratório, ou sistémicos, quando há absorção na corrente sanguínea e deposição em outros órgãos, podendo causar efeitos em um ou mais órgãos-alvo. De acordo com os estudos analisados na revisão de Bakri et al. (2019), os fumos metálicos cuja composição seja rica em Be, Cd, Hg, Ni, Zn e Cr, constituem uma das causas de toxicidade sistémica, sendo a toxicidade destes elementos influenciada pelo tamanho das partículas, como principal contribuinte, pela forma e densidade. Além disso, foi demonstrada a associação entre a exposição a determinados elementos metálicos, sendo Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Si, V e Zn, e o desenvolvimento de problemas pulmonares em soldadores da indústria automóvel.

Resultados similares foram obtidos em outros estudos realizados em diferentes contextos ocupacionais, igualmente com exposição a fumos de soldadura.

Verificou-se que a exposição elevada ao Mn pode levar ao desenvolvimento da doença de Parkinson, tendo sido demonstrada esta relação por vários autores (Baker et al., 2014; Reiss et al., 2015; Santos & Almeida, 2017). O mesmo resultado foi obtido por Baker et al. (2014) para exposições com concentrações inferiores.

O Mn está presente em elevadas concentrações nos fumos de soldadura, sendo por isso, inalados pelos soldadores vapores que contêm este elemento e que podem ser absorvidos principalmente pelo pulmão e, em menor grau, pelo trato gastrointestinal. Uma vez absorvido, o Mn pode passar pelo sangue e depositar-se no cérebro e em outros tecidos (Hassani et al., 2015; Reiss et al., 2015).

Em contrapartida, Santos & Almeida (2017) indicam no seu artigo de revisão, que não está comprovada a relação entre a exposição a este elemento e a doença de Parkinson, ou outra demência, uma vez que esta doença apresenta determinadas condições neurológicas, as quais não se verificam no Parkinson induzido pela exposição ao Mn.

A exposição a este agente químico está também associada a stress oxidativo e inflamatório, tendo sido também correlacionada com situações de asma e fibrose intersticial (Santos & Almeida, 2017) e verificados efeitos no sistema reprodutor (Baker et al., 2014; Hassani et al. 2015).

O mecanismo pelo qual o Mn induz danos neurodegenerativos ainda não se encontra definido, existindo estudos que indicam que a sua neurotoxicidade pode estar associada à interação com outros metais essenciais ao organismo humano, como o Fe, Zn, Cu e Al. Além disso, demonstrou-se que a exposição crónica ao Mn aparentemente está associada a alterações nas concentrações de Fe no sangue e no líquido cefalorraquidiano. Por sua vez, o excesso de Fe nos neurónios pode levar à ocorrência de stress oxidativo celular, levando a danos neuronais.

No estudo realizado por Li et al. (2014) verificou-se que a exposição prolongada a fumos de soldadura, para além de desencadear alteração na homeostase de metais essenciais ao organismo humano, como o Mn, Fe, Cu e Zn, em fluidos biológicos.

Golbabaie & Khadem (2015) elaboraram um artigo de revisão com base em estudos realizados neste âmbito, identificando os principais efeitos na saúde dos soldadores, para soldaduras de arco elétrico.

Verificaram-se efeitos no sistema respiratório, que podem compreender doenças respiratórias agudas ou crónicas, tais como, doença pulmonar intersticial, asma, pneumoconiose e cancro de pulmão e ainda episódios de bronquite crónica em alguns soldadores, embora não seja uma condição devidamente fundamentada (Baker et al., 2014; Dehghan & Mehrifar, 2019; Marrugo et al., 2019; Santos & Almeida, 2017).

As reações desencadeadas no sistema respiratório dependem de alguns parâmetros, podendo por isso, ser distintas entre os soldadores do mesmo grupo. Estes parâmetros podem compreender: composição dos fumos de soldadura, tamanho, forma e concentração das partículas, local onde se realiza a soldadura (se realizada ao ar livre ou em espaço confinado), tempo de exposição e suscetibilidade individual de cada soldador.

A função do sistema renal, de acordo com Golbabaie & Khadem (2015), pode também sofrer efeitos adversos, tendo sido associados a exposições a partículas de Cr (VI), Cd e de Ni. Estes autores indicam a existência de algumas evidências de efeitos no sistema reprodutor, que inclui redução da fertilidade, podendo estar relacionada à exposição ao Cr (VI) e ao Ni.

Importa referir que estes danos no sistema reprodutivo masculino têm vindo a ser menos relatados do que anteriormente, provavelmente como resultado da diminuição dos níveis de exposição nos países desenvolvidos.

É sabido que, embora de uma forma geral em todos os tipos de soldadura, os fumos de soldadura podem causar a redução da qualidade do esperma, os estudos indicam que este efeito é superior nos soldadores que utilizam aço inoxidável, tendo sido ainda, verificada a associação deste efeito com a exposição ao Pb e Hg (Golbabaie & Khadem, 2015).

O sistema nervoso pode ser afetado, podendo verificar-se perda de memória, espasmos, ataxia e degeneração neurofibrilar, tendo sido associados estes efeitos à exposição ao Al.

A acumulação de Al no cérebro pode desenvolver algumas condições neuropatológicas, incluindo esclerose lateral amiotrófica, doença de Parkinson, encefalopatia de diálise e placas senis da doença de Alzheimer (Golbabaie & Khadem, 2015). Na revisão de Hassani et al. (2015) concluiu-se também que este tipo de exposição ocupacional pode também afetar os sistemas cardíaco e hepático.

Cherrie & Levy (2020) verificaram no seu estudo, que os soldadores com exposição ao Cr, como resultado da utilização de matérias-primas com revestimentos e pinturas, apresentaram maior risco de cancro no pulmão, quando comparados com soldadores ocasionais.

De acordo com Santos & Almeida (2017), verificou-se que os níveis de excreções de Cr eram superiores em indivíduos soldadores do que na população em geral. É sabido que níveis tóxicos de Cr no organismo humano podem causar perturbações estomacais, úlceras, danos renais e no fígado, asma (Santos & Almeida, 2017) e em situações mais graves, a morte (Peter, Eneji & Sha'Ato, 2012).

Peter et al., 2012 indicam que soldadores que sofrem de dor de cabeça e tonturas crónicas, apresentaram concentrações superiores de Cr e Mg nas amostras de cabelo, do que trabalhadores da indústria pirotécnica.

Golbabaie & Khadem (2015) indicam que os fumos de soldadura apresentam efeitos cancerígenos, devidamente comprovados por meio de estudos experimentais e epidemiológicos, os quais permitiram classificar o Be, As, Ni, Cd, Pb e Cr (VI), como sendo agentes cancerígenos.

A agência IARC considerou não só estes elementos, mas também os fumos de soldadura pelos seus efeitos cancerígenos comprovados e após em 2017 ter concluído que a exposição a fumos de soldadura causa cancro do pulmão nos humanos, havendo ainda, a possibilidade de causar cancro do rim (Baker et al., 2014; Bakri et al., 2019; Cherrie & Levy, 2020; Dehghan & Mehrifar, 2019; Riccelli et. al, 2020; Stanislawski et al., 2020).

Por último, Golbabaie & Khadem (2015) indicam que foram também relatados efeitos comprovados na pele, relacionados com o desenvolvimento de atividades de soldadura, que podem compreender eritema, pterígio e cancro de pele.

Por conseguinte, verificou-se em alguns estudos a relação entre a exposição ao Be, Cr e Co e a ocorrência de irritação, úlceras e de episódios alérgicos na pele, que pode incluir eczema e dermatite. Além disso, a absorção destes elementos pela pele, pode causar outros efeitos na saúde, como danos nos pulmões, sendo a absorção de pequenas partículas superior, quando existem cortes ou outros danos na pele que facilitam a sua absorção.

Riccelli et al. (2020) realizaram uma revisão sistemática da literatura, na qual identificaram os principais distúrbios pulmonares em soldadores, quer de aço inoxidável, quer de aços macios, que se apresentam seguidamente.

A febre do soldador ou febre dos fumos metálicos é uma doença respiratória aguda que ocorre, aproximadamente 4 horas após a exposição e geralmente desaparece entre 24 a 48 horas, após o início. Os sintomas são semelhantes a uma gripe e é causado principalmente pela inalação de fumos de soldadura que contêm Zn, Cu, Mg e Cd. Embora se trate de uma síndrome que não é permanente, não deve ser tratado como insignificante, uma vez que, permite identificar um trabalhador que pode estar em risco de desenvolver outras doenças pulmonares relacionadas com a soldadura, tal como a asma.

A pneumonia é uma doença, cujos soldadores têm elevado risco de desenvolver, sendo este facto bem conhecido pela comunidade científica, desde 1950 e que contribui para a taxa de mortalidade de soldadores ativos.

Alterações das funções pulmonares foram também relatadas em vários estudos realizados em grupos de controlo e grupos de soldadores; as diferenças foram mais significativas nos soldadores com hábitos tabágicos. Verificou-se que os grupos de soldadores apresentaram alterações mais significativas nas funções pulmonares.

Outro distúrbio, trata-se da bronquite crónica, cuja frequência de sintomas está associada à exposição a fumos de soldadura. Para além dos fumos de soldadura, verificou-se também interação com hábitos tabágicos.

A asma ocupacional é outro distúrbio relatado na revisão de Riccelli et al. (2020) e trata-se de uma inflamação devido a condições específicas do ambiente de trabalho, que pode desenvolver-se como consequência da exposição a alguns metais presentes nos fumos de soldadura, por sensibilização das vias aéreas.

O Cr e o Ni são dois metais com características sensibilizantes já conhecidas, ao passo que outros metais, como o Mn e outros agentes químicos dos fumos de soldadura podem induzir asma ocupacional. A Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica é uma doença comum, passível de prevenção e tratável, que se caracteriza por sintomas respiratórios persistentes e por limitação do fluxo aéreo, devido a anormalidades

das vias aéreas e/ou alveolares, geralmente causadas pela exposição significativa a partículas ou gases nocivos.

A siderose é uma pneumoconiose benigna causada pela inalação de partículas contendo óxidos de Fe, sendo que, existem estudos que indicam que a maioria dos casos com este tipo de distúrbio tem causas que não estão relacionadas à exposição ao Fe.

Foi ainda demonstrado que as atividades de soldadura têm associado um aumento entre 25 e 40% no risco de cancro de pulmão, mesmo que todos os agentes responsáveis por este risco não tenham ainda sido identificados.

Apresentados os principais efeitos no sistema respiratório dos soldadores, importa ainda referir que, são também emitidos gases nos processos de soldadura que podem também desenvolver efeitos negativos no trato respiratório, quando em concentrações elevadas: o O₃ pode provocar irritação do sistema pulmonar, podendo causar falta de ar, respiração ofegante e aperto no peito, e em exposições mais graves pode causar edema pulmonar; o NO₂ (dióxido de azoto) pode causar distúrbio nas funções pulmonares; CO e CO₂ têm efeitos sufocantes, podendo causar danos neurológicos (Baker et al., 2014; Golbabaie & Khadem, 2015; Mehrifar et al., 2019).

Por seu turno, ainda que não resultante da exposição a fumos de soldadura, mas da exposição a radiações UV intensas, bem como visíveis e IV, podem ser desenvolvidas lesões cutâneas de curto e longo prazo. Este tipo de exposição pode ainda desencadear irritação ocular, alguns tipos de cataratas e outras lesões de curto e longo prazo nos soldadores (Golbabaie & Khadem, 2015).

Estes tipos de exposição não foram alvo de análise no presente estudo.

Face ao exposto, torna-se fundamental avaliar as concentrações de EPT's nos postos de trabalho dos soldadores e de outros trabalhadores que se encontrem igualmente expostos, assim como, determinar as concentrações destes agentes no organismo de cada trabalhador, permitindo assim, a adoção de ambientes de trabalho mais saudáveis.

Na secção seguinte são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da monitorização ambiental e da monitorização biológica.

2.5 Monitorização ambiental e Monitorização biológica ou biomonitorização

Os fumos de soldadura são ricos em agentes químicos prejudiciais para a saúde humana, mesmo para níveis baixos de exposição.

As organizações têm a obrigação de realizar a avaliação dos riscos de exposição a agentes químicos nos postos de trabalho, que pode ser realizada através de monitorização ambiental ou biológica (Jakubowski,

2012), quando após o levantamento dos agentes químicos presentes no ar dos locais de trabalho, exista a suspeita de que a exposição profissional a estes agentes pode estar perto dos valores limite estabelecidos e que representam níveis de exposição aceitáveis (DGS, 2018; NP 1796, 2014).

A monitorização ambiental consiste na determinação da concentração dos agentes químicos no ar dos locais de trabalho, através da recolha e análise de amostras de ar com recurso a metodologias e equipamentos indicados para o efeito. Os resultados obtidos são comparados com valores de referência definidos em legislação e/ou normalização (DGS, 2018; NP 1796, 2014; Stanislawska et al., 2020), designados de valor-limite de exposição (VLE)⁸.

A estratégia da medição deve ser estruturada, de tal modo que, permita uma medição completa e representativa de toda a amostragem. Para esse efeito, devem ser considerados os seguintes fatores: a seleção dos trabalhadores para a medição através do estudo criterioso dos padrões de trabalho e da avaliação dos resultados das amostragens preliminares, tendo em conta que podem ocorrer variações aleatórias ou sistemáticas dos padrões de trabalho; a definição do tipo de amostragem entre medições efetuadas num posto estacionário, na vizinhança imediata dos trabalhadores ou diretamente nos trabalhadores, devendo as medições ser realizadas na zona de respiração⁹ dos trabalhadores, tanto quanto possível; e a distribuição do tempo de amostragem, que deve sempre que possível ser estabelecida, de tal modo que cubra a maioria das atividades desenvolvidas (DGS, 2018; NP EN 689, 2018).

Os resultados da monitorização ambiental permitem obter uma estimativa da concentração interna dos agentes químicos nos trabalhadores expostos, através da medição das concentrações dos agentes químicos presentes no ar do local de trabalho. Contudo, não tem em consideração os contributos das outras vias de exposição para além da respiratória, como a cutânea e a digestiva (DGS, 2018; NP 1796, 2004).

Quando o objetivo da monitorização é a determinação da quantidade absorvida de um determinado agente químico pelo organismo dos trabalhadores expostos, recorre-se à monitorização biológica ou biomonitorização (DGS, 2018; NP 1796, 2004).

A biomonitorização pode ser definida, de acordo com Manno et al. (2010), como a medição padronizada, repetida e controlada de biomarcadores (químicos ou bioquímicos) em fluidos, tecidos ou outras

⁸ Valor-limite de exposição (VLE): “concentração de agentes químicos à qual se considera que praticamente todos os trabalhadores possam estar expostos, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde” (NP 1796, 2014).

⁹ A zona de respiração está definida num raio de 30 centímetros da boca/nariz. Nas medições estáticas deverá ser feita numa posição que corresponda a essa zona (DGS, 2018).

amostras biológicas acessíveis de indivíduos expostos ou suscetíveis de serem expostos a fatores de riscos químicos, físicos ou biológicos no local de trabalho e/ou no ambiente em geral.

Os resultados da monitorização são comparados com valores de referência (DGS, 2018; NP 1796, 2014) – os indicadores biológicos de exposição (IBE), que dizem respeito a valores determinados em amostras biológicas, alternativos aos valores definidos para as amostras de ar, constituindo linhas de orientação na apreciação dos resultados da monitorização biológica. Estes indicadores são atualizados anualmente pela ACGIH e dizem respeito a biomarcadores de exposição (Manno et al., 2010).

Os IBE representam os níveis dos indicadores biológicos mais prováveis de serem observados em amostras colhidas em trabalhadores saudáveis expostos a substâncias químicas, com a mesma incidência que trabalhadores expostos ao nível de concentração de VLE, ou seja, estes indicadores são usados como uma medida substituta para o VLE correspondente e, como tal, não deve ser excedido (Manno et al., 2010; NP 1796, 2014).

Os indicadores biológicos ou também designados de biomarcadores constituem eventos sinalizadores, em amostras biológicas como urina ou sangue, de alterações mensuráveis a nível molecular, bioquímico, celular, fisiológico, patológico e comportamental, em resposta à exposição a um agente químico (DGS, 2018; Manno et al., 2010).

Os biomarcadores podem compreender a substância tóxica ou o seu metabolito, assim como, alterações bioquímicas, funcionais, precoces, cuja determinação nos fluidos biológicos, tecidos ou no ar exalado, que irá permitir a avaliação da intensidade da exposição profissional e o risco para a saúde (DGS, 2018). Os IBE não têm como objetivo serem utilizados como medida dos efeitos adversos na saúde ou para diagnóstico de doenças profissionais, mas sim indicar a concentração abaixo da qual a maioria dos trabalhadores expostos não vê a sua saúde. Além disso, o facto de existir valor IBE para uma determinada substância não se torna obrigatório por si só, proceder à monitorização biológica para essa substância. Estes indicadores são definidos com base em exposições de 8 horas de trabalho diárias, durante 5 dias por semana e considerando a informação toxico-cinética e toxico-dinâmica¹⁰.

Deste modo, a correta utilização destes indicadores implica o conhecimento do metabolismo, da distribuição, acumulação, excreção, assim como os efeitos das substâncias a que os trabalhadores estão expostos e por esta razão, os resultados da monitorização biológica devem ser analisados cuidadosamente por profissionais de saúde ocupacional com formação adequada para o efeito.

Se os resultados das medições em amostras recolhidas num trabalhador em diferentes ocasiões excederem o valor IBE de forma continuada, a causa deste resultado deve ser investigada e devem ser

¹⁰ Toxico-dinâmica: mecanismo como o agente químico exerce a sua ação no organismo (DGS, 2018).

tomadas ações para reduzir a exposição do trabalhador. De igual modo, se para a maioria dos trabalhadores nas mesmas condições, as medições nas suas amostras excedem o valor de IBE deve ser adotado o mesmo procedimento.

Importa referir, que a obtenção de resultados abaixo do IBE não implica obrigatoriamente que a exposição não represente riscos para os trabalhadores (NP 1796, 2014) e que a sua exposição se encontre abaixo do VLE e vice-versa (Manno et al., 2010).

No que diz respeito à interpretação e comparação dos resultados obtidos da monitorização biológica com um IBE, é mais confiável que seja realizada num grupo de trabalhadores do que individualmente, uma vez que, os IBE são de natureza de grupo e não individual (Manno et al., 2010).

Para o cabelo não existem valores de referência devidamente estabelecidos e definidos por legislação e/ou normalização, à semelhança dos IBE.

A biomonitorização compreende os seguintes objetivos principais: a avaliação individual ou coletiva da exposição e por isso, a quantificação da dose dos agentes químicos absorvida pelo organismo dos trabalhadores expostos; a proteção da saúde dos trabalhadores expostos; e a avaliação dos riscos de exposição a agentes químicos no âmbito da saúde ocupacional (DGS, 2018; Manno et al., 2010; Stanislawska et al., 2020).

Pese embora, não seja o grande fim a que se destina, adicionalmente esta metodologia permite ainda avaliar a eficácia de EPI's (Jakubowski, 2012) e de equipamentos de proteção coletiva (EPC's), tais como sistemas de ventilação e extração.

Quer a monitorização ambiental, quer a biomonitorização são metodologias de monitorização válidas e usadas na avaliação da exposição ocupacional a agentes químicos. Contudo, ambas apresentam vantagens e desvantagens, as quais se apresentam seguidamente.

A monitorização ambiental permite a identificação clara dos agentes químicos presentes no ambiente de trabalho, possibilitando assim, a distinção objetiva entre a exposição ocupacional e a exposição não ocupacional, ao contrário da biomonitorização (Manno et al., 2010).

Na avaliação da exposição a metais em específico, a monitorização ambiental permite realizar a recolha simultânea dos agentes químicos presentes no ar e posterior identificação e determinação quantitativa, por meio de cromatografia gasosa e espectrometria de massa.

Outro fator de relevância na monitorização ambiental, é a existência de um número elevado de VLE definidos, sob a forma de valores-limite de exposição – média ponderada¹¹ (VLE-MP), valores máximos e valores-limite de exposição – curta duração¹² (VLE-CD), que por vezes em função do agente químico, permitem fazer uma avaliação quantitativa do risco de desenvolvimento de cancro nos trabalhadores expostos (Jakubowski, 2012).

A monitorização ambiental tem também a vantagem de não apresentar de forma geral, entraves relacionados com questões éticas, religiosas e culturais, pela natureza do método de recolha das amostras de ar. Ainda que, esta metodologia seja uma ferramenta de monitorização de grande utilização nas organizações em geral, apresenta algumas desvantagens quando comparada com a biomonitorização, que compreendem: os resultados apenas indicam a estimativa da absorção do agente químico pelo organismo dos trabalhadores expostos; não considera outras vias de exposição para além da respiratória; não considera fatores como a variabilidade de absorção, excreção e o metabolismo; e apenas permite a avaliação da exposição atual a que os trabalhadores se encontram expostos, não permitindo, por isso, avaliar exposições anteriores (Manno et al., 2010).

Na avaliação da exposição a metais em específico, o facto deste tipo de monitorização apenas considerar a exposição através da via respiratória, desconsiderando por isso, outros tipos de exposição, como a cutânea e a ingestão alimentar de metais, é visto como uma grande desvantagem comparativamente com a biomonitorização.

Por conseguinte, a desconsideração de fatores como a dimensão das partículas dos aerossóis, a idade e o género na monitorização ambiental, tornam a biomonitorização a ferramenta de eleição na avaliação da exposição a metais, incluindo os metais pesados, junto da comunidade científica.

Em postos de trabalho de soldadura, a avaliação da exposição a agentes químicos através da monitorização ambiental, de acordo com Stanislawski et al. (2020), pode gerar controvérsia, uma vez que de forma geral, os soldadores utilizam EPI's, tais como, máscaras com circulação de ar forçado, máscara de proteção respiratória que se ajustam firmemente ao rosto, tornando difícil por si só, colocar o equipamento de recolha de amostras de ar.

A biomonitorização, por sua vez, permite obter informações que podem ser eficazes na melhoria das condições de trabalho, a nível individual e/ou coletivos. Essas informações compreendem: a avaliação

¹¹Valor-limite de exposição – média ponderada (VLE-MP) é definido pela norma Portuguesa NP 1796:2014, como sendo “concentração média ponderada para um dia de trabalho de 8 horas e uma semana de 40 horas, à qual se considera que praticamente todos os trabalhadores possam estar expostos, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde”.

¹²Valor-limite de exposição – curta duração (VLE-CD): pode ser definido como uma exposição VLE-MP de 15 minutos que não deve ser excedido, a durante o dia de trabalho, mesmo que a média ponderada seja inferior ao valor-limite (NP 1796, 2014).

da absorção total do agente químico, independentemente da via de entrada no organismo (respiratória, cutânea e/ou digestiva) e o período de exposição; uma estimativa da exposição atual, recente ou passada; fatores de variabilidade na absorção, excreção, grau de metabolismo e a sensibilidade individual de cada trabalhador; os efeitos biológicos iniciais e a capacidade do organismo em tolerar e responder ao agente químico a que se encontra exposto; o esforço despendido no trabalho, isto é, a ventilação pulmonar que para a mesma exposição, os trabalhadores em atividades de maior esforço absorvem maior quantidade do agente do que trabalhadores em atividades mais leves, condicionando assim a absorção dos agentes químicos; e por último, tem em conta as flutuações das concentrações dos agentes químicos presentes na atmosfera do local de trabalho (Manno et al., 2010; DGS, 2018).

Adicionalmente, a biomonitorização permite prever os eventuais efeitos na saúde que possam ser desencadeados, como resultado das concentrações dos agentes químicos presentes nas amostras biológicas, ainda que nem sempre permita obter a relação casual entre a exposição ao agente químico e a afeção da saúde (Manno et al., 2010).

Contudo, esta metodologia apresenta também algumas desvantagens. Uma das desvantagens consiste no facto da biomonitorização não permitir a diferenciação entre a exposição ocupacional e a não ocupacional, podendo levar a que resultados diferentes, entre trabalhadores com o mesmo padrão de exposição ocupacional, não reflitam a absorção do agente químico resultante apenas da exposição ocupacional. Ou seja, fatores como a exposição ambiental em geral, a dieta alimentar, a utilização de produtos de cosmética, consumo de fármacos, hábitos tabágicos e entre outros tipos de ingestão e/ou exposição a metais, podem levar à obtenção de resultados que não coincidam inteiramente com os níveis de exposição ocupacional a que os trabalhadores se encontrem expostos.

Uma das formas de manter o controlo sobre a fonte da exposição não ocupacional, passa pela utilização de questionários para obter informações individuais de cada trabalhador, coletar amostras de pré-exposição para estabelecer níveis de referência e/ou coletar também amostras de trabalhadores não expostos ou praticamente sem exposição ocupacional (Manno et al., 2010).

A principal desvantagem da biomonitorização diz respeito às limitações associadas aos biomarcadores usados e atualmente existentes.

Os biomarcadores são particularmente úteis quando o seu significado toxicológico é de compreensão acessível e permite compreender o destino toxico-cinético¹³ do agente químico ou os seus metabolitos, no caso de biomarcadores de exposição¹⁴, ou o mecanismo da doença ou efeito adverso, no caso de

¹³ Toxicocinética: percurso do agente químico no organismo e a ação do organismo sobre o xenobiótico (DGS, 2018).

biomarcadores de efeito, ou ainda os fatores moduladores que permitam a correlação do agente químico à doença ou efeito adverso, no caso de biomarcadores de suscetibilidade (Manno et. al, 2010).

Todavia a sua utilização apresenta algumas limitações devido à complexidade na distinção entre os diferentes tipos de biomarcadores, tendo sido esta dificuldade relatada em alguns dos estudos realizados na avaliação da exposição a agentes químicos no âmbito da agricultura.

Como meio de ultrapassar esta limitação, a comunidade científica identificou a necessidade de melhorar o conhecimento do metabolismo dos pesticidas em humanos e a definição de índices de exposição biológica, tornando assim, o uso da biomonitorização para a avaliação do risco de exposição aos agentes pesticidas mais eficaz.

Esta necessidade é cada vez mais emergente, não só nas atividades relacionadas com a agricultura, mas de uma forma geral em todos os âmbitos ocupacionais, uma vez que são introduzidos cada vez mais novos compostos, para os quais não existem biomarcadores disponíveis (Manno et al., 2010).

Importa referir que estes indicadores são estabelecidos a partir da correlação entre a concentração do biomarcador num determinado meio biológico e a concentração do agente original no ar. Quando essa relação é derivada da exposição a um agente químico puro (como geralmente é o caso), o nível de biomarcador obtido pode não ser adequado, em princípio, para proteger os trabalhadores da exposição a uma mistura química que inclua esse agente químico em particular. Na presença de níveis significativos de outros agentes químicos semelhantes, a concentração do biomarcador no meio biológico (sangue ou urina), pode ser substancialmente diferente do que na sua ausência.

Para tal, devem ser considerados os seguintes aspetos: o modo como o agente químico é absorvido pelas diferentes vias de exposição profissional; a sua distribuição pelas diferentes regiões do organismo; a biotransformação; a eliminação; e a sua acumulação, ou não, no organismo (DGS, 2018).

Ainda que o uso de biomarcadores na área da saúde clínica tenha vindo a crescer em diferentes estudos realizados, existem poucos biomarcadores que tenham já sido validados na saúde clínica, já que, implicam o estabelecimento de correlações entre os biomarcadores e o estado da saúde da população em geral (Stanislawska et al., 2020).

No que se refere à exposição ocupacional, o número de biomarcadores é limitado, sendo baseado principalmente na determinação de Pb no sangue, Cd no sangue e na urina, Hg e fluoretos de Hg na urina, carboxihemoglobina e metahemoglobina no sangue e diminuição da atividade da acetilcolinesterase no soro.

No ambiente em geral, os biomarcadores mais importantes, incluem o Pb no sangue de crianças, o metilmercúrio no cabelo de mulheres em idade reprodutiva e Cd na urina (Manno et al., 2010).

Ainda que não deva ser encarada como uma desvantagem, mas como uma recomendação, a biomonitorização deve ser aplicada quando disponíveis um conjunto de informações toxicológicas relativas aos mecanismos de ação e/ou a toxicocinética dos agentes químicos aos quais os trabalhadores se encontram expostos.

Durante muito tempo, a biomonitorização foi vista como um complemento da monitorização ambiental, devido a um conjunto de limitações relacionadas com as técnicas analíticas, com o custo associado ao método e com questões éticas relativas à avaliação individual dos indivíduos. Outro fator que contribuiu para esta visão, diz respeito às disposições legais, para as quais a monitorização biológica fica dependente da avaliação do médico do trabalho, na maior parte dos casos (Jakubowski, 2012; DGS, 2018).

Atualmente, os dois tipos de monitorização são utilizados em diferentes âmbitos, para além do âmbito ocupacional e de um modo geral, as organizações recorrem à monitorização ambiental para a quantificação dos agentes químicos presentes na atmosfera dos locais de trabalho (DGS,2018), por se tratar de uma metodologia mais económica e pela ausência de obrigações legais que obriguem a aplicação da biomonitorização, com algumas exceções, como é o caso por exemplo, na avaliação da exposição ocupacional ao Pb.

A biomonitorização tem vindo a ser cada vez mais utilizada em diferentes âmbitos, para além do âmbito ocupacional, como por exemplo na avaliação dos efeitos na saúde resultantes da exposição a agentes químicos no ambiente em geral (Manno et al., 2010), a qual inclui a exposição a metais, incluindo os pesados e para a qual existem vários estudos realizados neste âmbito, na avaliação da exposição a poluição atmosférica, na avaliação da exposição a agentes agropesticidas, a exposição ao fumo de tabaco, na avaliação do consumo de drogas e álcool, em estudos de nutrição e entre outros âmbitos (Jakubowski, 2012; Manno et al., 2010; Pozebon et al., 2017).

No que diz respeito à facilidade de aplicação da biomonitorização nas diferentes atividades ocupacionais, verificou-se que a sua utilização é mais simples em atividades industriais comparativamente com atividades da agricultura ou na avaliação da exposição a agentes químicos no ambiente em geral. Tal acontece, porque em contexto industrial, as atividades realizadas são de forma geral contínuas e/ou cíclicas e por isso, os níveis de exposição são relativamente constantes ao longo do tempo. Consequentemente, a repetibilidade e representatividade das amostras biológicas analisadas apresentam melhores resultados (Manno et al., 2010).

Na avaliação da exposição a metais em específico, incluindo os pesados, como resultado da poluição ambiental, a comunidade científica assume de igual modo, a biomonitorização como a ferramenta de

eleição. Por sua vez, os estudos realizados em âmbito de exposição ocupacional a metais, indicam que a biomonitorização é a metodologia de eleição (Liang et al., 2017), embora alguns autores defendam que os dois tipos de monitorização devem ser aplicados em combinação (Jakubowski, 2012).

Neste âmbito têm sido realizados vários estudos, com recurso a diferentes tipos de amostras, desde amostras de ar, solo e água. Contudo, de acordo com Liang et al. (2017) os dados obtidos através deste tipo de amostras não permitem estimar de forma coerente os efeitos adversos na saúde dos indivíduos expostos, uma vez que, o nível de contaminação por metais pode variar significativamente entre cada uma das regiões habitacionais a que os indivíduos expostos podem pertencer.

Em suma, as amostras biológicas são as mais aceites atualmente pela comunidade científica no que diz respeito à biomonitorização da exposição a metais, incluindo os pesados.

As amostras biológicas utilizadas podem compreender fluidos, como sangue, urina e suor e ainda, tecidos desde unhas, dentes e fios de cabelo.

Neste estudo, foram recolhidas amostras de fios de cabelo, pelas vantagens que este tecido oferece comparativamente com as restantes amostras biológicas.

Na secção seguinte apresentam-se as principais vantagens de utilização do cabelo humano, comparativamente com outras amostras biológicas, na biomonitorização da exposição a metais, incluindo os pesados.

2.6 Papel do cabelo humano na biomonitorização da exposição a EPT's

A determinação de concentrações de EPT's no organismo através de tecidos biológicos, permite prevenir distúrbios da saúde e ainda, realizar um diagnóstico do estado de saúde dos indivíduos expostos ao nível ocupacional, mas também como resultado da alimentação e da poluição ambiental (Isha et al., 2015).

A concentração de metais pesados no organismo humano pode ser determinada com recurso a fluidos biológicos, tais como o sangue, a urina, a saliva, o suor e também através de matrizes biológicas, como as unhas, os dentes e também o cabelo (Baran & Wieczorek, 2013; Chojnacka et al., 2012; Liang et al., 2017; Mehra & Juneja, 2004; Pozebon et al., 2017; Rashed & Hossam, 2007).

Atualmente, o sangue e a urina são os fluidos biológicos utilizados para obter informações acerca do estado de saúde de indivíduos expostos a metais pesados, não só pelas técnicas de análise disponíveis e o custo relativamente baixo, mas também pela existência de IBE para estes fluidos biológicos definidos em normalização e legislação (DGS, 2018; NP 1796, 2014).

O cabelo, em específico, ganhou a atenção da comunidade científica pelas vantagens que oferece, comparativamente com outras matrizes biológicas.

Vários estudos têm vindo a ser realizados com o objetivo de evidenciar a importância, a adequabilidade, a eficácia e a pertinência do cabelo na biomonitorização, para a determinação da concentração de metais, incluindo os pesados, no organismo humano.

A análise elementar do cabelo teve início em 1858, onde foi determinado As no cabelo de cadáveres exumados, contudo, só em 1945 foi proposto que o conteúdo mineral presente no cabelo poderia refletir a presença de biomarcadores no organismo humano.

Até 1960, a análise do cabelo não teve a atenção merecida por parte da comunidade científica, em grande parte também devido à inexistência de tecnologia analítica que permitisse recorrer a esta matriz biológica, sendo por isso, o sangue e a urina, os recursos biológicos de eleição até então.

Nos anos 60 e graças à evolução das técnicas analíticas, a análise do cabelo voltou a ser alvo de interesse por investigadores da área da nutrição (Pozebon, Scheffler & Dressler, 2017).

Entretanto e até aos dias de hoje, a análise desta amostra biológica tem sido vastamente usada em diversos estudos de diferentes áreas: na avaliação do estado nutricional, na investigação forense, na arqueologia, na área clínica e uma vez que pode refletir o estado de saúde, na análise da exposição a poluição ambiental por metais pesados e também na avaliação da exposição ocupacional (Baran & Wieczorek, 2015; Damastuti et al., 2017; Pozebon et al., 2017; Shin, Jung & Ryu, 2020; Woźniak et al., 2019).

O cabelo tem vindo a atrair o interesse da comunidade científica, pelos resultados obtidos quando comparados com os resultados obtidos através de outros tecidos e fluidos biológicos (Khalique et al., 2007; Pozebon et al., 2017).

Atualmente, o cabelo é já reconhecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela Agência da Proteção do Ambiente, como um recurso viável para a avaliação da influência dos metais pesados no organismo humano (Baran & Wieczorek, 2013; Srogi, 2004), sendo igualmente reconhecimento por parte da Global Environmental Monitoring System da United Nations Environment Program e selecionado como o material biomarcador mais importante, para a biomonitorização biológica da poluição ambiental (Peter, Eneji & Sha'Ato, 2012).

Outros estudos têm vindo a ser realizados com o objetivo de demonstrar a correlação entre as concentrações de biomarcadores presentes no cabelo e a ingestão e/ou exposição a esses elementos, como uma ferramenta de controlo e prevenção da ocorrência de efeitos indesejados na saúde humana. A título de exemplo, dos estudos realizados no âmbito da exposição a metais pesados como resultado da poluição ambiental, o estudo conduzido por Sahin et al. (2014), com amostras de cabelo de indivíduos com défice de Fe, sendo previamente diagnosticados com anemia, onde se verificou que a concentração

deste elemento nas amostras de cabelo era muito baixa, quando comparada com a sua concentração nas amostras do grupo de controlo (Woźniak et al., 2019); o estudo realizado por Woźniak et al., (2019) onde se observou a correlação entre a ingestão de Fe, Mg e Zn e a concentração destes elementos no cabelo de crianças, sendo importante referir a especial importância deste estudo, uma vez que os participantes em causa eram crianças e por isso, as amostras de cabelo estavam isentas de tratamentos de estética capilar, ao contrário do que pode ocorrer em indivíduos adultos.

No âmbito da avaliação da exposição ocupacional em específico, têm vindo a ser realizados estudos com recurso à análise de amostras de cabelo, salientando-se o estudo realizado por Usman et al. (2015), no qual foi determinada a concentração de Mn no cabelo de soldadores; o estudo de Damastuti et al. (2017), onde foi determinada a concentração de Hg, Cr, Pb e As em trabalhadores de uma oficina automóvel; o estudo realizado por Damastuti et al. (2017), cujo objetivo foi determinar o conteúdo elementar, em concreto o conteúdo de metais pesados pelo facto de se acumularem no organismo humano, em cabelos de trabalhadores de oficinas automóveis e oficiais de serviços de tráfego, como grupos expostos e comparar os resultados com os resultados do grupo de controlo e referências de dados para a avaliação de exposição.

A correlação entre os níveis de metais no cabelo e a exposição ocupacional está bem documentada e há evidências de correlação mútua significativa entre os níveis de metais pesados no cabelo e nos dentes, unhas e sangue (Khaliq et al., 2007).

Ainda em âmbito ocupacional, especificamente em ambientes de trabalho onde se realizavam atividades de soldadura, foram realizados estudos utilizando amostras de sangue, urina e amostras de ar, com o objetivo de se encontrar associações entre a concentração de determinadas partículas metálicas transportadas pelo ar e a concentração dessas mesmas partículas no sangue e na urina. Em alguns destes estudos foram encontradas estas associações, mas apenas ao nível de grupo e não a nível individual. No entanto, mesmo em estudos com associações positivas, o sangue e a urina não demonstraram ser amostras biológicas práticas devido à pouca variabilidade nas concentrações dos biomarcadores numa ampla gama de exposições. Além disso, as associações encontradas ao nível individual podem ser influenciadas pela ingestão alimentar diária de cada indivíduo.

Por sua vez, o cabelo demonstrou ser uma amostra biológica mais adequada, uma vez que, comparativamente com o sangue e a urina, é menos influenciado pela variabilidade e ingestão alimentar, devido à sua lenta taxa de crescimento (Reiss et al., 2015).

A análise do cabelo humano, em específico, comparativamente com a análise de outras matrizes, apresenta várias vantagens: o processo de recolha de amostras é extremamente simples e fácil, o

processo não é invasivo e é indolor (Feital et al., 2019; Ishaket al., 2015; Liang et al., 2017); não requer condições especiais de transporte e armazenamento, nomeadamente no que se refere à necessidade de refrigeração ou conservação (Feital et al., 2019; Ishak et al., 2015; Pozebon et al., 2017; Woźniak et al., 2019); as amostras de cabelo são muito estáveis e de elevada durabilidade (Zhang, Chai & Sun, 2007); permite obter resultados analíticos junto de comunidades com resistência em fornecer sangue para análise, ou sem recursos laboratoriais especializados, facilitando a análise de populações contaminadas de forma rápida (Pozebon et al., 2017); são obtidos valores de concentrações de metais pesados e outros minerais, de valores superiores, comparativamente com os valores obtidos a partir de outros tecidos e amostras biológicas (Doğan-Sağlamtimur & Kumbur, 2010; Ishak et al., 2015), o que facilita o processo analítico e aumenta a precisão do mesmo (Dorosz et al., 2006; Suliburska et al., 2015; Wiechuła et al., 2007; Wójciak et al., 2005); permite obter uma retrospectiva temporal de exposição muito superior (Appenzeller et al., 2016; Ash & He, 2018), em cerca de 5 vezes, quando comparado com o sangue e a urina (Feital et al., 2019; Ishak et al., 2015), e ainda, o facto da concentração presente no cabelo, refletir o nível médio de metais e outros minerais, presentes no organismo (Mehra & Juneja, 2004; Peter et al., 2012), no momento de formação do cabelo (Damastuti et al. 2017).

Além disso, a análise de cabelo é uma técnica de resultado rápido e economicamente acessível (Feital et al., 2019; Ishak et al., 2015) e com apenas 2 centímetros de amostras de cabelo, é possível obter um histórico de exposição de cerca de 6 a 8 semanas (Ishak et al., 2015; Shin et al., 2020), ao passo que o sangue permite um histórico de exposição de dias e a urina de semanas e cujos níveis diminuem rapidamente após conclusão da exposição (Usman et al., 2015; Woźniak et al., 2019).

As vantagens supracitadas do cabelo na biomonitorização são resultado da sua composição e características.

O cabelo é um tecido morto, com uma taxa de crescimento baixa, cerca de 1 centímetro por mês (esta taxa é afetada pelos hábitos alimentares (Usman et al., 2019)), quando comparada por exemplo com as unhas (Apostoli, 2002) e à medida que cresce, nutrientes e elementos tóxicos como os metais pesados, entram na corrente sanguínea dos folículos capilares (Damastuti et al., 2017).

Por sua vez, e graças à sua composição rica em queratina (entre 65% a 95% de queratina e os restantes elementos com percentagens entre 1% a 2% de lípidos, 15% a 35% de água e por 0,25% e 0,95% de diferentes minerais) (Popescu & Höcker, 2007; Usman et al., 2019), composta por aminoácidos com elevada afinidade de ligação com iões metálicos (Woźniak et al., 2019), já que é constituída por cerca de 50% de C, 21% de N, 17,5% de H, 6,5% de O₂, 5% de S e uma pequena quantidade de biomarcadores,

como o Ca, o Fe, o K, o Na e o Sr (Shin et al., 2020), formam-se ligações com os íons dos metais, presentes nos folículos capilares, que ficam acumuladas à medida que o cabelo cresce.

Por esta razão, a concentração de metais presentes no cabelo são proporcionais à sua concentração no sangue, no momento de formação do fio de cabelo e fornece um histórico de longo prazo de exposição individual (Damastuti et al., 2017).

Além disso, o cabelo é independente da homeostase e já revelou ser mais eficaz na detecção de doenças ou deficiências minerais, do que através do sangue, uma vez que, a sua concentração mineral é cerca de 10 a 100 vezes superior. Todavia, em caso inconclusivos, por vezes opta-se pela análise do cabelo acompanhada pela análise de sangue.

O uso do cabelo como amostra biológica tem também dificuldades associadas, tais como, os tratamentos de estética aplicados, em especial no género feminino, os quais interferem na interpretação dos resultados analíticos (Pozebon et al. 2017; Woźniak et al., 2019).

Para além de que e de acordo com a bibliografia, a presença de biomarcadores no cabelo depende da variabilidade natural da composição do cabelo, resultante da idade, do género, da cor do cabelo, da nacionalidade e da localização geográfica, da etnia, da exposição à poluição ambiental, do tipo de produtos capilares utilizados, do estado de saúde, da dieta alimentar, consumo de fármacos, da presença de substâncias anti nutritivas e a forma química dos minerais consumidos, e ainda, da exposição ocupacional (Peter et al., 2012; Pozebon et al., 2017).

A análise de cabelo para a análise da exposição a metais, tem ainda a desvantagem de não existirem valores de referência para esta matriz biológica, para os diferentes biomarcadores.

Atualmente, existem materiais certificados de cabelo humano, cujos valores de referência foram determinados em populações sem exposições. Contudo, grande parte dos intervalos de concentrações dos elementos publicados são amplos, devido a fatores como a idade, o género, a dieta alimentar, o estilo de vida, a cor do cabelo, os hábitos tabágicos, o ambiente geoquímico e entre outros (Pozebon et al., 2017).

Outra limitação no uso do cabelo consiste no facto de atualmente ainda se desconhecer o mecanismo de incorporação dos biomarcadores na estrutura do cabelo (Woźniak et al., 2019).

Embora não se trate de uma limitação, face às vantagens que o cabelo apresenta comparativamente com outras amostras biológicas, é importante referir que a origem dos elementos determinados – ora contaminação endógena, ora contaminação exógena, é um desafio atualmente para os investigadores, uma vez que, dos estudos realizados ainda não foi possível identificar o procedimento de lavagem mais adequado.

A contaminação endógena resulta da exposição prolongada a substâncias ou elementos que entram no organismo e são incorporadas na estrutura capilar durante o seu crescimento. Por outro lado, a contaminação exógena resulta da contato do cabelo com fumos (soldadura, tabaco, entre outros), produtos cosméticos, transpiração, contato durante a recolha e armazenagem e outros fatores (Pozebon et al., 2017). Esta contaminação pode ser potenciada por carga electrostática e o sebo existente nos fios de cabelo (Reiss, et al., 2015).

De acordo com a revisão de Pozebon et al. (2017), o procedimento de lavagem deve ser idealmente, elaborado de acordo com os elementos a determinar nas amostras de cabelo.

Como meio de validar a eficácia do processo de lavagem utilizado, os autores recomendam na sua revisão, para além da análise do cabelo lavado, a análise das soluções de lavagem e das amostras de cabelo sem lavagem. Deste modo, é possível obter uma indicação das concentrações dos elementos resultantes da contaminação exógena e/ou endógena.

No capítulo seguinte apresenta-se o protocolo experimental adotado, o qual inclui a apresentação do tema a entidades com interesse em participar neste estudo e a caracterização das entidades participantes.

De seguida, apresenta-se a metodologia de recolha e tratamento de dados e das amostras dos participantes e a sua caracterização.

Por último, apresenta-se a metodologia de recolha, de lavagem, de secagem, de digestão e da análise das amostras e o procedimento adotado e o respetivo controlo de qualidade.

3. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Neste ponto encontra-se disponível a informação relativa à apresentação deste estudo às empresas participantes e ao processo de recrutamento e triagem dos participantes.

De seguida, é feita a caracterização das entidades participantes, incluindo as principais características das matérias-primas utilizadas nos seus processos de soldadura e a caracterização dos grupos de exposição e de controlo, considerando os critérios de aceitação.

Por último, é apresentado o procedimento adotado para a recolha e o tratamento dos dados pessoais e para a recolha, lavagem, digestão e análise ICP-MS das amostras de cabelo e das suas soluções de lavagem.

3.1 Apresentação do trabalho de investigação, recrutamento e triagem

Este estudo foi apresentado via email a algumas entidades, que nas suas atividades industriais realizavam atividades de soldadura.

Na apresentação foram informados os principais objetivos do estudo, facultadas informações sobre o procedimento de recolha e tratamento das amostras e dos dados pessoais de cada participante e ainda, o procedimento para assegurar a confidencialidade de todos os participantes e das próprias entidades.

As entidades que demonstraram livre interesse em participar, receberam posteriormente mais informação detalhada, que compreendeu: o parecer favorável da Comissão de Ética para a Investigação em Ciências Sociais e Humanas (CEICSH) da Universidade do Minho com identificação CEICSH 048/2020, Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, Minuta de Declaração de Compromisso e Honra e os questionários a facultar aos participantes.

Todos os participantes foram informados do estudo de investigação através dos responsáveis das empresas, tendo como auxílio a disponibilização de um *flyer* informativo (disponível no Anexo I), devido à impossibilidade do projeto ser apresentado presencialmente face à pandemia da Covid-19.

Este *flyer* teve como objetivo, não só auxiliar a compilação da informação a disponibilizar, tal como o objetivo do estudo, o procedimento experimental, os critérios de seleção, a garantia de confidencialidade e sigilo e do direito de acesso aos resultados das análises das amostras, se assim o desejassem, mas também, de que forma seriam asseguradas todas as medidas de prevenção e controlo de propagação da Covid-19.

A seleção de cada participante, após o seu consentimento voluntário, livre, específico, informado, explícito e formalizado no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, foi feita com base nos seguintes critérios de inclusão: cabelo com comprimento suficiente para permitir a recolha de amostras (comprimento

mínimo de 1 cm), ausência de calvície ou alopecia e livre de tratamentos de estética, como pintura, alisamentos ou outros.

Por sua vez, os critérios de exclusão foram baseados na insatisfação dos requisitos de inclusão, sendo que, para estas situações foi explicado ao candidato, a razão pela qual não foi possível participar no estudo.

Importa referir, que a pré-seleção dos participantes foi da inteira responsabilidade das entidades participantes, como meio de garantia do sigilo e confidencialidade de cada participante.

Os participantes selecionados foram ainda informados acerca do direito de, a qualquer instante e sem necessidade de justificação, deixar de fazer parte do projeto, com a consequente e imediata remoção dos seus dados do conjunto de informação recolhida.

A divulgação dos resultados foi comunicada exclusivamente pelos responsáveis das empresas, de forma individual e sigilosa a cada trabalhador que tenha demonstrado interesse em tomar conhecimento dos resultados e uma vez que, a identificação de cada participante foi da responsabilidade exclusiva das empresas.

No ponto seguinte é feita a caracterização das entidades participantes, sendo indicados os tipos de soldadura executados e as principais características químicas das matérias-primas utilizadas nas suas atividades industriais.

3.2 Caracterização das Entidades participantes

Para cada uma das entidades constituíram-se grupos de exposição e de controlo, sendo o grupo de controlo 1 (C1) e de exposição 1 (E1) para a empresa n.º 1, o grupo de controlo 2 (C2) e de exposição 2 (E2) para a empresa n.º 2, e o grupo de controlo 3 (C3) e de exposição 3 (E3) para a empresa n.º 3.

Os grupos de exposição E1, E2 e E3 foram constituídos por trabalhadores que executavam tarefas de soldadura durante o seu turno de trabalho, tendo sido também incluídos participantes que não executavam atividades de soldadura, mas que pela proximidade dos seus postos de trabalho aos postos de soldadura, se encontravam igualmente expostos a fumos de soldadura.

Além da componente da exposição, houve também a necessidade de incluir estes participantes para que o tamanho da amostra fosse o mais representativo possível.

Por sua vez, os grupos de controlo¹⁵ C1, C2 e C3 foram constituídos por trabalhadores com funções de carácter administrativo ou outras funções que não implicassem exposições prolongadas a fumos de

¹⁵ Também designados na bibliografia por grupos padrão (Pozebon et al., 2017)

soldadura, tratando-se por isso, de trabalhadores não expostos ou praticamente não expostos a EPT's, durante a jornada diária de trabalho.

Importa referir que a necessidade de constituir grupos de controlo surgiu pelo facto de não existirem valores de referência para todos os biomarcadores em análise, que permitissem uma análise comparativa com os resultados obtidos nos grupos de exposição (Pozebon et al., 2017).

As características de cada um dos tipos de soldaduras foram já apresentadas no ponto 2.1 desta dissertação.

Seguidamente, é feita a caracterização das três entidades participante de modo individualizado.

3.2.1 Entidade 1

A produção da entidade 1 compreendia o fabrico de componentes para a indústria automóvel obtidos através de processos de estampagem, conformação, rebitagem, aparafusamento e soldadura.

No que diz respeito à soldadura, são utilizados os seguintes tipos de soldadura: soldadura por pontos (Spot-Welding), soldadura de bossas (Projection-Welding) e soldadura MAG, com mistura de Ar e CO₂.

Os postos de soldadura estavam munidos de sistemas individuais de aspiração dos fumos de soldadura e a nave industrial dispunha de sistema de ventilação e despoeiramento em funcionamento.

Relativamente às matérias-primas utilizadas nos processos de fabrico, apresentam-se na tabela abaixo as concentrações máximas dos elementos constituintes utilizadas na entidade 1 no momento de recolha das amostras de cabelo.

Tabela 2 - Concentrações máximas dos elementos constituintes das matérias-primas utilizadas na entidade 1, no momento de recolha das amostras de cabelo.

Elemento	% máx						
Al	0,04	Fe	99,38	Ni	0,02	V	0,01
Be	0,5	Mn	1,62	P	0,018	Zr	0,1
C	0,09	Mo	0,042	S	0,012	-	-
Cu	98,7	N	0,007	Si	0,92	-	-
Cr	1	Nb	0,042	Ti	0,15	-	-

As composições químicas das ligas metálicas, dos elétrodos e dos terminais de soldadura utilizados pela entidade 1, podem ser consultadas no Anexo II Anexo II .

3.2.2 Entidade 2

A entidade 2 produz componentes para a indústria automóvel obtidos através de vários processos industriais, incluindo por soldadura dos seguintes tipos: soldadura MAG e MIG, com mistura de Ar e CO₂, soldadura por pontos (Spot-Welding) e ainda soldadura por arco elétrico manual ou eletrodo revestido.

As naves industriais dispunham de sistemas de ventilação e despoejamento em funcionamento.

As concentrações máximas dos elementos que podem estar presentes nas matérias-primas utilizadas nos processos de fabrico da entidade 2, são as que se apresentam na tabela seguinte:

Tabela 3 - Concentrações máximas dos elementos tipicamente presentes nas matérias-primas utilizadas na entidade 2, no momento de recolha das amostras de cabelo.

Elemento	% máx	Elemento	% máx	Elemento	% máx	Elemento	% máx
Al	99,5	Cu	<0,3	Mg	<0,2	Si	5,5
Be	<0,0003	Fe	97,57	P	<0,002	Ti	<0,15
C	0,07	Mn	1,31	S	0,02	Zn	0,07

No Anexo III podem ser consultadas as composições químicas de cada uma das ligas metálicas e dos eletrodos utilizados na entidade 2.

3.2.3 Entidade 3

A entidade 3 produzia estruturas metálicas obtidas através de soldaduras do tipo MAG, com mistura de Ar e CO₂.

Nesta entidade não foi realizada visita à área fabril, não sendo por isso, possível atestar a existência de sistema de ventilação e despoejamento.

As concentrações máximas dos elementos que poderiam estar presentes nas matérias-primas utilizadas na entidade 3, apresentam-se na tabela abaixo:

Tabela 4 - Concentrações máximas dos elementos das matérias-primas utilizadas na entidade 3, no momento de recolha das amostras de cabelo, no momento de recolha das amostras de cabelo.

Elemento	% máx						
Al	0,007	Fe	98,24	Ni	0,18	Sn	0,027
C	0,17	Mn	1,69	P	0,023	Ti	0,001
Cr	0,19	Mo	0,039	S	0,034	V	0,003
Cu	0,507	N	0,01	Si	0,88	-	-

No Anexo IV Anexo III podem ser consultadas as composições químicas das ligas metálicas e dos eletrodos utilizados na entidade 3.

3.3 Caracterização dos Grupos de Controlo e de Exposição

3.3.1 Recolha e tratamento dos dados dos participantes

A caracterização dos grupos de controlo e de exposição foi feita por meio de um breve questionário, preenchido em formato de entrevista, com duração de cerca de 15 minutos junto da investigadora, de forma individual com cada um dos participantes.

Para cada um dos grupos (exposição e controlo), o questionário disponibilizado foi adequado, sendo o “Questionário Grupo de Controlo” (Anexo V) disponibilizado aos grupos de controlo (C1, C2, C3) e o “Questionário Grupo de Exposição” (Anexo VI Anexo VI) aos grupos de exposição (E1, E2, E3).

Para além da caracterização dos grupos, o preenchimento dos questionários teve também o objetivo de reunir informações que apoiassem a interpretação dos resultados analíticos das amostras e uma vez que, de acordo com os estudos realizados, fatores como a idade, o género, a etnia, o consumo de fármacos, hábitos tabágicos, o consumo de estupefacientes, a dieta nutricional, a localização geoquímica, a frequência de lavagem do cabelo, o uso regular de cosméticos e a exposição ocupacional a metais pesados, influenciam a presença dos biomarcadores no cabelo humano (Apostoli, 2002; Baran & Wieczorek, 2013; Hassani et al., 2015; Liang et al., 2017; Peter et al., 2012; Pozebon et al., 2017; Woźniak et al., 2019).

Para este estudo, apenas foram recolhidos os dados pessoais necessários para que fossem respeitados ao máximo o sigilo e a privacidade de cada participante.

Os questionários foram preenchidos e arquivados através de uma codificação previamente atribuída pelos responsáveis das entidades participantes, para assegurar o sigilo e anonimato de todos os participantes, assim como a rastreabilidade das amostras de cabelo.

3.3.2 Caracterização dos Grupos de Controlo e de Exposição

No decorrer da recolha das amostras foi possível verificar que os trabalhadores expostos a fumos de soldadura utilizavam EPI's, que incluíam máscaras de soldadura ou máscaras de proteção respiratória face à pandemia da Covid-19.

Relativamente aos participantes que constituíram os grupos de controlo (C1, C2, C3), corresponderam a trabalhadores que não executavam atividades de soldadura nas suas atividades ocupacionais e que nos seus postos de trabalho não existia exposição a fumos de soldadura.

Para cada uma das entidades, é apresentada seguidamente a caracterização de cada um dos grupos de controlo e de exposição.

3.3.2.1 Entidade 1

Na entidade 1 foram recolhidas 34 amostras de cabelo de participantes com exposição a fumos de soldadura, constituindo o grupo de exposição E1 de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 5 - Caracterização do grupo de exposição E1.

Género	Masculino (n.º)	Feminino (n.º)
N.º de participantes	26	8
N.º de participantes que executavam atividades de soldadura	10	7
N.º de participantes que executavam outras atividades com exposição	16	1
Intervalo da faixa etária (anos)		
20 - 30	6	1
31 - 40	4	2
41 - 50	7	2
51 - 60	7	3
61 - 70	1	0
Sem resposta	1	0
Frequência de lavagem do cabelo ^(*)		
Diariamente ou mais do que uma vez/dia	18	0
1 a 2 vezes/semana	0	4
3 a 4 vezes/semana	7	3
5 ou mais vezes/semana	1	0
Hábitos tabágicos	11	1

^(*) Um participante não respondeu a esta questão.

Importa referir que nos postos de soldadura com aspiração localizada de fumos de soldadura e para os quais, os resultados das monitorizações ambientais da exposição a agentes químicos apresentaram valores-limite de exposição abaixo dos VLE definidos, os trabalhadores não se encontravam obrigados a utilizar proteção respiratória (com exceção da proteção respiratória contra a COVID-19).

Das 34 amostras recolhidas foram excluídas 2 amostras (amostras E1.7 e E1.15), uma vez que apresentavam massa insuficiente para que pudessem ser analisadas.

Das 32 amostras analisadas, 1 amostra (amostra E1.6) continha tratamento de estética (pintura) realizado há mais de um ano. Embora este fator tenha sido apresentado como um fator eliminatório, esta amostra foi aceite no estudo quer pelo período sem repetição do tratamento, quer pela vontade demonstrada por parte do participante em fazer parte deste estudo. Nesta amostra foi cortada a secção de cabelo sem tratamento de estética e analisada, sendo a restante descartada.

O grupo de controlo C1 constituiu-se por participantes que executavam atividades administrativas, podendo realizar visitas curtas e esporádicas à área fabril. Este grupo foi composto por 9 participantes de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 6 - Caracterização do grupo de controlo C1.

Género	Masculino (n.º)	Feminino (n.º)
N.º de participantes	8	1
Intervalo da faixa etária (anos)		
20 - 30	1	0
31 - 40	3	0
41 - 50	1	1
51 - 60	2	0
61 - 70	1	0
Frequência de lavagem do cabelo		
Diariamente ou mais do que uma vez/dia	6	0
1 a 2 vezes/semana	0	0
3 a 4 vezes/semana	1	1
5 ou mais vezes/semana	1	0
Hábitos tabágicos	7	0

Das 9 amostras recolhidas, 3 possibilitaram realizar réplicas pela massa de cabelo disponibilizada, tratando-se das amostras C1.1, C1.7 e C1.8.

A solução de lavagem da amostra C1.2 não foi considerada nas análises das soluções de lavagem, uma vez que houve perda de solução durante o processo de lavagem.

3.3.2.2 Entidade 2

Na entidade 2 foram recolhidas 22 amostras relativas ao grupo de exposição E2, sendo feita a sua caracterização de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 7 – Caracterização do grupo de exposição E2.

Género	Masculino (n.º)	Feminino (n.º)
N.º de participantes	22	0
N.º de participantes que executam atividades de soldadura ^(*)	16	0
N.º de participantes que executam outras atividades com exposição ^(*)	4	0
Intervalo da faixa etária (anos)		
20 – 30	5	0
31 – 40	4	0
41 – 50	3	0
51 – 60	9	0
61 – 70	1	0
Frequência de lavagem do cabelo		
Diariamente ou mais do que uma vez/dia	15	0
1 a 2 vezes/semana	1	0
3 a 4 vezes/semana	6	0
5 ou mais vezes/semana	0	0
Hábitos tabágicos	5	0

^(*) Um participante não respondeu a esta questão.

Das 22 amostras recolhidas foi desconsiderada 1 amostra (E2.3), por se tratar de uma amostra da barba do participante. Apesar deste tipo de amostra não se enquadrar no âmbito deste estudo, realizou-se a recolha com o objetivo do participante não se sentir excluído, tendo sido explicado que esta amostra não seria considerada nos resultados.

As soluções de lavagem das amostras E2.3 e E2.4 foram desconsideradas, uma vez que não apresentavam volume de solução suficiente.

O grupo de controlo C2 foi composto por trabalhadores com atividades ligadas à área fabril, mas com postos de trabalho independentes dos postos onde se executam atividades de soldadura.

A sua caracterização encontra-se na tabela seguinte:

Tabela 8 – Caracterização do grupo de exposição C2.

Género	Masculino (n.º)	Feminino (n.º)
N.º de participantes	11	0
Intervalo da faixa etária (anos)		
20 – 30	1	0
31 – 40	5	0
41 – 50	3	0

Género	Masculino (n.º)	Feminino (n.º)
51 – 60	2	0
Frequência de lavagem do cabelo		
Diariamente ou mais do que uma vez/dia	11	0
1 a 2 vezes/semana	0	0
3 a 4 vezes/semana	0	0
5 ou mais vezes/semana	0	0
Hábitos tabágicos ^{a)}	3	0

^{a)} Um participante não respondeu a esta questão.

A solução de lavagem da amostra C2.3 foi desconsiderada, uma vez que não apresentava volume de solução suficiente.

3.3.2.3 Entidade 3

Na entidade 3 foram recolhidas 3 amostras que constituíram o grupo de exposição E3, tendo estes participantes atividades exclusivas de soldadura na jornada diária de trabalho. A caracterização deste grupo encontra-se na tabela abaixo:

Tabela 9 - Caracterização do grupo de exposição E3.

Género	Masculino (n.º)	Feminino (n.º)
N.º de participantes	3	0
N.º de participantes que executam	3	0
N.º de participantes que executam outras atividades com exposição	0	0
Intervalo da faixa etária (anos)		
20 - 30	2	0
31 - 40	1	0
Frequência de lavagem do cabelo		
Diariamente ou mais do que uma vez/dia	3	0
Hábitos tabágicos	0	0

A solução de lavagem da amostra E3.3 não foi considerada nas análises das soluções de lavagem, uma vez que houve perda de solução durante o processo de lavagem.

O grupo de controlo C3 foi constituído por 2 participantes que desempenhavam atividades administrativas, com visitas diárias à área fabril com duração média inferior a 30 minutos.

Na tabela seguinte apresenta-se a caracterização do grupo de controlo C3:

Tabela 10 - Caracterização do grupo de controlo C3.

Género	Masculino (n.º)	Feminino (n.º)
N.º de participantes	2	0
Intervalo da faixa etária (anos)		
41 - 50	2	0
Frequência de lavagem do cabelo		
Diariamente ou mais do que uma vez/dia	2	0
Hábitos tabágicos	0	0

Apresentada a caracterização dos grupos de exposição (E1, E2, E3) e de controlo (C1, C2, C3), descreve-se nos pontos seguintes, o procedimento adotado para a recolha, lavagem, digestão e análise das amostras de cabelo recolhidas e das respetivas soluções de lavagem.

3.4 Recolha, lavagem e secagem das amostras de cabelo

A zona de recolha de amostras para a análise elementar de cabelo, está atualmente padronizada na região occipital, acima do pescoço, devendo o espaçamento entre cada recolha ser de aproximadamente 10 mm (Liang, et al., 2017; Pozebon et al., 2017). A recolha é realizada com recurso a tesouras, preferencialmente de material não metálico para minimizar a contaminação das amostras recolhidas com elementos metálicos do material constituinte das tesouras. Neste estudo foram utilizadas tesouras em aço inox, tendo sido limpas com álcool etílico e algodão entre cada recolha, evitando assim, a contaminação entre recolhas. Alguns dos participantes do género masculino e por se tratar de participantes que de modo geral, têm fios de cabelo com comprimento muito pequeno, retiraram-se as amostras de diferentes zonas do couro cabeludo – entre 5 a 6 zonas diferentes, mantendo o distanciamento entre as zonas de recolha de cerca de 10 mm (Baran, & Wiczorek, 2013; Liang et al., 2017). Todas as amostras foram guardadas em sacos zip e identificadas, de acordo com o descrito na caracterização de cada uma das entidades participantes. No que diz respeito à contaminação endógena dos fios de cabelo, esta resulta da exposição prolongada a substâncias ou elementos que entram no organismo e são incorporadas na estrutura capilar durante o seu crescimento. Por seu turno, a contaminação exógena resulta do contato do cabelo com agentes contaminantes externos, como fumos (soldadura, tabaco, entre outros), produtos cosméticos, transpiração, contato durante a recolha e a armazenagem das amostras, etc (Pozebon et al., 2017).

Os biomarcadores presentes no cabelo podem ser arrastados pela água e podem ligar-se à queratina, enquanto partículas de poeiras, que contêm quantidades significativas de biomarcadores, podem ser

retidas entre as várias camadas da cutícula através de interações electrostáticas, especialmente quando a cutícula se encontra danificada. As formas de fixação dos biomarcadores, fortes ou fracas, podem conduzir a diferentes perdas durante o processo de lavagem do cabelo (Pozebon et al., 2017). Por esta razão, é impraticável encontrar um procedimento de lavagem para determinar vários biomarcadores de ampla gama. Nesse sentido, os diferentes reagentes e solventes usados para lavar os cabelos também devem ser analisados em paralelo com a amostra (Pozebon et al., 2017). Alguns elementos exógenos (especialmente o Hg) ligam-se fortemente ao cabelo e encontrar procedimentos de lavagem efetivos torna-se difícil, carecendo por isso de avaliação cuidadosa. Além disso, os fragmentos de poeiras e sujidade que permanecem no cabelo, mesmo após o processo de lavagem, podem interferir nos resultados da análise dos biomarcadores (Pozebon et al., 2017). De acordo com a revisão de procedimentos e aplicações realizada por Pozebon et al. (2017), é sabido pela comunidade científica, que os solventes orgânicos, como o cloreto de metileno ou a acetona, removem apenas a contaminação da superfície do cabelo, ao passo que, soluções como o metanol, (que incham os cabelos) extraem componentes da matriz capilar. Contudo, não há nenhum procedimento de lavagem que retire exclusivamente contaminação exógena, sem influenciar o conteúdo endógeno do cabelo. A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) recomenda um procedimento de lavagem normalizado, para obter resultados comparáveis, que consiste de forma sucinta, à utilização de água e acetona na lavagem do cabelo. Este procedimento tem sido usado de forma indiscriminada em vários estudos de análise de cabelo, para um grande número de elementos, sem que o mesmo sofra qualquer evolução. Por outro lado, grande parte dos estudos realizados não adotaram o procedimento normalizado da IAEA (Pozebon et al., 2017). Em estudos realizados seguindo este protocolo, conclui-se que o procedimento da IAEA não é eficaz na remoção exógena de U no cabelo, tendo sido também observado que o estado físico dos fios de cabelo também pode interferir nos níveis de U exógeno que permanece no cabelo. No que diz respeito à água desmineralizada como um reagente de lavagem, observou-se que é eficaz na remoção de Fe, Al, Cu, Mn, Cr e Pb, não sendo tão eficaz na remoção de outros elementos, como por exemplo, o Hg. Além disso, verificou-se também que a água desmineralizada é mais eficaz na remoção de sujidade superficial e de gordura.

Por sua vez, nos estudos em que recorreram à água desmineralizada como reagente de lavagem com agitação ultrassónica, não foi possível observar uma diferença de forma exata entre a origem endógena ou exógena dos elementos avaliados. A acetona por sua vez, remove as partículas sólidas depositadas nos fios de cabelo, mas também causa destruição parcial da sua estrutura capilar, observável à escala microscópica, com recurso a SEM-EDX (espectroscopia de raios-X com dispersão de energia) (Pozebon

et al., 2017). Neste trabalho, as amostras de cabelo foram lavadas com água desmineralizada com agitação ultrassônica durante 10 minutos. Após a lavagem, a água resultante da lavagem foi recolhida para posterior análise por ICP-MS e as amostras de cabelo foram secas numa estufa a 45°C durante 24 horas. Após a secagem, as amostras foram cortadas em pequenos pedaços antes da decomposição, de modo a minimizar os resultados imprecisos devido ao aumento da heterogeneidade com a diminuição da massa (Pozebon et al., 2017). As soluções de lavagem das amostras foram analisadas com o objetivo de determinar a concentração dos biomarcadores presentes na contaminação exógena. Além disso, a análise das soluções de lavagem e de acordo com Pozebon et. (2017), é uma forma de validar a eficácia do processo de lavagem, ou seja, validar que apenas a contaminação exógena é removida. Estes autores recomendam que sejam também analisadas no ICP-MS as amostras sem lavagem, para posterior comparação com as amostras lavadas. Contudo, neste estudo não foi possível analisar as amostras sem lavagem face às pequenas quantidades em massa de cabelo disponíveis para cada uma das amostras.

3.5 Digestão das amostras de cabelo

Após os processos de lavagem e secagem as amostras de cabelo são submetidas a um processo de digestão para posterior análise. Desde que a utilização do cabelo para a biomonitorização ganhou a atenção da comunidade científica, vários métodos de digestão foram utilizados, tais como: a digestão ácida, digestão ácida com recurso a forno micro-ondas e através de cinza seca, devendo ser selecionado o método de acordo com os biomarcadores a determinar (Ishak et al., 2015). Nos estudos realizados não foram encontradas diferenças estatísticas de precisão entre os três métodos de digestão, como citado por Ishak et al., 2015 e de acordo com Ming, & Bing (1998). Todavia, a digestão ácida com recurso a forno micro-ondas é o método considerado mais eficaz na comunidade científica, embora se trate de um método dispendioso, fruto do elevado custo do equipamento forno micro-ondas, com baixa produtividade e a sua adequabilidade é restrita a estudos de diagnóstico (Ishak et al., 2015).

Dos estudos realizados para a medição da concentração de biomarcadores no cabelo e unhas humanas, verifica-se que o processo de digestão maioritariamente utilizado consistiu na utilização de uma mistura de aproximadamente 0,8 mL de ácido nítrico (HNO₃) e 0,2 mL de peróxido de hidrogénio (H₂O₂). Contudo, no que diz respeito às condições experimentais, tais como a temperatura, a duração do processo de digestão e o equipamento utilizado, têm vindo a diferir de estudo para estudo (Shin et al., 2020), podendo em muitas das vezes não serem alvo de menção.

Shin et al. (2020) conduziram um estudo, no qual foram aplicadas cinco metodologias diferentes de digestão ácida, usando como reagentes o HNO₃ e H₂O₂, em dois padrões certificados de cabelo humano

(IAEA085 e IAEA086). Os resultados obtidos para cada um dos cinco métodos, foram comparados em função das taxas de recuperação em relação aos valores certificados.

O estudo demonstrou que em amostras de cabelo com baixa concentração de cátions organometálicos (IAEA086), o processo de digestão é mais eficaz e apresenta melhor taxa de recuperação, quando aplicada a combinação de elevada temperatura com uma maior quantidade de H₂O₂. Por sua vez, amostras com elevada concentração de cátions organometálicos (IAEA085), obtiveram-se melhores resultados com a combinação de elevada temperatura com menor volume de H₂O₂ e realizando o processo de digestão duas vezes.

Deste modo, este estudo mostrou que a combinação de alta temperatura e digestões diversas permite determinar melhor os oligoelementos no cabelo humano com alto teor de compostos orgânicos, mas que o método de digestão deve ser cuidadosamente selecionado levando em consideração o teor de cátions organometálicos.

No estudo realizado por Ishak et al. (2015) foram comparados três métodos de digestão, otimizados em função do sucesso de conclusão da digestão, tempo de resposta, minimização da contaminação, simplicidade, segurança e equipamentos anteriormente utilizados em estudos prévios.

Como resultado, foram encontradas diferenças significativas nas concentrações de Se, Mn, Mg e Zn, entre a digestão ácida usando apenas HNO₃ e a digestão ácida usando a combinação de HNO₃ e H₂O₂. Além disso, verificou-se ainda: para o cobre não foram encontradas diferenças significativas em nenhum dos métodos de digestão; para o manganês foi determinada maior concentração através do método de digestão com HNO₃; para o Mn e o Zn foram determinadas concentrações inferiores através do método de digestão com cinza seca.

De acordo com a revisão realizada por Pozebon et al. (2017), para uma digestão eficiente deve ser realizado um processo de digestão ácido, realizado em recipiente aberto ou fechado e com aquecimento através de forno microondas ou outra fonte de energia. Adicionalmente, os autores sugerem a mistura de uma solução aquosa de metanol a 1% simultaneamente com os padrões internos para minimizar o efeito do carbono no ICP, mas também do ácido presente na solução da amostra. A digestão realizada em recipiente fechado com aquecimento em forno micro-ondas é o processo mais adequado, uma vez que há menor probabilidade de contaminação das amostras, do que no processo realizado em recipiente aberto. Contudo, mesmo quando as amostras são digeridas com ácido em recipiente fechado, pode ocorrer que o processo de digestão não seja completo. O sucesso deste processo depende da pressão, temperatura, tempo de aquecimento e da quantidade de reagentes adicionados (Pozebon et al., 2017). O processo de digestão de amostras de cabelo não se encontra ainda padronizado, o que por si só,

dificulta a discussão de resultados entre diferentes estudos, mesmo que realizados no mesmo âmbito. Para que tal seja possível, é necessário que o processo seja validado, respondendo a parâmetros de exatidão, precisão, percentagem de recuperação e a limites de detecção do método (LDM)¹⁶. Deste modo, os resultados são considerados fiáveis e passíveis de comparação entre estudos. Quando o processo de digestão do cabelo não é completo como deveria, resulta numa quantidade apreciável de C na solução da amostra. Esta quantidade de C afeta os resultados da análise, uma vez que, aumenta o sinal de alguns elementos na análise ICP, devido às reações de transferência de carga de carbono, especialmente os elementos com potencial de ionização semelhante ao carbono (Pozebon et al., 2017). Outro meio de verificar se a digestão foi completa, passa pela utilização de materiais de referência certificados (MRC) com uma matriz muito semelhante às amostras. Neste trabalho foi realizada uma digestão ácida com aquecimento com recurso a uma placa de digestão (Digprep – SCP Science), a qual permite digerir 47 amostras em recipiente semifechado em simultâneo, uma vez que a utilização do micro-ondas só seria possível digerir 10 amostras por cada batch. Pesou-se cerca de 0,2g de cada amostra de cabelo para tubos do Digprep, às quais foram adicionados 5 mL de HNO₃ ultra-puro, tendo sido as amostras deixadas a reagir com o ácido durante 24 horas.

A figura 1 mostra o aspeto das amostras após 24 horas de reação com o HNO₃. Após este tempo de reação adicionou-se 2 mL de H₂O₂ e colocaram-se as amostras no digestor a uma temperatura de 90°C. Para que esta temperatura fosse atingida, definiram-se patamares de temperatura: 10 min para atingir 50°C, 5 min a 50°C, 15 min para atingir os 90°C, tendo permanecido 30 min à temperatura de 90°C. Após esta etapa, evaporou-se o HNO₃ e o H₂O₂ a 50°C e retomou-se as amostras para um volume final de 20 mL com HNO₃ a 1% (v/v).

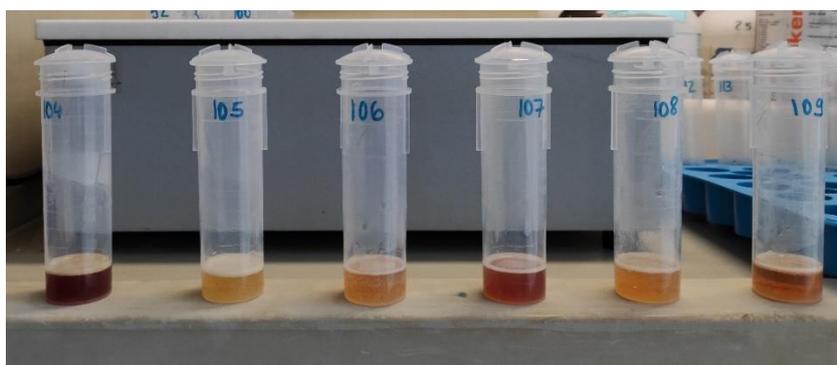


Figura 1 – Aspeto das amostras após o processo de digestão.

¹⁶ A precisão foi definida pela bibliografia como o nível de reprodutibilidade dos resultados experimentais. A percentagem de recuperação é um parâmetro crucial de validação do método de digestão e se a sua percentagem for baixa, significa que a tendência da amostra afeta o método e por isso, diminui a validade do processo. A exatidão refere-se à proximidade de um valor medido a um valor conhecido, que pode ser padronizado. Os limites de detecção do método (LDM) referem-se aos valores mínimos de concentração de uma substância, que pode ser medida e reportada com 99% de confiança que a concentração de análise é maior que zero (Ishak et al., 2015).

As soluções foram analisadas por ICP-MS (Agilent 7000 Series ICP-MS), no Laboratório de Geoquímica Aplicada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Relativamente aos materiais utilizados, consistiram nos que se listam abaixo:

- Tesouras em aço inox;
- Sacos zip;
- Marcador permanente;
- Álcool etílico;
- Papel;
- Algodão;
- Pinça metálica;
- Copos de vidro;
- Balança analítica (Sartorius BP 221S);
- Material certificado ERM-DB001;
- Água desmineralizada;
- Ultrassons;
- Estufa de secagem;
- HNO₃ a 1% (v/v);
- H₂O₂;
- Placa de digestão (Digprep – SCP Science);
- Tubos do Digprep;
- Equipamento ICP-MS (Agilent 7000 Series ICP-MS).

Na secção seguinte apresenta-se o procedimento adotado desde a recolha até à análise ICP-MS das amostras de cabelo digeridas e as respetivas soluções de lavagem.

3.6 Procedimento

- a. Recolheram-se as amostras de cabelo e foram guardadas em sacos zip à temperatura ambiente, devidamente identificados.
- b. Lavaram-se, secaram-se e identificaram-se os copos de vidro, de acordo com a codificação atribuída a cada uma das amostras.
- c. Com recurso a uma pinça metálica, devidamente limpa com álcool etílico e papel entre cada utilização, colocaram-se cada uma das amostras no copo de vidro correspondente.

- d. Pesou-se cada uma das amostras de cabelo com recurso a uma balança analítica (Sartorius BP 221S).
- e. Lavaram-se as amostras com água desmineralizada Mili-Q, sendo a quantidade de água desmineralizada adicionada de acordo com a massa da amostra de cabelo disponível (no Anexo VII estão disponíveis as massas de cada uma das amostras e das soluções de lavagem).
- f. Colocaram-se as amostras no equipamento ultrassons durante 15 minutos e de seguida, retiraram-se as amostras da solução de lavagem e depois foram colocadas em vidros de relógios devidamente limpos e secos. Guardaram-se as soluções de lavagem.
- g. Colocaram-se as amostras na estufa de secagem, a 40° C durante 24 horas.
- h. Procedeu-se à digestão das amostras de cabelo lavado e seco, utilizando uma mistura de HNO₃ e H₂O₂ e agitou-se durante 15 minutos. As soluções foram deixadas durante 24 horas a reagir à temperatura ambiente.
- i. De seguida, iniciou-se a digestão das amostras em recipiente semifechado (vidros de relógio cobertos) com recurso a uma placa de aquecimento, a uma temperatura de 90 °C.

Neste trabalho foi realizada uma digestão ácida com aquecimento com recurso a uma placa de digestão (Digprep – SCP Science), a qual permite digerir 47 amostras em recipiente semifechado em simultâneo, uma vez que a utilização do micro-ondas só seria possível digerir 10 amostras por cada *batch*.
- j. Após conclusão do processo de digestão e à retoma de cada uma das amostras de cabelo, procedeu-se à análise ICP-MS, das amostras digeridas e das soluções de lavagem.

3.7 Controlo de Qualidade

Os MRC são preparados por entidades reconhecidas, sendo atribuídos valores certificados e as respetivas incertezas aos parâmetros.

O uso de MRC permite determinar a exatidão de uma metodologia, e a sua utilização numa análise permite comparar os resultados obtidos com os valores conhecidos, sendo que, deve também ser verificado o erro e a exatidão da análise efetuada. Quando se efetua esta comparação e se verifica que o valor obtido para o MRC está fora do intervalo de incerteza fornecido no certificado, deve procurar-se a(s) causa(s) para tal ter ocorrido e sempre que possível, eliminá-las.

Neste trabalho utilizou-se como material de referência o ERM-DB001 Human Hair (<http://www.erm-crm.org>). Foram também analisadas amostras em duplicado (neste caso só as amostras com maior quantidade é foram digeridas em duplicado).

A tabela Tabela **11** mostra os resultados dos valores de recuperação do MCR, tendo sido analisadas três réplicas e o desvio padrão relativo (dv), e não excedeu 5% para todos os elementos certificados e que os valores de recuperação são muito aceitáveis. A

Tabela **12** mostra os resultados de alguns dos elementos analisados e que o certificado mostra apenas o valor informativo.

Tabela 11 - Resultados da análise do material de referência certificado [mg/kg], para os elementos com valores certificados.

Elemento	Valor certificado ± incerteza (mg/kg)	Resultados obtidos ± dv (mg/kg)	Recuperação (%)
As	0,044 ± 0,006	0,045 ± 0,004	102,3
Cd	0,125 ± 0,007	0,120 ± 0,005	96
Cu	33 ± 4	32,3 ± 0,9	97,9
Pb	2,14 ± 0,20	2,12 ± 0,08	99,1
Se	3,24 ± 0,24	2,97 ± 0,77	91,7
Zn	209 ± 12	201,600 ± 3,0	96,5

Tabela 12 - Resultados da análise do material de referência certificado [mg/kg], para os elementos com valores informativos.

Elemento	Valor informativo¹ (mg/kg)	Resultados obtidos ± dv (mg/kg)	Recuperação (%)
Ag	0,39 [mg/kg]	0,356 ± 0,009	91,3 %
Al	18,1 [mg/kg]	23,80 ± 0,69	131,5 %
B	3,1 [mg/kg]	(*)	-
Ba	0,9 [mg/kg]	1,097 ± 0,56	121,9 %

Elemento	Valor informativo¹ (mg/kg)	Resultados obtidos ± dv (mg/kg)	Recuperação (%)
Be	2,9 [µg/kg]	(*)	-
Bi	9 [µg/kg]	(*)	-
Ca	1,028 [g/kg]	1,146 ± 0,0143	111,8 %
Co	0,106 [mg/kg]	0,11 ± 0,011	103,8 %
Cr	0,5 [mg/kg]	0,509 ± 0,155	101,8 %
Fe	22,6 [mg/kg]	30,57 ± 13,13	135,3 %
Li	48 [µg/kg]	(*)	-
Mg	63,5 [mg/kg]	68,7 ± 11,1	108,2 %
Mn	0,442 [mg/kg]	0,446 ± 0,15	100,9 %
Mo	0,2 [mg/kg]	0,28 ± 0,09	140 %
Nb	3,6 [µg/kg]	(*)	-
Ni	0,78 [mg/kg]	0,938 ± 0,097	120,3 %
P	142,2 [mg/kg]	(*)	-
Sb	0,128 [mg/kg]	0,12 ± 0,035	93,8 %
Sn	0,44 [mg/kg]	(*)	-
Th	3,4 [µg/kg]	(*)	-
Ti	0,109 [g/kg]	(*)	-
Tl	0,48 [µg/kg]	(*)	-
U	10,1 [µg/kg]	(*)	-
V	49,3 [µg/kg]	(*)	-

¹ Valor médio não ponderado de pelo menos 6 medições independentes.

(*) Abaixo do limite de detecção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste ponto apresentam-se os resultados obtidos da análise ICP-MS realizadas às amostras de cabelo dos grupos de exposição (E1, E2, E3) e dos grupos de controlo (C1, C2, C3) e das respetivas soluções de lavagem, em função das atividades ocupacionais. Embora não seja objetivo deste estudo analisar as concentrações de metais em função do género, apresentam-se os resultados de acordo com este fator, uma vez que, no momento de recolha das amostras foi possível recolher esta informação. Além disso, estes resultados podem dar o seu contributo para trabalhos futuros. Este resultado apenas será apresentado para a entidade 1, uma vez que, nas outras entidades participantes não existiam participantes do género feminino. É também apresentada a discussão dos resultados obtidos para cada uma das entidades participantes. Importa referir que face à extensão deste estudo de investigação, não foi possível realizar um tratamento estatístico inferencial.

4.1 Entidade 1

Nesta secção são apresentados os resultados das análises ICP-MS das amostras de cabelo e das respetivas soluções de lavagem, dos participantes da entidade 1, de acordo com a atividade ocupacional e o género.

4.1.1 Amostras de cabelo

Nas secções seguintes apresentam-se os valores mínimos e máximos, a média, a mediana e o dv para os grupos de exposição E1 e de controlo C1.

Apresentam-se também as relações entre os valores médios dos 2 grupos de exposição E1 (A/B) e de cada um destes grupos com a média do grupo de controlo C1 (C).

4.1.1.1 Atividade ocupacional

Nas tabelas seguintes apresentam-se os resultados para as amostras de cabelo do grupo E1 e do grupo C1.

Tabela 13 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E1, de acordo com a atividade ocupacional.

Grupo de Exposição E1											
Biomarcador	Tarefas de soldadura (n = 16) (A)					Outras tarefas com exposição a fumos de soldadura (n = 16) (B)					Razão valores médios (A)/(B)
	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Li*	0,63	12,5	3,01	2,5	2,82	0,63	12,5	3,4	2,5	2,74	0,9
Be*	0,13	2,5	0,6	0,5	0,56	0,13	2,5	0,68	0,5	0,55	0,9
B	0,13	12,5	2,95	2,5	3,11	0,13	12,5	3,19	2,5	2,93	0,9
Na	31,25	625	150,39	125	141,15	31,25	625	169,92	125	137,09	0,9
Mg*	31,25	625	159,82	125	144,15	31,25	625	169,92	125	137,09	0,9
Al	4,36	16,75	9,03	8,1	3,23	2,5	65,91	11,21	6,29	14,67	0,8
P*	50	250	121,84	115,14	45,34	50	250	92,49	96,08	48,93	1,3
K	31,25	625	150,39	125	141,15	31,25	625	169,92	125	137,09	0,9
Ca	250	1093,53	476,75	361,9	262,63	125	625	324,76	297,47	118,06	1,5
V*	0,03	0,25	0,09	0,08	0,05	0,03	0,25	0,08	0,05	0,06	1,1
Cr	0,05	0,78	0,28	0,22	0,2	0,11	1,64	0,36	0,31	0,35	0,8
Mn	0,13	19,33	2,01	0,5	4,6	0,16	1,25	0,47	0,38	0,3	4,3
Fe	7,23	271,64	37,84	15,22	63,71	7,37	93,5	24,84	18,6	21,29	1,5
Co*	0,03	1,29	0,23	0,13	0,31	0,03	0,63	0,18	0,13	0,13	1,3
Ni	0,13	3,74	1,64	1,46	1,04	0,25	5,16	1,18	0,59	1,32	1,4
Cu	7,45	120,14	27,01	18,14	26,55	10,29	70,28	18,91	13,03	15,8	1,4
Zn	130,81	196,74	172,52	178,35	18,4	141,58	202,56	167,89	167,23	13,21	1
As	0,06	1,25	0,31	0,25	0,28	0,06	1,25	0,34	0,25	0,27	0,9
Se*	0,25	2,5	0,71	0,52	0,52	0,25	2,5	0,73	0,5	0,54	1
Rb	0,06	1,25	0,3	0,25	0,28	0,06	1,25	0,34	0,25	0,27	0,9
Sr	0,25	3,12	1,05	0,73	0,93	0,25	2,5	0,75	0,5	0,52	1,4
Mo	0,06	0,63	0,19	0,13	0,16	0,03	1,45	0,28	0,13	0,33	0,7
Ag	0,03	6,94	0,5	0,05	1,66	0,01	0,25	0,08	0,05	0,07	6,3
Cd*	0,03	0,27	0,14	0,1	0,08	0,01	0,46	0,1	0,05	0,11	1,4
Sn	0,67	3,32	1,56	1,24	0,83	0,48	2,81	1,33	1,21	0,52	1,2
Sb	0,03	0,25	0,09	0,07	0,06	0,03	0,25	0,1	0,1	0,07	0,9
Ba	0,13	149,34	10,37	0,69	35,91	0,13	1,57	0,5	0,26	0,41	20,7
W	0,04	0,75	0,17	0,15	0,17	0,04	0,75	0,21	0,15	0,17	0,8
Tl	0,03	0,63	0,15	0,13	0,14	0,03	0,63	0,17	0,13	0,14	0,9
Pb	0,2	9,62	1,79	0,69	2,56	0,1	1,4	0,7	0,6	0,44	2,6
Bi*	0,13	2,5	0,6	0,5	0,56	0,13	2,5	0,68	0,5	0,55	0,9
Th*	0,63	12,5	3,19	2,5	2,8	0,63	12,5	3,4	2,5	2,74	0,9
U*	0,01	0,25	0,07	0,05	0,06	0,01	0,25	0,07	0,05	0,05	1

* o valor mínimo é igual ao limite de detecção do equipamento.

Tabela 14 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de controlo C1.

Grupo de Controlo C1							
Atividades ocupacionais sem exposição a fumos de soldadura (n = 9) (C)						Razão valores médios (A)/(C)	Razão valores médios (B)/(C)
Biomarcador	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	dv		
Li*	0,56	5	1,76	1,25	1,33	1,7	1,9
Be*	0,12	1	0,35	0,25	0,26	1,7	1,9
B	0,13	5	1,32	0,56	1,59	2,2	2,4
Na	28,13	250	87,85	62,5	66,41	1,7	1,9
Mg*	31,25	250	95,05	62,5	61,98	1,7	1,8
Al	1,25	11,2	3,83	2,63	2,86	2,4	2,9
P*	50	100	73,91	76,04	16,59	1,6	1,3
K	28,13	250	87,85	62,5	66,41	1,7	1,9
Ca	250	1296,98	717,43	821,24	335,97	0,7	0,5
V*	0,03	0,1	0,05	0,05	0,02	1,8	1,6
Cr	0,07	1,05	0,31	0,11	0,36	0,9	1,2
Mn	0,13	1,44	0,54	0,25	0,45	3,7	0,9
Fe	5,42	55,91	14,78	7,02	15,74	2,6	1,7
Co*	0,03	0,25	0,09	0,06	0,07	2,6	2,0
Ni	0,09	0,5	0,19	0,13	0,12	8,6	6,2
Cu	9,83	165,92	31,83	14,64	47,77	0,8	0,6
Zn	117,97	195,5	166,55	168,99	19,73	1	1
As	0,06	0,5	0,18	0,13	0,13	1,7	1,9
Se*	0,25	1	0,51	0,5	0,24	1,4	1,4
Rb	0,06	0,5	0,18	0,13	0,13	1,7	1,9
Sr	0,5	6,16	3,1	3,54	2,07	0,3	0,2
Mo	0,03	0,25	0,1	0,06	0,07	1,9	2,8
Ag	0,03	0,28	0,09	0,05	0,07	5,6	0,9
Cd*	0,01	0,1	0,04	0,03	0,03	3,5	2,5
Sn	0,43	2,01	0,81	0,68	0,45	1,9	1,6
Sb	0,02	0,32	0,12	0,05	0,11	0,8	0,8
Ba	0,25	1,57	0,92	0,95	0,44	11,3	0,5
W	0,03	0,3	0,12	0,06	0,09	1,4	1,8
Tl	0,03	0,25	0,09	0,06	0,07	1,7	1,9
Pb	0,1	3,47	0,91	0,48	1,02	2	0,8
Bi*	0,12	1	0,35	0,25	0,26	1,7	1,9
Th*	0,56	5	1,76	1,25	1,33	1,8	1,9
U*	0,03	0,22	0,1	0,09	0,06	0,7	0,7

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

A tabela 13 mostra a razão dos valores médios dos 2 grupos de exposição com os valores médios do grupo de controlo.

Da análise da tabela verifica-se que os valores médios dos elementos P, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sr, Ag, Ba e Pb são mais elevados (razões (A):(B) superiores a 1) para o grupo A (com execução de tarefas de soldadura), do que o grupo B (com exposição a fumos da soldadura), evidenciando-se os elementos Mn, Ag, Ba e Pb com razões muito acima de 1.

Em relação aos restantes elementos, verifica-se que o grupo B apresentou valores similares às do grupo A. Este resultado está de acordo com os estudos realizados neste âmbito (Golbabaei & Khadem, 2015; Santos & Almeida, 2017), nos quais se concluiu que trabalhadores que não executavam soldadura, mas que sofriam exposição a fumos de soldadura, encontravam-se de igual modo, expostos a riscos de exposição a agentes químicos prejudiciais para a sua saúde.

Importa referenciar a razão para o Ba, para o qual se obteve uma razão de 20,7. Este resultado está relacionado com o valor máximo no grupo A, que é bastante mais elevado comparativamente com o valor mínimo. O participante que apresentou este resultado máximo pode sofrer exposição a este elemento fora da sua atividade ocupacional, resultante de fatores como exposição ambiental, localização geográfico e entre outros fatores.

Verifica-se que quase todos os elementos, com exceção do Ca, Cr, Cu, Zn, Sr, Sb e U, apontam estar acima dos valores das amostras de controlo (C1).

Considerando as concentrações máximas dos elementos constituintes das matérias-primas utilizadas na entidade 1 (Tabela 2) verifica-se que o Cu é o principal elemento constituinte dos elétrodos utilizados nas soldaduras por resistência elétrica e o Fe e o Mn são os elementos constituintes dos aços.

Para o Fe, Mn e Cu verificou-se que o grupo A apontou ter valores muito superiores aos do grupo B.

Comparando os valores médios destes 3 elementos dos grupos A e B com os valores médios do grupo C1, verificara-se uma tendência de valores superiores de Fe e Mn para os grupos A e B, ao passo que o Cu apresentou tendência de valores médios superiores no grupo C1.

Relativamente ao Cu, importa referir que apenas alguns participantes executavam soldadura por resistência elétrica e analisando os valores destes elementos nestes participantes, os seus valores para algumas amostras apresentavam ter concentrações inferiores aos valores das amostras dos participantes que executavam outro tipo de soldadura.

Estes resultados podem estar relacionados com a cor do cabelo, de acordo com o estudo realizado por Bertazzo et al. (1994), no qual se concluiu que as concentrações de Cu podem ser afetadas pela cor do cabelo em ambos os géneros, feminino e masculino.

Neste estudo, foi possível ainda verificar que no género masculino, os fios de cabelo branco apresentavam valores inferiores de Cu, do que nos fios de cabelo preto. Por sua vez, no género feminino os fios de cabelo branco, os níveis de Cu foram significativamente inferiores aos fios de cabelo loiro escuro, ruivo, castanho claro e escuro (Bertazzo et al., 1994; Nouioui et al., 2018).

No decorrer da recolha das amostras de cabelo para a realização do estudo desta dissertação, a cor do cabelo de cada amostra não foi registada, não sendo por isso, possível verificar a relação entre os níveis de Cu e a cor do cabelo.

Dos restantes elementos que podem estar presentes nas matérias-primas e que foram determinados na análise ICP-MS, verificou-se que de forma geral os valores obtidos são de igual modo, superiores no grupo E1 comparativamente ao grupo C1, com exceção do Cr, para o qual se verificou ter valores inferiores no grupo A comparativamente com o grupo B e o grupo C1.

Para o Zn esperavam-se valores superiores no grupo E1, uma vez que, muitas das matérias-primas utilizadas continham revestimento de galvanização¹⁷. Contudo, estas matérias-primas eram maioritariamente utilizadas na estampagem, não havendo por isso, fusão localizada por soldadura nestes materiais. Quando analisados os resultados, verificou-se que a relação entre o grupo E1 e o grupo C1 é de 1. Este resultado indica que não ocorre, por isso, absorção deste elemento e que não existe concentrações elevadas no ambiente de trabalho.

No que diz respeito à composição natural do cabelo, este tecido é composto para além de outros elementos e minerais, também por pequenas quantidades de biomarcadores, como o Ca, o Fe, o K, o Na e o Sr (Shin et al., 2020).

Analisando os valores destes elementos, verifica-se que tendência de valores médios superiores no grupo E1, comparativamente com o grupo C1, com exceção do Ca e do Sr.

Estes resultados sugerem que a presença destes biomarcadores na composição do cabelo não interfere nos resultados da análise dos biomarcadores presentes no cabelo resultantes da exposição ocupacional, uma vez que, se verificou que o Fe (elemento predominante nas matérias-primas) estava presente em valores médios superiores no grupo E1, tal como esperado e porque este elemento correspondia ao elemento predominante das matérias-primas utilizadas.

Nouioui et al. (2018) realizaram um estudo, no qual foram analisadas amostras de cabelo de trabalhadores de uma indústria de produção de baterias, tendo sido os resultados obtidos, comparados com os resultados obtidos de outros estudos realizados em diferentes ambientes ocupacionais, incluindo atividades ocupacionais de soldadura.

¹⁷ Processo de aplicação de uma camada protetora de zinco ou ligas de zinco, evitando a corrosão da superfície do aço.

Neste estudo são apresentados valores médios para o Mn no cabelo de soldadores, variando entre 0,1 e 51,5 mg/kg, com uma média de $3,9 \pm 7,2$. Comparando estes valores com os resultados obtidos para o Mn na entidade 1, verifica-se que se encontram abaixo dos valores obtidos no estudo indicado por Nouioui et al. (2018).

4.1.1.2 Género

Nas tabelas abaixo apresentam-se as concentrações médias para os grupos de exposição E1 e de controlo C1, de acordo com o género.

Tabela 15 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E1, de acordo com o género.

Grupo de Exposição E1											
Biomarcador	Masculino (n = 24) (A)					Feminino (n = 8) (B)					Razão valores médios (A)/(B)
	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Li*	0,63	12,5	3,72	2,5	2,96	0,63	5	1,64	1,25	1,29	2,3
Be*	0,13	2,5	0,75	0,5	0,59	0,13	1	0,33	0,25	0,26	2,3
B	0,13	12,5	3,69	2,5	3,1	0,13	5	1,21	0,13	1,78	3
Na	31,25	625	186,2	125	147,81	31,25	250	82,03	62,5	64,3	2,3
Mg*	31,25	625	192,48	125	148,29	31,25	250	82,03	62,5	64,3	2,3
Al	2,5	65,91	10,88	7,82	12,12	4,36	12,17	7,84	7,69	2,91	1,4
P*	50	250	103,05	100	55,88	100	148,5	119,51	117,92	13,74	0,9
K	31,25	625	186,2	125	147,81	31,25	250	82,03	62,5	64,3	2,3
Ca	125	1093,53	385,36	297,47	201,42	250	1003,17	446,97	319,03	253,7	0,9
V*	0,03	0,25	0,09	0,05	0,06	0,03	0,15	0,08	0,08	0,05	1,1
Cr	0,05	1,64	0,37	0,33	0,31	0,06	0,49	0,19	0,14	0,13	1,9
Mn	0,13	19,33	1,47	0,50	3,83	0,13	1,51	0,55	0,47	0,43	2,7
Fe	7,23	271,64	34,79	19,41	52,59	8,65	93,50	20,99	10,35	27,47	1,7
Co*	0,03	1,29	0,24	0,13	0,26	0,03	0,25	0,09	0,06	0,07	2,7
Ni	0,25	5,16	1,47	1,14	1,29	0,13	3,19	1,23	0,94	0,89	1,2
Cu	8,76	70,28	16,62	13,03	12,52	7,45	120,14	41,96	36,36	31,98	0,4
Zn	136,41	196,74	171,01	170,18	14,57	130,81	202,56	167,79	170,73	20,07	1
As	0,06	1,25	0,37	0,25	0,3	0,06	0,5	0,19	0,13	0,13	1,9
Se*	0,25	2,5	0,78	0,5	0,58	0,25	1	0,54	0,57	0,26	1,4
Rb	0,06	1,25	0,37	0,25	0,3	0,06	0,5	0,17	0,13	0,13	2,2
Sr	0,25	3,12	0,98	0,5	0,86	0,25	1	0,67	0,73	0,27	1,5
Mo	0,03	1,45	0,26	0,13	0,29	0,06	0,53	0,15	0,06	0,16	1,7
Ag	0,01	0,25	0,08	0,05	0,06	0,03	6,94	0,93	0,07	2,27	0,1

Grupo de Exposição E1											
Biomarcador	Masculino (n = 24) (A)					Feminino (n = 8) (B)					Razão valores médios (A)/(B)
	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Cd*	0,01	0,46	0,12	0,05	0,1	0,03	0,27	0,12	0,1	0,08	1
Sn	0,48	3,28	1,45	1,3	0,65	0,67	3,32	1,42	1,04	0,84	1
Sb	0,03	0,25	0,10	0,1	0,07	0,03	0,23	0,08	0,06	0,06	1,3
Ba	0,25	149,34	7,03	0,5	29,7	0,13	1,57	0,65	0,69	0,43	10,8
W	0,04	0,75	0,23	0,15	0,18	0,04	0,3	0,08	0,06	0,08	2,9
Tl	0,03	0,63	0,19	0,13	0,15	0,03	0,25	0,08	0,06	0,06	2,4
Pb	0,1	9,62	1,32	0,57	2,19	0,34	2	1,03	0,95	0,49	1,3
Bi*	0,13	2,5	0,75	0,5	0,59	0,13	1	0,33	0,25	0,26	2,3
Th*	0,63	12,5	3,72	2,5	2,96	0,63	5	2	1,25	1,51	1,9
U*	0,01	0,25	0,08	0,05	0,06	0,01	0,14	0,06	0,06	0,04	1,3

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

Tabela 16 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de controlo C1, de acordo com o género.

Grupo de Controlo C1									
Biomarcador	Masculino (n = 8) (C)					Feminino (n = 1) (D)	Razão valores médios (C)/(D)	Razão valores médios (A)/(C)	Razão valores médios (B)/(D)
	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	Min. - Máx.			
Li*	0,56	5	1,87	1,25	1,37	0,88	2,1	2	1,9
Be*	0,12	1	0,37	0,25	0,27	0,18	2,1	2	1,8
B	0,13	5	1,45	0,59	1,64	0,32	4,5	2,5	3,8
Na	28,13	250	93,36	62,5	68,47	43,75	2,1	2	1,9
Mg*	31,25	250	97,55	62,5	65,31	75,02	1,3	2	1,1
Al	1,25	11,2	4,02	2,79	2,98	2,33	1,7	2,7	3,4
P*	50	100	73,64	77,66	17,57	76,04	1	1,4	1,6
K	28,13	250	93,36	62,5	68,47	43,75	2,1	2	1,9
Ca	250	1296,9	704,46	739	354,22	821,24	0,9	0,5	0,5
V*	0,03	0,1	0,05	0,05	0,02	0,05	1	1,8	1,6
Cr	0,08	1,05	0,34	0,16	0,37	0,07	4,9	1,1	2,7
Mn	0,13	1,44	0,58	0,38	0,46	0,17	3,4	2,5	3,2
Fe	5,52	55,91	15,94	8,09	16,32	5,42	2,9	2,2	3,9
Co*	0,03	0,25	0,09	0,06	0,07	0,04	2,3	2,7	2,3
Ni	0,09	0,5	0,2	0,13	0,13	0,09	2,2	7,4	13,7
Cu	9,83	165,92	33,88	13,56	50,3	15,41	2,2	0,5	2,7
Zn	117,97	195,5	166,99	171,08	20,89	163,06	1	1	1
As	0,06	0,5	0,19	0,13	0,14	0,09	2,1	1,9	2,1

Grupo de Controlo C1									
Biomarcador	Masculino (n = 8) (C)					Feminino (n = 1) (D)	Razão valores médios (C)/(D)	Razão valores médios (A)/(C)	Razão valores médios (B)/(D)
	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	Mín. - Máx.			
Se*	0,25	1	0,53	0,5	0,24	0,36	1,5	1,5	1,5
Rb	0,06	0,5	0,19	0,13	0,14	0,09	2,1	1,9	1,9
Sr	0,5	5,55	2,72	2,4	1,87	6,16	0,4	0,4	0,1
Mo	0,03	0,25	0,09	0,06	0,07	0,14	0,6	2,9	1,1
Ag	0,03	0,28	0,08	0,05	0,08	0,11	0,7	1	8,5
Cd*	0,01	0,1	0,04	0,03	0,03	0,02	2	3	6
Sn	0,43	2,01	0,85	0,71	0,47	0,56	1,5	1,7	2,5
Sb	0,02	0,32	0,13	0,09	0,11	0,03	4,3	0,8	2,7
Ba	0,25	1,57	0,9	0,77	0,46	1,07	0,8	7,8	0,6
W	0,03	0,3	0,13	0,1	0,09	0,04	3,3	1,8	2
Tl	0,03	0,25	0,09	0,06	0,07	0,04	2,3	2,1	2
Pb	0,10	3,47	1,01	0,71	1,04	0,16	6,3	1,3	6,4
Bi*	0,12	1	0,37	0,25	0,27	0,18	2,1	2	1,8
Th*	0,56	5	1,87	1,25	1,37	0,88	2,1	2	2,3
U*	0,05	0,22	0,11	0,09	0,05	0,03	3,7	0,7	2

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

Analisando as Tabela **15** e Tabela **16** foi possível verificar que de forma geral, o género masculino apresentou valores superiores aos do género feminino, sendo em alguns casos a razão muito superior a 1, quer no grupo E1 e C1 e ainda entre estes dois grupos.

Importa referir que a amostra do género feminino do grupo C1 não foi representativa, uma vez que foi composta apenas por um participante.

Nos estudos realizados com o objetivo de verificar a relação do género com as concentrações de biomarcadores no cabelo humano, não se obtiveram resultados conclusivos que comprovassem esta relação, uma vez que, os resultados variaram no género e as amostras não tinham dimensão representativa (Pozebon et al., 2017).

Para o Pb por sua vez, está bem definido na comunidade científica, que este elemento apresenta valores superiores no género masculino (Liang et al., 2017).

Neste estudo verificou-se que a concentração média do Pb foi superior para o género masculino, quer no grupo E1 (Pb = 1,32 mg/kg para o género masculino; Pb = 1,03 mg/kg para o género feminino), quer no grupo C1 (Pb = 1,01 mg/kg para o género masculino; Pb = 0,16 mg/kg para o género feminino).

Em estudos realizados verificou-se que o Zn, Ni e o Sr são elementos específicos de género, tendo sido encontradas concentrações superiores em adolescentes do género feminino (Pozebon et al., 2017). Neste estudo não se verificou estes resultados, com exceção do Sr no grupo C1, para o qual se obteve concentração superior no género feminino.

4.1.2 Soluções de lavagem

As concentrações dos EPT's nas soluções de lavagem dos grupos E1 e C1, de acordo com a atividade profissional e o género, são apresentadas nas secções seguintes, sendo feita a interpretação e discussão dos resultados obtidos.

4.1.2.1 Atividade ocupacional

Nas tabelas seguintes apresentam-se os resultados de acordo com a atividade ocupacional, das soluções de lavagem das amostras de cabelo do grupo E1 e do grupo C1:

Tabela 17 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de exposição E1, de acordo com a atividade ocupacional.

Grupo de Exposição E1											
Biomarcador	Tarefas de soldadura (n = 16) (A)					Outras tarefas com exposição a fumos de soldadura (n = 16) (B)					Razão valores médios (A)/(B)
	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Li*	<2,5					<2,5					1
Be*	<0,5					<0,5					1
B	0	7,32	2,95	2,5	1,96	2,50	10,97	3,93	2,5	2,72	0,8
Na	0,13	6,8	0,94	0,13	1,77	0,13	3,01	0,48	0,25	0,7	2
Mg*	<0,13					0,13					1
Al	2,5	53,71	14,03	8,8	12,21	2,50	34,39	13,39	13,14	7,42	1
P*	50					50					1
K	0,13	4,33	0,6	0,13	1,08	0,13	1,55	0,26	0,13	0,35	2,3
Ca	0,13	0,86	0,45	0,44	0,24	0,13	0,71	0,42	0,42	0,16	1,1
V*	0,05					0,05					1
Cr	0,05	0,91	0,32	0,34	0,22	0,05	1,67	0,4	0,33	0,37	0,8
Mn	0,25	6,92	1,52	0,73	1,85	0,25	2,32	0,77	0,58	0,64	2
Fe	1,25	348,27	43,88	21,95	82,49	1,25	78,85	23,39	10,81	24,17	1,9
Co*	0,13					0,13					1
Ni	0,25	3,87	0,85	0,25	1,17	0,25	1,45	0,4	0,25	0,25	2,1
Cu	0,64	14,81	4,33	3,09	3,78	0,25	46,99	8,27	3,54	0,25	0,5

Grupo de Exposição E1											
Biomarcador	Tarefas de soldadura (n = 16) (A)					Outras tarefas com exposição a fumos de soldadura (n = 16) (B)					Razão valores médios (A)/(B)
	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Zn	2,5	167,9	41,16	24,69	45,72	12,29	209,78	47,43	28,5	12,29	0,9
As	0,25	1,09	0,3	0,25	0,2	0,25					1,2
Se*	0,5					0,5					1
Rb	0,25	5,23	0,77	0,25	1,26	0,25	1,77	0,36	0,25	0,25	2,1
Sr	0,5	3,25	0,77	0,5	0,74	0,5	1,72	0,78	0,5	0,5	1
Mo	0,13	0,87	0,23	0,13	0,22	0,13	0,38	0,15	0,13	0,13	1,5
Ag	0,05	1,79	0,16	0,05	0,42	0,05	0,29	0,06	0,05	0,05	2,7
Cd*	0,05					0,05					1
Sn	0,05	31,78	2,12	0,12	7,66	0,05	0,38	0,11	0,05	0,09	19,3
Sb	0,05	1,28	0,2	0,05	0,32	0,05	0,17	0,06	0,05	0,03	3,3
Ba	0,25	18,90	2,47	1,07	4,4	0,25	6,22	1,67	1,14	1,47	1,5
W	0,15					0,15	0,53	0,17	0,15	0,09	0,9
Tl	0,13					0,13					1
Pb	0,1	2,41	0,63	0,43	0,65	0,1	2,86	0,74	0,56	0,7	0,9
Bi*	0,5					0,5					1
Th*	2,5					2,5					1
U*	0,05					0,05					1

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

NOTA: Na, Mg, K e Ca em mg/L

Tabela 18 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de controlo C1, de acordo com a atividade ocupacional.

Grupo de Controlo C1							
Atividades ocupacionais sem exposição a fumos de soldadura (n = 9) - (C)						Razão valores médios (A)/(C)	Razão valores médios (B)/(C)
Biomarcador	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	dv		
Li*	2,5					1	1
Be*	0,5					1	1
B	2,50	7,13	3,08	2,50	1,53	1	1,3
Na	0,13	0,45	0,27	0,27	0,12	3,5	1,8
Mg*	0,13					1	1
Al	2,50	11,69	5,34	4,04	3,29	2,6	2,5
P*	50					1	1
K	0,13	0,20	0,14	0,13	0,02	4,3	1,9
Ca	0,34	0,95	0,63	0,64	0,20	0,7	0,7
V*	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	1	1

Grupo de Controlo C1							
Atividades ocupacionais sem exposição a fumos de soldadura (n = 9) - (C)						Razão valores médios (A)/(C)	Razão valores médios (B)/(C)
Biomarcador	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	dv		
Cr	0,05	1,41	0,32	0,11	0,44	1	1,3
Mn	0,25	0,96	0,42	0,25	0,29	3,6	1,8
Fe	1,25	16,69	5,28	2,58	5,41	8,3	4,4
Co*	0,13					1	1
Ni	0,25	1,00	0,34	0,25	0,25	2,5	1,2
Cu	0,67	6,45	2,80	2,04	2,11	1,5	3
Zn	2,50	105,94	20,38	9,35	32,71	2	2,3
As	0,25					1,2	1
Se*	0,5					1	1
Rb	0,25					3,1	1,4
Sr	0,50	3,56	2,11	2,03	1,07	0,4	0,4
Mo	0,13					1,8	1,2
Ag	0,05					3,2	1,2
Cd*	0,05					1	1
Sn	0,05	0,84	0,15	0,05	0,26	14,1	0,7
Sb	0,05	5,36	0,85	0,05	1,72	0,2	0,1
Ba	0,42	3,54	1,29	0,78	1,09	1,9	1,3
W	0,15					1	1,1
Tl	0,13					1	1
Pb	0,10	0,48	0,23	0,10	0,16	2,7	3,2
Bi*	0,5					1	1
Th*	2,5					1	1
U*	0,05					1	1

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

NOTA: Na, Mg, K e Ca em mg/L

Nos estudos realizados, as soluções de lavagem não foram alvo de análise. Neste estudo, as soluções de lavagem foram analisadas, de acordo com a recomendação de Pozebon et al. (2017) e como forma de validação da eficácia do processo de lavagem das amostras.

À semelhança dos resultados obtidos nas análises ICP-MS das amostras de cabelo, os biomarcadores apresentaram valores superiores nas soluções de lavagem no grupo E1. Excetuam-se o B, Sr e Sb, para os quais, se obtiveram valores médios superiores no grupo C1. Nas amostras de cabelo obtiveram-se o mesmo resultado para o Sr e o Sb, não se verificando para os restantes elementos.

Analisando os valores médios do grupo E1, foi também possível verificar que o grupo B, apresentaram valores muito similares às do grupo A, tal como nos resultados nas amostras de cabelo.

Importa referir que nas soluções do grupo B, para os elementos Zn, Cu, B, Sr, Pb, Cr e W, obtiveram-se valores médios ligeiramente superiores comparativamente com o grupo A. Estes resultados são similares aos obtidos nas amostras de cabelo, com exceção para o Cu, Sr e o Pb.

Nas soluções de lavagem, verifica-se que os biomarcadores constituintes do cabelo (Ca, Fe, K, Na e Sr) (Shin et al., 2020) apresentaram concentrações elevadas para o Na e o Ca (valores em mg/L). O Fe apresentou também valores superiores comparativamente com outros elementos, de acordo com o esperado e com os resultados obtidos para as amostras de cabelo, o que significa que o Fe presente nos fumos de soldadura contribuiu, por isso, para estes resultados.

Importa referir que se obteve uma razão de Sn de 19,3 entre o grupo A e o B, sendo resultado do valor máximo verificado para o grupo A.

O processo de lavagem foi realizado com água ultra-pura e agitação ultrassónica, com o objetivo de garantir que apenas a contaminação exógena seria removida dos fios de cabelo.

Analisando as razões das concentrações médias do Fe e Mn dos grupos E1 e C1 das amostras de cabelo e das soluções de lavagem, verificou-se que nas soluções de lavagem, as razões são muito superiores. Considerando que nas amostras de cabelo, as razões se mantiveram elevadas, comparativamente com os outros elementos.

Por outro lado, verificou-se que as razões entre o grupo E1 e C1 para o Cu nas soluções de lavagem, são elevadas, contrariando os resultados obtidos nas amostras de cabelo. Este resultado pode estar relacionado com o processo de lavagem não ser o mais adequado para este elemento em específico, ou ainda, dever-se ao facto do Cu existir em concentrações elevadas na atmosfera dos locais de trabalho. Consequentemente, este elemento apresenta concentrações elevadas na superfície dos fios de cabelo. Relativamente ao Zn, verifica-se que os resultados obtidos se encontram dentro dos valores normais para o cabelo humano.

4.1.2.2 Género

Na tabela seguinte apresentam-se os resultados de acordo com o género para as soluções de lavagem das amostras de cabelo do grupo de Exposição E1 e do grupo de Controlo C1.

Tabela 19 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de exposição E1, de acordo com o género.

Grupo de Exposição E1										
Biomarcador	Masculino (n = 24)					Feminino (n = 8)				
	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv
Li*	2,5				0,0	2,5				0,0
Be*	0,5				0,0	0,5				0,0
B	0	10,97	3,56	2,5	2,64	2,5	7,13	3,08	2,50	1,53
Na	0,13	6,8	0,84	0,27	1,54	0,13	1,3	0,31	0,13	0,39
Mg*	0,13				0,0	0,13				0,0
Al	2,5	53,71	15,62	14,41	10,83	2,5	15,83	7,96	7,48	3,53
P*	50				0,0	50				0,0
K	0,13	4,33	0,51	0,13	0,93	0,13	0,71	0,2	0,13	0,19
Ca	0,13	0,86	0,45	0,45	0,19	0,13	0,8	0,38	0,34	0,24
V*	0,05				0,0	0,05				0,0
Cr	0,05	0,91	0,38	0,36	0,2	0,05	1,67	0,33	0,1	0,52
Mn	0,25	6,92	1,25	0,68	1,6	0,25	2,32	0,83	0,64	0,63
Fe	1,25	348,27	40,12	21,7	68,79	1,25	72,38	14,17	6,04	22,27
Co*	0,13				0,0	0,13				0,0
Ni	0,25	3,87	0,73	0,25	1	0,25	0,72	0,31	0,25	0,15
Cu	0,25	46,99	5,72	3,23	9,20	1,28	36,78	8,04	3,4	11,24
Zn	2,5	167,9	46,64	35,39	39,06	2,5	209,78	37,27	14,95	65,6
As	0,25	1,09	0,29	0,25	0,17	0,25				0,0
Se*	0,5				0,0	0,5				0,0
Rb	0,25	5,23	0,65	0,25	1,08	0,25	0,82	0,32	0,25	0,19
Sr	0,50	3,25	0,87	0,5	0,68	0,5				0,0
Mo	0,13	0,7	0,18	0,13	0,13	0,13	0,87	0,22	0,13	0,25
Ag	0,05	1,79	0,13	0,05	0,35	0,05				0,0
Cd*	0,05				0,0	0,05				0,0
Sn	0,05	31,78	1,45	0,08	6,33	0,05	0,4	0,12	0,05	0,12
Sb	0,05	0,57	0,1	0,05	0,13	0,05	1,28	0,2	0,05	0,41
Ba	0,25	18,9	2,27	1,28	3,64	0,25	6,22	1,47	0,69	1,85
W	0,15	0,53	0,17	0,15	0,08	0,15				0,0
Tl	0,13				0,0	0,13				0,0
Pb	0,1	2,86	0,76	0,56	0,71	0,1	1,81	0,48	0,31	0,54
Bi*	0,5				0,0	0,5				0,0
Th*	2,5				0,0	2,5				0,0
U*	0,05				0,0	0,05				0,0

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

NOTA: Na, Mg, K e Ca em mg/L

Tabela 20 – Concentrações (µg/L) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de controlo C1, de acordo com o género.

Grupo de Controlo C1										
Biomarcador	Masculino (n = 24)					Feminino (n = 1)				
	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv
Li*	2,5				0,0	2,5				0,0
Be*	0,5				0,0	0,5				0,0
B	2,5	7,13	3,16	2,5	1,62	2,5				0,0
Na	0,13	0,45	0,27	0,33	0,13	0,22				0,0
Mg*	0,13				0,0	0,13				0,0
Al	2,5	11,69	5,75	5,57	3,32	2,5				0,0
P*	50				0,0	50				0,0
K	0,13	0,2	0,14	0,13	0,02	0,13				0,0
Ca	0,34	0,95	0,63	0,61	0,22	0,68				0,0
V*	0,05				0,0	0,05				0,0
Cr	0,05	1,41	0,36	0,13	0,46	0,09				0,0
Mn	0,25	0,88	0,34	0,25	0,22	0,96				0,0
Fe	1,25	16,69	5,85	3,05	5,55	1,25				0,0
Co*	0,13					0,13				0,0
Ni	0,25	1,00	0,36	0,25	0,26	0,25				0,0
Cu	0,67	6,17	2,28	1,72	1,70	6,45				0,0
Zn	2,5	105,94	22,94	13,5	34,21	2,5				0,0
As*	0,25					0,25				0,0
Se*	0,5					0,5				0,0
Rb*	0,25					0,25				0,0
Sr	0,5	3,2	1,91	1,55	0,98	3,56				0,0
Mo*	0,13					0,13				0,0
Ag*	0,05					0,05				0,0
Cd*	0,05					0,05				0,0
Sn	0,05	0,84	0,16	0,05	0,28	0,08				0,0
Sb	0,05	5,36	0,96	0,05	1,81	0,05				0,0
Ba	0,61	3,54	1,41	0,8	1,11	0,42				0,0
W*	0,15					0,15				0,0
Tl*	0,13					0,13				0,0
Pb	0,1	0,48	0,2	0,1	0,15	0,43				0,0
Bi*	0,5					0,5				0,0
Th*	2,5					2,5				0,0
U*	0,05					0,05				0,0

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

NOTA: Na, Mg, K e Ca em mg/L

Analisando os resultados do grupo E1, verifica-se que os participantes do género masculino obtiveram valores médios superiores, comparativamente com os participantes do género feminino, com exceção do Mo e do Sb. Este resultado apresenta-se muito similar ao resultado obtido nas amostras de cabelo.

Para o grupo C1, de forma geral os valores médios são superiores para o género masculino, com exceção do Cu, Sr, Ca e Pb.

No que se refere à concentração média de Pb, esta foi superior para o género masculino, mas apenas no grupo E1 (Pb = 0,76 µg/L para o género masculino; Pb = 0,48 µg/L para o género feminino).

Contrariamente no grupo C1, a concentração média do Pb foi superior no género feminino (Pb = 0,2 µg/L para o género masculino; Pb = 0,43 µg/L para o género feminino).

Este resultado não pode ser encarado como representativo, uma vez que, apenas existia um participante do género feminino.

4.2 Entidade 2

Nesta secção são apresentados os resultados das análises ICP-MS das amostras de cabelo e das respetivas soluções de lavagem, dos participantes da entidade 2, de acordo com a atividade ocupacional.

4.2.1 Amostras de cabelo

Nas secções seguintes apresentam-se os valores mínimos e máximos, a média, a mediana e o dv para os grupos de exposição E2 e de controlo C2.

Apresentam-se também as relações entre os valores médios dos 2 grupos de exposição E2 (D/E) e de cada um destes grupos com a média do grupo de controlo C2 (F).

4.2.1.1 Atividade ocupacional

Nas tabelas seguintes apresentam-se os resultados para o grupo de exposição E2 e o grupo de Controlo C2.

Tabela 21 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E2, de acordo com a atividade ocupacional.

Grupo de Exposição E2											
Biomarcador	Tarefas de soldadura (n = 15) – (D)					Outras tarefas com exposição a fumos de soldadura (n = 4) – (E)					Razão de valores médios D/E
	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Li*	0,63	12,5	6,45	5	4,41	2,5	5	3,13	2,5	1,08	2,1
Be*	0,13	2,5	1,29	1	0,88	0,5	1	0,63	0,5	0,22	2
B	0,13	12,5	6,47	5	4,42	2,5	5	3,13	2,5	1,08	2,1
Na	31,25	625	322,27	250	220,34	125	250	156,25	125	54,13	2,1
Mg*	31,25	625	322,27	250	220,34	125	250	156,25	125	54,13	2,1
Al	3,53	1194,32	340,74	232,87	341,99	5	610,11	157,69	7,83	261,2	2,2
P*	50	250	142,43	106,42	75,4	50	107,01	76,75	75	26,87	1,9
K	31,25	625	322,27	250	220,34	125	250	156,25	125	54,13	2,1
Ca	125	1049,39	454,97	324,06	241,06	328,65	577,83	438,96	424,68	104,75	1
V*	0,05	0,25	0,14	0,1	0,08	0,05	0,11	0,08	0,08	0,03	1,8
Cr	0,15	9,02	1,5	0,76	2,19	0,26	0,48	0,36	0,36	0,09	4,2
Mn	0,25	6,41	1,54	1,25	1,48	0,25	1,66	0,67	0,38	0,58	2,3
Fe	16,45	297,73	69,51	44,58	67,83	15,3	36,18	21,18	16,62	8,69	3,3
Co*	0,03	0,63	0,32	0,25	0,22	0,13	0,25	0,16	0,13	0,05	2
Ni	0,06	8,04	1,3	0,63	1,93	0,25	0,51	0,38	0,38	0,13	3,4
Cu	10,04	24,84	15,14	13,73	4,27	12,57	15,41	14,31	14,63	1,05	1,1
Zn	138,47	234,59	181,55	182,41	24,6	131,42	189,36	161,13	161,86	20,75	1,1
As	0,06	1,25	0,65	0,5	0,44	0,25	0,5	0,31	0,25	0,11	2,1
Se*	0,25	2,5	1,34	1	0,82	0,5	1	0,63	0,5	0,22	2,1
Rb	0,06	1,25	0,65	0,5	0,44	0,25	0,5	0,31	0,25	0,11	2,1
Sr	0,5	15,56	2,59	1,45	3,5	1	1,79	1,23	1,07	0,33	2,1
Mo	0,06	0,63	0,33	0,25	0,22	0,13	0,25	0,16	0,13	0,05	2,1
Ag	0,01	0,25	0,14	0,13	0,09	0,05	0,1	0,06	0,05	0,02	2,3
Cd*	0,01	0,25	0,13	0,1	0,09	0,05	0,1	0,06	0,05	0,02	2,2
Sn	0,66	5,78	2,64	2,26	1,59	1,02	1,99	1,37	1,24	0,39	1,9
Sb	0,05	1,8	0,34	0,16	0,43	0,05	0,58	0,18	0,05	0,23	1,9
Ba	0,5	53,6	6,15	1,82	12,47	0,25	3,43	1,68	1,52	1,16	3,7
W	0,04	0,75	0,38	0,3	0,27	0,15	0,3	0,19	0,15	0,06	2
Tl	0,03	0,63	0,32	0,25	0,22	0,13	0,25	0,16	0,13	0,05	2
Pb	0,2	8,27	1,45	0,5	2,31	0,1	0,3	0,18	0,15	0,08	8,1
Bi*	0,25	2,5	1,31	1	0,86	0,5	1	0,63	0,5	0,22	2,1
Th*	1,25	12,5	6,51	5	4,33	2,5	5	3,13	2,5	1,08	2,1
U*	0,01	0,25	0,13	0,1	0,09	0,05	0,1	0,06	0,05	0,02	2,2

* o valor mínimo é igual ao limite de detecção do equipamento.

Tabela 22 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de controlo C2, de acordo com a atividade ocupacional.

Grupo de Controlo C2							
Atividades ocupacionais sem exposição a fumos de soldadura (n = 11) – (F)						Razão de valores médios D/F	Razão de valores médios E/F
Biomarcador	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv		
Li*	1,25	12,5	4,2	2,5	3,07	1,5	0,7
Be*	0,25	2,5	0,84	0,5	0,61	1,5	0,8
B	0,13	12,5	4	2,5	3,29	1,6	0,8
Na	62,5	625	210,23	125	153,72	1,5	0,7
Mg*	62,5	625	210,23	125	153,72	1,5	0,7
Al	11,81	343,77	92,3	48,84	109,57	3,7	1,7
P*	50	250	92,75	82,73	55,8	1,5	0,8
K	62,5	625	210,23	125	153,72	1,5	0,7
Ca	125	625	297,32	250	135,92	1,5	1,5
V*	0,05	0,25	0,09	0,06	0,06	1,6	0,9
Cr	0,13	1,05	0,43	0,31	0,31	3,5	0,8
Mn	0,13	1,25	0,61	0,5	0,36	2,5	1,1
Fe	6,25	111,73	25,92	14,11	28,88	2,7	0,8
Co*	0,06	0,63	0,24	0,25	0,16	1,3	0,7
Ni	0,13	1,25	0,42	0,25	0,31	3,1	0,9
Cu	7,9	81,17	23,38	16,36	21,03	0,6	0,6
Zn	79,9	174,42	152,06	158,3	26,72	1,2	1,1
As	0,13	1,26	0,51	0,5	0,38	1,3	0,6
Se*	0,5	2,5	0,89	0,5	0,58	1,5	0,7
Rb	0,13	1,25	0,42	0,25	0,31	1,5	0,7
Sr	0,5	2,5	1,11	1	0,66	2,3	1,1
Mo	0,06	1,21	0,3	0,13	0,32	1,1	0,5
Ag	0,03	8,9	0,93	0,1	2,53	0,2	0,1
Cd*	0,03	0,25	0,08	0,05	0,06	1,6	0,8
Sn	0,7	4,39	2,01	1,66	1,01	1,3	0,7
Sb	0,03	0,27	0,12	0,1	0,08	2,8	1,5
Ba	0,5	2,72	1,09	0,85	0,62	5,6	1,5
W	0,06	1,46	0,38	0,3	0,39	1	0,5
Tl	0,06	0,63	0,21	0,13	0,15	1,5	0,8
Pb	0,1	6,63	1,24	0,24	1,91	1,2	0,1
Bi*	0,25	2,5	0,84	0,5	0,61	1,6	0,8
Th*	1,25	12,5	4,2	2,5	3,07	1,6	0,7
U*	0,03	0,25	0,09	0,1	0,06	1,4	0,7

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

Analisando a tabela e o grupo de Controlo C2.

Tabela 21 verifica-se que a razão entre o grupo D e o grupo C2, é superior a 1 para os elementos analisados, com exceção do Ca, cuja razão é igual a 1.

Resultados similares foram obtidos para a razão entre o grupo D e o grupo C2, excetuando-se os elementos Cu, Ag e W cuja razão foi igual e/ou inferior a 1.

Fazendo a mesma análise entre o grupo E e o grupo C2, verificou-se o resultado contrário, tendo a maioria dos elementos do grupo C2 razões superiores, com exceção do Al, Ca, Sb, Ba e ainda do Zn, Mn, Sr, embora estes últimos com razão de 1.1.

Estes resultados não estão de acordo com o esperado, uma vez que, as razões entre o grupo D e o grupo E, foram para todos os elementos superiores a 1. Deste modo, seria esperado que os valores médios do grupo E fossem superiores aos do grupo C2.

Para o Al, Mn e Zn, ainda que os valores obtidos tenham sido muito próximos (razão de 1.1), estes resultados estão de acordo com o esperado, uma vez que correspondem aos elementos com percentagens mais elevadas nas matérias-primas utilizadas pela entidade 2. O Zn embora na composição química das matérias-primas possa não ter expressão, este elemento estava em percentagens altas pelo facto de estar na forma de galvanização.

Por consequência, esperavam-se valores superiores para o Fe no grupo E, pelo facto de ser um dos elementos predominantes nas matérias-primas utilizadas pela entidade 2.

Estes resultados podem estar relacionados com o facto dos participantes do grupo E não estarem expostos a concentrações a agentes químicos resultantes da soldadura, tão elevadas quanto a entidade 2 assumiu. Por outro lado, os participantes do grupo C2 podiam estar expostos a agentes químicos de natureza metálica resultantes de atividades de rebarbagem e pintura (atividades também desenvolvidas na entidade 2), influenciando assim, os resultados obtidos.

Fatores como a exposição ao ambiental no geral, alimentação, consumo de fármacos, uso de cosméticos e ainda a localização geográfica, podem ter também o seu contributo para que tenham sido obtidos estes resultados (Pozebon et al., 2017).

De modo a obter informação que permita obter uma conclusão mais assertiva, seria recomendável por parte da entidade 2, que em futuras análises de exposição a agentes químicos através de amostras de ar, fosse realizada uma análise mais detalhada, tendo por base a caracterização do grupo E2 adotada neste estudo.

Analisando a Tabela **3**, verifica-se que os principais elementos constituintes das matérias-primas utilizadas na entidade 2 corresponderam ao Al, Fe, Mn e Mg.

Para o Fe e Mg verificaram-se valores superiores nas amostras do grupo D em relação às do grupo E e do grupo C2. Por outro lado, o grupo C2 apresentou valores superiores comparativamente com o grupo E. Quanto ao Al e Mn obtiveram-se valores superiores no grupo D, em relação aos grupos E e C2.

Verificou-se ainda que se obtiveram os mesmos resultados da entidade 1 para o Cu, ou seja, este elemento apresentou valores superiores nas amostras do grupo C2.

Importa referir que nas amostras dos participantes do grupo E1 que não executavam soldadura, alguns elementos apresentaram concentrações ligeiramente superiores, sendo Zn, Cu, B, Sr, Pb, Cr e W.

Analisando os valores dos biomarcadores constituintes do cabelo (Ca, Fe, K, Na e Sr) (Shin et al., 2020), verifica-se que não apresentaram concentrações elevadas destes elementos, comparativamente aos restantes elementos, com exceção do Fe, para o qual, de acordo com o esperado, apresentou valores superiores. Este resultado para o Fe pode estar relacionado com a exposição ocupacional, resultante da exposição a este agente presente na atmosfera do local de trabalho e que se pode depositar na superfície dos fios de cabelo.

Fazendo uma análise comparativa dos valores de Mn determinados na entidade 2 e os valores obtidos de acordo com o estudo de Nouioui et al. (2018), verificou-se que os valores da entidade 2 se encontram abaixo dos valores indicados no estudo.

4.2.2 Soluções de lavagem

As concentrações dos biomarcadores nas soluções de lavagem dos grupos E2 e C2, de acordo com a atividade profissional, são apresentadas nas secções seguintes, sendo feita a interpretação e discussão dos resultados obtidos.

4.2.2.1 Atividade ocupacional

Nas tabelas seguintes apresentam-se os resultados das soluções de lavagem das amostras de cabelo dos grupos de Exposição E2 e do grupo de Controlo C2.

Tabela 23 - Concentrações (µg/L) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de exposição E2, de acordo com a atividade ocupacional.

Grupo de Exposição E2											
Biomarcador	Tarefas de soldadura (n = 15) – (D)					Outras tarefas com exposição a fumos de soldadura (n = 4) – (E)					Razão de valores médios D/E
	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	Mín.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Li*	2,5				0	2,5				0	1
Be*	0,5				0	0,5				0	1
B	2,5	49,01	11,95	10,24	11,46	2,5	17,19	7,94	6,03	5,53	1,5
Na	0,13	32,2	6,59	1,32	9,97	0,13	0,74	0,36	0,29	0,25	18,3
Mg*	0,13	1,05	0,29	0,13	0,29	0,13				0	2,2
Al	2,5	721,32	79,81	19,05	181,47	5,46	507,47	140,3	24,14	212,27	0,6
P*	50				0	50				0	1
K	0,13	5,09	0,93	0,58	1,23	0,13	0,28	0,17	0,13	0,06	5,5
Ca	0,13	4,25	1,28	0,84	1,25	0,72	1,27	0,89	0,78	0,22	1,4
V*	0,05	0,16	0,06	0,05	0,03	0,05				0	1
Cr	0,08	2,65	0,59	0,32	0,69	0,17	0,6	0,34	0,29	0,16	1,7
Mn	0,25	6,32	2,02	1,05	1,92	0,25	9,23	2,6	0,46	3,83	0,8
Fe	4,37	47,59	22,93	20,42	12,82	3,13	212,36	59,65	11,55	88,24	0,4
Co*	0,13				0	0,13				0	1
Ni	0,25	4,72	1	0,65	1,15	0,25				0	1
Cu	0,89	27,66	7,03	3,38	7,84	0,25	6,05	2,29	1,43	2,32	3,1
Zn	14,83	101,96	35,01	30,76	21,66	10,65	26,05	16,39	14,42	6,32	2,1
As	0,25				0	0,25				0	1
Se*	0,5				0	0,5				0	1
Rb	0,25	5,29	0,99	0,55	1,27	0,25				0	1
Sr	1,34	40,93	10,27	4,61	12,06	2,97	4	3,3	3,12	0,41	3,1
Mo	0,13	0,78	0,17	0,13	0,16	0,13				0	1
Ag	0,05				0	0,05				0	1
Cd*	0,05				0	0,05				0	1
Sn	0,05	0,35	0,11	0,05	0,09	0,05	0,2	0,1	0,08	0,06	1,1
Sb	0,05	1,22	0,15	0,05	0,29	0,05	29,15	7,38	0,16	12,57	0
Ba	1,46	14,61	6,45	5,13	3,93	1,13	26,2	10,9	8,15	9,84	0,6
W	0,15	0,58	0,2	0,15	0,12	0,15				0	1
Tl	0,13				0	0,13				0	1
Pb	0,10	0,98	0,39	0,28	0,33	0,1	0,69	0,39	0,38	0,29	1
Bi*	0,50	1,24	0,55	0,5	0,18	0,5				0	1
Th*	2,5				0	2,5				0	1
U*	0,05				0	0,05				0	1

* o valor mínimo é igual ao limite de detecção do equipamento.

NOTA: Na, Mg, K e Ca em mg/L

Tabela 24 - Concentrações ($\mu\text{g/L}$) dos EPT's nas soluções de lavagem do grupo de controlo C2, de acordo com a atividade ocupacional.

Grupo de Controlo C2							
Atividades ocupacionais sem exposição a fumos de soldadura (n = 11) – (F)						Razão de valores médios D/F	Razão de valores médios E/F
Biomarcador	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	dv		
Li*	2,5				0	1	1
Be*	0,5				0	1	1
B	2,5	10,97	5,77	6,22	3	2,1	1,4
Na	0,13	11,87	1,53	0,35	3,45	4,3	0,2
Mg*	0,13	0,33	0,15	0,13	0,06	1,9	0,9
Al	2,5	321,19	118,94	56,52	118,2	0,7	1,2
P*	50				0	1	1
K	0,13	1,45	0,36	0,2	0,39	2,6	0,5
Ca	0,13	1,41	0,54	0,5	0,33	2,4	1,6
V*	0,05	0,12	0,06	0,05	0,02	1	0,8
Cr	0,05	0,47	0,21	0,19	0,15	2,8	1,6
Mn	0,25	1,89	0,84	0,89	0,49	2,4	3,1
Fe	1,25	22,99	8,61	6,38	5,96	2,7	6,9
Co*	0,13	0,32	0,15	0,13	0,06	0,9	0,9
Ni	0,25				0,00	1	1
Cu	0,25	44,27	8,13	2,52	12,85	0,9	0,3
Zn	2,50	78,13	22,69	16,75	21,13	1,5	0,7
As	0,25				0	1	1
Se*	0,5				0	1	1
Rb	0,25	1,84	0,44	0,25	0,47	2,3	0,6
Sr	0,50	12,94	3,11	2,31	3,38	3,3	1,1
Mo	0,13				0	1	1
Ag	0,05				0	1	1
Cd*	0,05				0	1	1
Sn	0,05	0,27	0,12	0,11	0,08	0,9	0,8
Sb	0,05	0,12	0,06	0,05	0,02	2,5	1,7
Ba	1,18	17,01	7,55	5,75	5,47	0,9	1,4
W	0,15	1,56	0,4	0,15	0,45	0,5	0,4
Tl	0,13				0	1	1
Pb	0,10	1,35	0,46	0,37	0,35	0,8	0,8
Bi*	0,50	1,32	0,58	0,5	0,25	0,9	0,9
Th*	2,5				0	1	1
U*	0,05				0	1	1

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

NOTA: Na, Mg, K e Ca em mg/L

Analisando os resultados das tabelas acima verifica-se que as soluções de lavagens das amostras do grupo D apresentaram valores médios superiores aos do grupo C2 e de acordo com o resultado obtido nas amostras de cabelo. Excetuam-se os elementos Al, Cu, Ba, Bi, Pb, W, Co e Sn, cujos valores médios foram superiores no grupo C2. Resultados similares foram obtidos nas amostras de cabelo, com exceção para os elementos Al, Ba, Bi, Pb, Co e Sn.

Verificaram-se resultados similares foram obtidos para o grupo E, embora com razões inferiores, com exceção do Fe cuja razão entre grupo E e o grupo F foi superior a 6.

No que diz respeito às concentrações médias dos participantes do grupo E2, verifica-se que as soluções de lavagem das amostras do grupo D apresentaram valores médios superiores de forma geral nos elementos analisados, comparativamente com o grupo E. Excetuam-se os biomarcadores Al, Fe, Sb e Mn, cujos valores nas soluções de lavagem no grupo E apresentaram valores superiores.

Estes resultados estão de acordo com os resultados obtidos nas amostras de cabelo.

Analisando as razões entre os grupos F e G, para os principais elementos constituintes da matéria-prima, verificam-se que as razões são superiores a 1, ao contrário do que se verificou para alguns destes elementos nas amostras de cabelo. Assim, é possível afirmar que os participantes do grupo F estavam expostos a este tipo de agentes químicos, tal como se conclui na secção anterior das amostras de cabelo, mas em concentrações mais baixas. As partículas metálicas dos elementos principais das matérias-primas estavam por isso, maioritariamente na superfície dos fios de cabelo.

No que diz respeito aos biomarcadores constituintes da composição do cabelo (Ca, Fe, K, Na e Sr), verificou-se que estes biomarcadores não influenciaram os resultados obtidos, tal como já verificado nos resultados da entidade 1.

4.3 Entidade 3

Nesta secção são apresentados os resultados das análises ICP-MS das amostras de cabelo e das respetivas soluções de lavagem, dos participantes da entidade 3, de acordo com a atividade ocupacional.

4.3.1 Amostras de cabelo

Nas tabelas seguintes apresentam-se os valores mínimos e máximos, a média, a mediana e o dv para os grupos de exposição E3 e de controlo C3.

Apresentam-se também as relações entre os valores médios do grupo de exposição E3 (F) e a média do grupo de controlo C3 (G).

4.3.1.1 Atividade ocupacional

Tabela 25 - Concentrações (mg/kg) dos EPT's nas amostras de cabelo do grupo de exposição E3 e de controlo C3.

Biomarcador	Grupo de Exposição E3					Grupo de Controlo C3					Razão de valores médios F/G
	Tarefas de soldadura (n = 3) – (F)					Outras tarefas sem exposição a fumos de soldadura (n = 2) – (G)					
	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	
Li*	2,5	12,5	7,08	6,25	4,12	0,63	1,25	0,94	0,94	0,31	7,5
Be*	0,5	2,5	1,42	1,25	0,82	0,13	0,25	0,19	0,19	0,06	7,5
B	2,5	41,61	20,16	16,36	16,19	0,63	2,82	1,72	1,72	1,1	11,7
Na	125	625	354,17	312,5	206,24	31,25	62,5	46,88	46,88	15,63	7,6
Mg*	125	625	354,17	312,5	206,24	31,25	62,5	46,88	46,88	15,63	7,6
Al	11,52	110,75	47,88	21,36	44,64	3,35	7,58	5,46	5,46	2,12	8,8
P*	105,98	250,00	160,33	125	63,88	95,39	115,69	105,54	105,54	10,15	1,5
K	125	625	354,17	312,5	206,24	31,25	62,5	46,88	46,88	15,63	7,6
Ca	286,78	625	408,09	312,5	153,73	389,82	839,71	614,76	614,76	224,94	0,7
V*	0,05	0,53	0,24	0,13	0,21	0,05	0,06	0,06	0,06	0,01	4
Cr	1,3	2,03	1,75	1,93	0,32	0,07	0,22	0,14	0,14	0,07	12,5
Mn	5,61	8,79	6,93	6,4	1,35	0,31	0,8	0,55	0,55	0,25	12,6
Fe	169,08	404,93	266,36	225,07	100,61	5,57	38,43	22	22	16,43	12,1
Co*	0,13	0,63	0,36	0,33	0,2	0,03	0,06	0,05	0,05	0,02	7,2
Ni	1,98	37,09	19,46	19,29	14,33	0,25	3,78	2,01	2,01	1,77	9,7
Cu	15,58	42,4	25,79	19,4	11,85	11,13	41,35	26,24	26,24	15,11	1
Zn	192,09	272,43	219,19	193,06	37,65	166,57	175,9	171,23	171,23	4,67	1,3
As	0,25	1,25	0,71	0,63	0,41	0,06	0,13	0,1	0,1	0,03	7,1
Se*	0,5	2,5	1,42	1,25	0,82	0,62	0,77	0,69	0,69	0,08	2,1
Rb	0,25	1,25	0,71	0,63	0,41	0,06	0,13	0,1	0,1	0,03	7,1
Sr	0,5	2,5	1,42	1,25	0,82	0,53	2,39	1,46	1,46	0,93	1
Mo	0,13	5,28	1,91	0,33	2,38	0,03	0,06	0,05	0,05	0,02	38,2
Ag	0,13	0,25	0,17	0,13	0,06	0,03	0,13	0,08	0,08	0,05	2,1
Cd*	0,05	0,65	0,28	0,13	0,27	0,01	0,05	0,03	0,03	0,02	9,3
Sn	1,61	8,74	4,51	3,17	3,06	0,43	1,04	0,74	0,74	0,31	6,1
Sb	0,1	0,98	0,49	0,39	0,37	0,03	0,06	0,05	0,05	0,02	9,8
Ba	6,14	16,5	10	7,36	4,62	0,54	0,89	0,72	0,72	0,18	13,9
W	0,15	1,93	0,82	0,38	0,79	0,04	0,06	0,05	0,05	0,01	16,4
Tl	0,13	0,63	0,36	0,33	0,2	0,03	0,06	0,05	0,05	0,02	7,2
Pb	1,73	27,34	11,15	4,39	11,5	0,08	0,73	0,41	0,41	0,32	27,2
Bi*	0,5	2,50	1,42	1,25	0,82	0,13	0,25	0,19	0,19	0,06	7,5
Th*	2,5	12,5	7,08	6,25	4,12	0,63	1,25	0,94	0,94	0,31	7,5
U*	0,05	0,25	0,14	0,13	0,08	0,03	0,1	0,06	0,06	0,04	2,3

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

Analisando a tabela acima é possível verificar que os resultados das amostras dos participantes do grupo E3, com razões muito superiores a 1 para muitos dos elementos, comparativamente com os resultados das amostras do grupo C3 e de acordo com os resultados esperados. Excetuam-se o Ca, Sr e Cu cujos resultados têm razão inferior ou igual a 1.

Analisando a Tabela **4** verifica-se que os principais elementos constituintes das matérias-primas utilizadas na entidade 3 correspondem ao Fe, Mn e Cu.

Para a entidade 3 observaram-se resultados similares aos das outras entidades participantes, ou seja, verificou-se que os valores de Fe e Mn são superiores no grupo E3, ao passo que para o Cu verificou-se que os valores são inferiores ou muito próximos dos valores obtidos para os grupos de controlo.

Importa referir que para o Cu foram obtidos resultados similares para os grupos das entidades 1 e 2.

No que diz respeito aos restantes elementos constituintes das matérias-primas, verifica-se que para todos os elementos obtiveram-se valores superiores no grupo E3, com razões muito acima de 1.

No que diz respeito aos biomarcadores constituintes da composição do cabelo (Ca, Fe, K, Na e Sr), verificou-se que estes biomarcadores não influenciaram os resultados obtidos, tal como já verificado nos resultados das entidades 1 e 2.

Fazendo uma análise comparativa dos valores de Mn determinados na entidade 2 e os valores obtidos de acordo com o estudo de Nouioui et al. (2018), verificou-se que os valores da entidade 2 se encontram abaixo dos valores indicados no estudo.

4.3.2 Soluções de lavagem

As concentrações dos biomarcadores nas soluções de lavagem dos grupos E3 e C3 de acordo com a atividade profissional e faixa etária, são apresentadas nas secções seguintes, sendo feita a interpretação e discussão dos resultados obtidos.

4.3.2.1 Atividade ocupacional

Na tabela seguinte apresentam-se os resultados do grupo E3 e do grupo C3.

Tabela 26 - Concentrações (µg/L) dos EPT's nas soluções de lavagem dos grupos de exposição E3.

Grupo de Exposição E3						Grupo de Controlo C3					Razão de valores médios E3/F3	
Biomarcador	Tarefas de soldadura (n = 3) – (E3)					Outras tarefas sem exposição a fumos de soldadura (n = 2) – (C3)						
	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv	Min.	Máx.	Média	Mediana	dv		
Li*	2,5					2,5					0	1
Be*	0,5					0,5					0	1
B	2,5					2,5					0	1
Na	0,32	0,5	0,41	0,41	0,09	0,13	0,53	0,33	0,33	0,2	1,2	
Mg*	0,13					0,13					0	1
Al	17,27	21,23	19,25	19,25	1,98	8,71	9,28	8,99	8,99	0,29	2,1	
P*	50					50					0	1
K	0,25	0,4	0,33	0,33	0,08	0,13					0	0,6
Ca	0,39	0,4	0,39	0,39	0	0,27	0,81	0,54	0,54	0,27	0,7	
V*	0,05					0,05					0	1
Cr	0,76	2,13	1,45	1,45	0,69	0,05	0,2	0,13	0,13	0,08	11,2	
Mn	7,91	30,06	18,98	18,98	11,07	0,96	1,44	1,2	1,2	0,24	15,8	
Fe	216,52	217,89	217,21	217,21	0,68	4,98	11,03	8,01	8,01	3,02	27,1	
Co*	0,13					0,13					0	1
Ni	0,56	0,66	0,61	0,61	0,05	0,25					0	2,4
Cu	6,44	23,48	14,96	14,96	8,52	0,99	14,47	7,73	7,73	6,74	1,9	
Zn	35,40	166,41	100,9	100,9	65,5	11,23	14,5	12,86	12,86	1,63	7,8	
As	0,25					0,25					0,00	1
Se*	0,5					0,5					0,00	1
Rb	0,25					0,25					0,00	1
Sr	0,5	1,62	1,06	1,06	0,56	0,5	3,56	2,03	2,03	1,53	0,5	
Mo	0,13					0,13					0,00	1
Ag	0,05					0,05					0,00	1
Cd*	0,05					0,05					0	1
Sn	0,13	0,17	0,15	0,15	0,02	0,1	0,18	0,14	0,14	0,04	1,1	
Sb	0,05	0,18	0,11	0,11	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0	2,2	
Ba	5,34	53,36	29,35	29,35	24,01	0,78	1,47	1,12	1,12	0,34	26,2	
W	0,15					0,15					0,33	0,3
Tl	0,13					0,13					0	1
Pb	0,52	1,04	0,78	0,78	0,26	0,1					0	5,2
Bi*	0,5					0,5					0	1
Th*	2,5					2,5					0	1
U*	0,05					0,05					0	1

* o valor mínimo é igual ao limite de deteção do equipamento.

NOTA: Na, Mg, K e Ca em mg/L

Analisando a tabela acima verifica-se que as razões entre o grupo E2 e C3 são muito superiores a 1 nos elementos tipicamente presentes nas matérias-primas utilizadas na entidade 3, a título de exemplo: Fe com razão 27,1, Mn com razão 15,8 e Cr com razão 11,2.

Para o Fe, Mn e Cr, obtiveram-se razões superiores comparativamente com outros elementos nas amostras de cabelo, tendo-se verificado o mesmo resultado nas soluções de lavagem.

Nas soluções de lavagem verificaram-se relações com valores mais elevadas para o Pb e o Mo, comparativamente com os restantes elementos analisados.

No caso do Mo, este elemento pode estar presente nas matérias-primas utilizadas na entidade 3.

Quanto ao Pb, a composição química das matérias-primas não indicam a presença deste elemento, contudo, pode existir em percentagens baixas. Por outro lado, este elemento pode resultar de exposição ambiental ou poluição ambiental, não sendo por isso, indicar a origem da exposição a este elemento em especial.

À semelhança dos resultados nas amostras de cabelo, verificou-se que os biomarcadores constituintes da composição do cabelo (Ca, Fe, K, Na e Sr), não influenciaram os resultados obtidos, tal como já verificado nos resultados das entidades 1 e 2, uma vez que, os seus valores médios não são muito elevados comparativamente com outros elementos analisados. Para o Fe, este elemento é dos elementos predominantes das matérias-primas, podendo estar presente em grandes quantidades em alguns dos alimentos ingeridos. Nos resultados obtidos, os seus valores médios apresentaram-se muito superiores no grupo E3 comparativamente aos do grupo C3, atestando assim, que este elemento presente na constituição do cabelo não interfere nos resultados obtidos.

Considerando que para os elementos presentes nas matérias-primas usadas pela entidade 3, apresentaram razões elevadas quer para as soluções de lavagem, quer para as amostras de cabelo, é possível afirmar que no ambiente de trabalho desta entidade, estes EPT's se encontram em concentrações elevadas.

4.4 Discussão dos resultados

Nos estudos realizados com recurso, não só à análise de amostras de cabelo, mas também com recurso a amostras de sangue e de urina e ainda, verificou-se a presença destes elementos nos soldadores em geral. Resultados similares foram obtidos em estudos que recorreram à análise de amostras de ar do ambiente de trabalho.

A presença destes elementos no organismo humano, quando em níveis acima dos valores biológicos permissivos, podem desencadear problemas na saúde dos trabalhadores expostos. A título de exemplo

são indicados alguns efeitos no organismo de alguns destes elementos, embora os principais efeitos na saúde dos soldadores tenham já sido discutidos na revisão bibliográfica desta dissertação.

O Fe é um elemento essencial ao normal funcionamento do organismo humano, uma vez que é um componente da hemoglobina e da mioglobina e faz parte do processo de transporte e armazenamento de oxigénio no sangue, assim como em muitas reações de redução. O seu défice pode causar distúrbios como, anemia, défice de crescimento, letargia, redução do desempenho no trabalho e uma resposta imunológica precária. Contudo, quando presente em quantidades elevadas pode causar distúrbios metabólicos (Woźniak et al., 2019).

Em alguns tipos de soldadura pode ocorrer inalação crónica deste elemento, que geralmente é assintomática nos soldadores, contudo alguns deles desenvolvem fibrose pulmonar grave, podendo também verificar-se alterações neurológicas (Santos & Almeida, 2017).

Por esta razão, mesmo sendo o Fe um elemento de tanta importância para o organismo humano, torna-se fundamental realizar análises periódicas aos níveis absorvidos pelo organismo dos soldadores, face aos distúrbios que o excedente de Fe pode causar na sua saúde.

O Mn é um elemento natural e essencial para o correto funcionamento do organismo humano, sendo por isso, quer o seu défice quer o seu excesso prejudicial à saúde humana. Este elemento desempenha um papel importante em processos bioquímicos, como por exemplo, no metabolismo de carboidratos e aminoácido através de enzimas (Ishak et al., 2015) e também no correto desenvolvimento e funcionalidade do cérebro (Baker et al., 2014).

A exposição a doses elevadas de Mn pode causar problemas de saúde, especialmente no que se refere à neurotoxicidade, resultante da sua acumulação no cérebro humano, que pode originar distúrbios no sistema nervoso central (Santos & Almeida) e ainda distúrbios neuropsiquiátricos.

Não é comum verificar-se o défice de Mn no organismo humano, contudo quando verificado está geralmente associado a níveis igualmente baixos de Cu e Zn.

De acordo com Hassani et al. (2015) a ingestão de Mn através da alimentação tem pouca contribuição para a sua acumulação no organismo.

Para o Co, Ni, Cr e o Cd verificou-se em estudos realizados, que os níveis de excreções destes elementos na urina de soldadores eram superiores do que na população em geral (Santos & Almeida, 2017). Nas amostras de cabelo analisadas para o estudo desta dissertação, foi possível verificar que as amostras dos soldadores apresentaram valores médios superiores comparativamente com os grupos de controlo, para estes elementos em específico.

Em contexto dos agentes químicos de processos de soldadura em geral, o Co constitui um dos elementos mais tóxicos, podendo levar à ocorrência de asma e ainda, ao desenvolvimento de cancro no pulmão, sendo este elemento atualmente classificado como um agente carcinogénico (Santos & Almeida, 2017). A inalação de Ni acima dos valores limite pode desencadear episódios de asma, tendo-se verificado de acordo com Santos & Almeida (2017).

O Cr é um metal pesado, que mesmo em concentrações baixas, é extremamente tóxico ao organismo humano. Este elemento é um nutriente essencial na dieta do organismo humano, uma vez que permite que a insulina mantenha os níveis normais de glicose.

Níveis tóxicos de Cr podem causar perturbações estomacais, úlceras, danos renais e no fígado, asma (Santos & Almeida, 2017) e em situações mais graves, a morte (Peter, Eneji & Sha'Ato, 2012).

Por sua vez, o Cd está associado a patologias oncológicas para muitos investigadores, com base em estudos realizados em animais (Santos & Almeida, 2017).

Relativamente ao Zn, é um metal essencial ao organismo humano, desempenhando um papel importante em processos bioquímicos e por isso, o seu excesso ou o seu défice, pode trazer problemas de saúde (Isha et al., 2015).

O seu défice pode desencadear anomalias como o nanismo, atrofia gonadal, erupções cutâneas graves, hiper queratinização, lesões ulcerosas e cicatrização lenta de feridas, podendo ser tratadas com a ingestão deste elemento através de suplementos alimentares. O défice deste elemento manifesta-se com sintomas no organismo, como a perda de paladar e de apetite.

O seu desempenho no organismo humano, é corretamente assegurado apenas com cerca de 2 a 3 gramas em indivíduos adultos e está atualmente associado a mais de 90 reações enzimáticas diferentes, envolvendo o metabolismo de carboidratos, lipídios e a síntese de proteínas e ácidos nucleicos.

A exposição ao Al pode desencadear efeitos neurocognitivos, tendo sido observado efeitos mais acentuados em soldadores da indústria naval.

O Pb apresentou valores superiores nas amostras de cabelo dos soldadores da entidade 3. Desconhece-se a origem destes níveis, contudo, a localização geográfica desta entidade pode ter impacto nestes resultados. Esta entidade encontrava-se perto da zona centro do país, ao passo que as outras duas entidades se localizavam na zona norte.

A exposição ao Pb pode desencadear alterações neurológicas, assim como, aumento do stress inflamatório.

Na legislação portuguesa apenas se encontra definido o valor limite biológico¹⁸ obrigatório para o Pb e os seus compostos iónicos, que corresponde a 70 µg Pb/100 ml de sangue, como resultado dos efeitos nefastos na saúde humana resultante deste tipo de exposição, assim como, pelos seus efeitos de cariz crónico.

O Cu corresponde a um dos elementos que tipicamente pode ser encontrado em concentrações mais elevadas, em amostras de ar e amostras biológicas de soldadores, comparativamente com os grupos de controlo. Neste estudo, verificou-se que os grupos de controlo das entidades 1 e 2 (C1 e C2) apresentaram valores médios de Cu superiores em relação aos grupos de exposição (E1 e E2). Na entidade, não se verificaram diferenças entre o grupo de exposição e de controlo, sendo a razão entre valores igual a 1.

O Cu é um metal essencial ao organismo humano, uma vez que, desempenha um papel importante em processos bioquímicos. Quer o seu excesso quer o seu défice, pode desencadear problemas de saúde. Não é comum ocorrer défice de cobre resultante de alimentação deficitária. De igual modo, não é comum verificar-se toxicidade provocada pelo excesso de ingestão de Cu (Ishak et al., 2015).

Este resultado em específico para o Cu, pode estar relacionado com o método de lavagem e digestão adotados neste estudo.

As interações que ocorrem no organismo entre elementos tóxicos (Pb, Cd, Hg, As) e elementos essenciais (Mn, Ni, Cr, Se) têm sido o foco principal dos cientistas. Demonstrou-se nos estudos realizados, que qualquer deficiência ou excesso na carga mineral corporal pode ser representada na matriz de queratina do cabelo.

Por exemplo, têm sido relatados efeitos nocivos do Ni resultantes da sua interferência no metabolismo de alguns elementos essenciais como, o Mn, Fe, Ca, Zn e o Cu. A sua toxicidade resulta essencialmente pela capacidade do Ni substituir outros iões em enzimas e proteínas ou em se ligar a compostos celulares, contendo átomos de S, O e N (Nouioui et al., 2018).

Foram encontrados níveis mais elevados de Cd e mais baixos de Cr e Zn em amostras de cabelo de pacientes com diabetes mellitus, quando comparados com amostras de cabelo de indivíduos normais. Além disso, uma forte correlação foi relatada entre os níveis de Ni, Cd, Zn e Cr, confirmando a relevância desses elementos na manutenção das condições fisiológicas. Foram determinadas associações positivas entre o Pb e o Cd, para o tabagismo e a artrite, tendo sido encontrados níveis significativamente mais altos de Pb e Cd e níveis mais baixos de Zn, Cu e Mn no cabelo de pacientes com artrite reumatóide

¹⁸Valor limite biológico, é definido como sendo o "limite de concentração no meio biológico adequado do agente em causa, dos seus metabolitos ou de um indicador de efeito" (Decreto-Lei n.º 24/2012, de 6 de fevereiro).

quando comparados com indivíduos saudáveis. As concentrações de Mn, Zn e Cu não variaram significativamente no cabelo de grupos de controlo com hábitos tabágicos e sem estes hábitos, implicando que a alteração desses elementos foi o resultado de um estado de doença dos pacientes. Da mesma forma, linhas de evidência em apoio de associações positivas entre Cd, tabagismo e risco de cancro de pulmão foram relatadas, uma vez que altos níveis de Cd foram encontrados no sangue e cabelo de 120 pacientes com cancro do pulmão, quando comparados com amostras dos grupos de controlo (Nouioui, et al., 2018).

Importa referir que se verificou para alguns elementos, dispersão entre os resultados obtidos, que pode estar relacionado com o facto de os participantes sofrerem exposição não ocupacional a determinados elementos ou ainda, pelo tempo que executam as atividades de soldadura. Alguns autores defendem que participantes com menos de 1 ano de exposição não devem ser considerados neste tipo de estudos (Hassani et al., 2015; Pozebon et al., 2017). Neste estudo, foram aceites todos os participantes independentemente da duração da sua experiência na execução de atividades soldadura, para que a amostra se tornasse mais representativa.

Além disso, de acordo com Nouioui et al. (2018), cujo estudo se verificou dispersão entre as diferentes amostras de cabelo analisadas, os dados resultantes demonstraram grandes variações nas médias, medianas devido à variabilidade biológica de cada indivíduo.

Como apresentado na revisão bibliográfica, não existem procedimentos de lavagem que remova todos os componentes exógenos, sem que não sejam retirados componentes da matriz do cabelo (Pozebon et al., 2017). De igual modo, ainda não existe concordância entre a comunidade científica acerca do melhor método de digestão das amostras.

No que diz respeito aos metais presentes na constituição do cabelo, foi possível verificar nas 3 entidades participantes, nas amostras de cabelo e também nas soluções de lavagem, que estes elementos não interferiram nos resultados obtidos. Esta afirmação pode ser feita, uma vez que, as razões entre o grupo de exposição e de controlo (amostras de cabelo e soluções de lavagem), apresentaram razões similares, tendo-se verificado em especial para o Fe que constituía um dos principais elementos das matérias-primas, valores médios superiores nos grupos de exposição.

5. CONCLUSÃO

Através da análise ICP-MS das amostras de cabelo, foi possível determinar as concentrações de metais, incluindo os pesados, presentes nos fios de cabelo dos soldadores. Foram também determinadas as concentrações das amostras de cabelo de participantes que não executavam soldadura, mas com exposição a fumos de soldadura nos seus postos de trabalho e ainda, dos grupos de controlo das 3 entidades participantes.

Foi possível verificar que as amostras de cabelo dos soldadores apresentaram tendência de concentrações de metais superiores às concentrações das amostras dos participantes que não executavam soldadura, mas que se encontravam igualmente expostos a fumos de soldadura. Este resultado está de acordo com a bibliografia, uma vez que, nos estudos realizados, verificou-se que trabalhadores com postos de trabalho próximos a atividades de soldadura, se encontravam também expostos, embora tenham apresentado níveis inferiores aos níveis dos soldadores, apresentaram níveis de metais superiores comparativamente com os trabalhadores do grupo de controlo (Pozebon et al., 2017).

Este resultado foi verificado nas entidades 1 e 2. Na entidade 3 os participantes do grupo de exposição eram exclusivamente soldadores.

Nas 3 entidades participantes foi possível verificar que as amostras de cabelo dos grupos de exposição (E1, E2, E3) apresentaram para os principais elementos constituintes das matérias-primas utilizadas, tendência para concentrações superiores comparativamente com as concentrações das amostras dos grupos de controlo (C1, C2, C3), de acordo com o esperado. Este resultado verificou-se não só para os principais elementos constituintes das matérias-primas utilizadas, mas também para os restantes elementos.

Para as 3 entidades participantes foi possível verificar que os elementos tipicamente presentes nas matérias-primas, apresentaram razões superiores a 1 comparativamente aos grupos de controlo, sendo que, em alguns dos casos com valores médios superiores em relação aos restantes elementos analisados, quer nas amostras de cabelo, quer nas soluções de lavagem. Estes elementos compreendem: Al, Co, Cr, Mn, Fe, Ni, Mo, Ti, Ag, Zn. Na entidade 3 verificaram-se razões muito elevadas em relação aos restantes elementos analisados, para o Cd e o Pb.

Face aos resultados obtidos neste estudo, o cabelo demonstrou ser uma amostra biológica com potencial para a biomonitorização, constituindo por isso, uma ferramenta poderosa de avaliação da exposição ocupacional a metais, incluindo os pesados e de controlo e prevenção de distúrbios na saúde dos trabalhadores expostos.

Dos estudos realizados neste âmbito, vários autores defendem esta amostra biológica como sendo adequada, uma vez que, comparativamente com o sangue e a urina, é menos influenciada pela variabilidade e ingestão alimentar, devido à sua lenta taxa de crescimento. Além disso, a análise capilar surgiu como uma poderosa técnica não invasiva que permite avaliar a extensão da exposição a metais, incluindo os pesados, que tendem a acumular-se na matriz capilar por ligação química ao enxofre presente na queratina.

Várias doenças têm sido associadas ao conteúdo mineral no cabelo. Níveis alterados de elementos essenciais e níveis elevados de elementos tóxicos têm sido associados a muitos distúrbios físicos e psiquiátricos (Nouioui et al. (2018).

Por seu turno, a análise elementar do cabelo permite obter resultados confiáveis (Reiss et al., 2015).

A ausência de valores de referência certificados para o cabelo é sem dúvida uma das grandes desvantagens no uso do cabelo na biomonitorização. Existem já atualmente valores de referência para alguns metais, contudo, em função do material certificado, os métodos de lavagem e digestão diferem, o que por si só, interfere nos resultados obtidos nestas referências.

Apesar das amostras de cabelo certificado oferecerem precisão na análise, os erros resultantes de uma lavagem inadequada não são detetados, uma vez que não existem amostras certificadas de cabelo mal lavado, para verificar a confiabilidade do procedimento de lavagem adotado (Stanislawski et al., 2020).

Por esta razão, neste estudo foram analisadas as soluções de lavagem das amostras de cabelo para os grupos de exposição e para os grupos de controlo, tal como recomendado pela revisão de Pozebon et al. (2017).

Foi possível verificar que nas soluções de lavagem, de forma geral, os elementos cujos valores apontavam valores superiores nas amostras de cabelo, apresentaram resultados similares nas soluções de lavagem. Este resultado dá assim, indicação de que o processo de lavagem selecionado foi adequado.

Importa ainda ter em conta que, de acordo com a bibliografia, a presença de biomarcadores no cabelo depende da variabilidade natural da composição do cabelo, resultante da idade, do género, da cor do cabelo, da nacionalidade e da localização geográfica, da etnia, da exposição à poluição ambiental, do tipo de produtos capilares utilizados, do estado de saúde, da dieta alimentar, consumo de fármacos, da presença de substâncias anti nutritivas e a forma química dos minerais consumidos, e ainda, da exposição ocupacional (Peter et al., 2012; Pozebon et al., 2017).

No que diz respeito à correta avaliação de riscos de exposição ocupacional, em específico a exposição a agentes químicos, representa uma medida fulcral para o desenvolvimento de medidas de proteção e

prevenção da ocorrência de acidentes de trabalho e ainda, de doenças profissionais com grande impacto na saúde dos soldadores e outros trabalhadores que se encontrem expostos.

A utilização de EPI's é uma das medidas que deve ser encarada com relevância, uma vez que, a sua utilização é uma componente-chave das práticas de saúde e segurança no local de trabalho, sempre que os riscos à saúde não podem ser evitados ou a técnica de trabalho não pode ser melhorada (Joshi et al., 2020).

Tendo por base os resultados obtidos nas 3 entidades participantes, recomenda-se a adoção e/ou reforço da ventilação das áreas de trabalho, reforço da formação aos trabalhadores acerca dos riscos a que se encontram expostos e ainda, acerca da importância e correta utilização dos EPI's. Além disso, devem ser adotados métodos de trabalho que permitam minimizar a exposição aos fumos de soldadura, por parte dos trabalhadores que não executam atividades de soldadura.

Considerando o conhecimento dos efeitos da exposição a fumos de soldadura existente até ao momento, torna-se urgente a realização de mais estudos que permitam avaliar os efeitos na saúde dos soldadores resultante deste tipo de exposição, uma vez que, os resultados dos estudos sugerem que, em geral, existe uma forte ligação entre os fumos metálicos gerados pela soldadura com a deterioração das funções pulmonares (Bakri et al., 2019) e entre outras doenças já anteriormente indicadas.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

O presente estudo, com base nos resultados obtidos, estimulou as seguintes considerações de investigação futura, abaixo descritas.

Para a recolha de amostras de cabelo, sugere-se a utilização de tesouras em material polimérico, por exemplo em polietileno, em titânio ou tântalo ou em material cerâmico, por se tratar de materiais que não são expectáveis de serem encontrados em amostras de cabelo. Além disso, este material não promove a contaminação das amostras com outros materiais metálicos, não colocando em causa a precisão da análise (Pozebon et al., 2017).

As zonas de recolha das amostras, sempre que exista a necessidade de serem recolhidas em diferentes zonas do couro cabeludo por falta de massa da amostra ou pela limitação causada pelo comprimento dos fios de cabelo, estas amostras deverão ser identificadas, assim como, identificados os pontos de recolha selecionados (Liang, et al., 2017; Pozebon et al., 2017).

O registo do comprimento dos fios de cabelo recolhidos de cada uma das amostras é um fator importante, uma vez que permitirá obter melhores resultados no que diz respeito à variabilidade dos resultados (Usman et, al., 2019). Além disso, através do comprimento dos fios de cabelo é possível estimar a retrospectiva temporal de exposição.

A frequência de lavagem do cabelo é um fator também a considerar, assim como, o momento de recolha das amostras deve ser um fator a considerar na interpretação dos resultados obtidos.

De igual modo, a cor dos fios de cabelo, deve ser registado por forma a ser possível verificar a existência de variabilidade relacionada com este fator.

Quanto à caracterização dos grupos de exposição, deve ser considerado o tempo que os participantes executam as atividades de soldadura e quais os tipos de soldadura executados até ao momento.

Além disso, a caracterização deve também ser realizada de acordo com o tipo de soldadura executada, permitindo assim, um estudo mais criterioso quanto aos níveis determinados nos fios de cabelo e ainda, quanto aos riscos para a saúde dos soldadores, em função do tipo de soldadura e, conseqüentemente, das matérias-primas utilizadas nestes processos.

Neste estudo, as dimensões das amostras não permitiram realizar uma análise de acordo com o tipo de soldadura realizado.

Outra informação relevante para a caracterização dos grupos participantes, passa pela recolha de informação acerca da alimentação de cada participante, dos produtos de cosméticas e de higiene pessoal utilizados e entre outros fatores, que de acordo com a bibliografia, demonstraram ter impacto nos níveis dos metais presentes no organismo humano (Pozebon et al., 2017).

Para o estudo detalhado quer dos agentes químicos presentes nos postos de trabalho, quer ao nível do que efetivamente corresponde a exposição ocupacional ou ambiental, sugere-se que sejam recolhidas amostras de ar dos postos de trabalho em análise. A biomonitorização apenas permite avaliar a quantidade absorvida pelo organismo dos trabalhadores expostos, podendo levar a falsas conclusões (Manno et al., 2010).

Além disso, para além da análise de amostras de cabelo, sugere-se que sejam utilizadas outras amostras biológicas, como sangue, urina, saliva e unhas e comparar os resultados obtidos entre as diferentes amostras.

A dimensão da amostra é um fator preponderante no que diz respeito à distribuição dos resultados. Na análise da relação do bioacumulação de metais no cabelo humano com a idade e o género, neste estudo a dimensão da amostra para esses sub-grupos era muito pequena, sendo muitas das vezes reduzida a um participante. Em estudos realizados neste âmbito, esta relação é estudada em conjunto e não de forma individualizada como se realizou neste estudo.

Os fios de cabelo devem ser cortados em pedaços o mais pequenos possível, de modo a reduzir a variabilidade entre as amostras e de acordo com a indicação do relatório do material certificado.

Ao nível da remoção da contaminação endógena e exógena, recomenda-se que para além da análise das soluções de lavagem, seja realizada a análise do cabelo sem lavagem. Deste modo, será possível verificar o que efetivamente foi removido dos fios de cabelo.

A digestão é uma das etapas do processo com grande impacto, caso não se encontre devidamente concluído. Em processos incompletos verificam-se quantidades consideráveis de C nos resultados ICP-MS (Pozebon et al., 2017). Recomenda-se a determinação de C na análise ICP-MS para validação da conclusão do processo de digestão.

Outro fator importante, passa pela garantia que a presença de C não interfira nos resultados da análise. Para tal, recomenda-se a mistura de uma solução aquosa de metanol a 1%, com os padrões internos para amortecer os efeitos da presença do C (Pozebon et al., 2017).

A variabilidade é uma característica a ter em conta com impacto nos resultados obtidos. Esta característica é intrínseca das medições biológicas e de exposição. Diversas fontes de variabilidade biológica e de amostragem e analítica podem influenciar os níveis de biomarcadores e, portanto, levar os fatores de variabilidade em consideração tornará a interpretação dos dados mais fácil. Em bom rigor, na interpretação dos dados obtidos a variabilidade não pode ser desconsiderada, mas sim ser descoberta, analisada e explicada de modo a compreender com mais detalhe os resultados obtidos. Muitas das variáveis que podem afetar os resultados da biomonitorização são realmente úteis para obter

uma melhor indicação da exposição sistêmica, taxas de trabalho e/ou de respiração, taxas de absorção, comportamento pessoal e uso de EPI's. Todos estes fatores contribuem para interromper as correlações esperadas entre a biomonitorização e a monitorização ambiental.

Por último, no que concerne aos resultados obtidos, estes deverão ser alvo de tratamento estatístico inferencial, permitindo, assim, obter-se uma conclusão mais evidente acerca da pertinência e aplicabilidade do uso do cabelo na biomonitorização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, A., Arruda, M., Cabral, S. & Rodrigues, A. (2008). Essential and non-essential trace metals in scalp hair of men chronically exposed to volcanogenic metals in Azores, Portugal, *Environment Internacional*, *34*, 1104-1108.
Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/61437934.pdf>
- Antonini, J. M., Afshari, A., Meighana, T. G., McKinney, W., Mark Jackson, Schwegler-Berry, D., ... Zeidler-Erdelya, P. C. (2017). Aerosol characterization and pulmonary responses in rats after short-term inhalation of fumes generated during resistance spot welding of galvanized steel, *Toxicology Reports*, *4*, 123–133.
doi: 10.1016/j.toxrep.2017.02.004
- Apostoli, P. (2002). Review, Elements in environmental and occupational medicine, *Journal of Chromatography B*, *778*, 63–97.
- Appenzeller, B., Hardy, E., Grova, N., Chata, C., Fays, F., Briand, O., ..., Duca, R. C. (2016). Hair analysis for the biomonitoring of pesticide exposure: comparison with blood and urine in a rat model, *Arch Toxicol*, *91*, 2813–2825.
- Autoridade para as Condições do Trabalho (2016), Guia Geral para o Controlo da Exposição a Agentes Químicos. Disponível em:
https://www.google.com/url?sa=t &rct=j &q= &src=s &source=web &cd= &cad=rja &uact=8 &ved=2ahUKEwj-aOJ3-TvAhXSyYUKHXF7DggQFjAAegQIAxAD &url=http%3A%2F%2Fwww1.ipq.pt%2FPT%2FNormalizacao%2FFerramentasPME%2FDocuments%2FGuia_Quimicos_Web.pdf &usq=AOvWaw0EW6XMP4dxFyN7LLI4MTL
- Baker, M. G., Simpson, B. S., Sheppard, L. (2014). Blood manganese as an exposure biomarker: State of the evidence, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *11*(4), 210–217.
doi: 10.1080/15459624.2013.852280
- Bakri, S. F. Z., Hariri, A. & Ismail, M. (2019). Metal fumes toxicity and its association with lung health problems among welders in automotive industry, *Journal of Physics: Conference Series*, *1150*(1).
doi: 10.1088/1742-6596/1150/1/012001
- Baran, A. & Wiczorek, J. (2013). Concentrations of heavy metals in hair as indicators of environmental pollution, *E3S Web of Conferences*, *1*(21005), 1-2.
doi: 10.1051//20130121005
- CCDR-n – Principais Fontes de Emissão de Poluentes. Disponível em: https://www.ccdr-n.pt/sites/default/files/ficheiros_ccdrn/ambiente/fontes.pdf

- Cherrie, J. W. & Levy, L. (2020). Managing Occupational Exposure to Welding Fume: New Evidence Suggests a More Precautionary Approach is Needed, *Annals of Work Exposures and Health*, 64(1), 1–4.
doi: 10.1093/annweh/wxz079
- Chojnacka, K., Saeid, A., Michalak, I. & Mikulewicz, M. (2012). Effects of Local Industry on Heavy Metals Content in Human Hair, *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6), 1563-1570. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/258564959_Effects_of_Local_Industry_on_Heavy_Metals_Content_in_Human_Hair
- Decreto-Lei n.º 301/2000 (2000). Regula a protecção dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes cancerígenos ou mutagénicos durante o trabalho, Diário da República, Série I-A, 301, 6588 – 6593.
- Decreto-Lei n.º 24/2012 (2012). Consolida as prescrições mínimas em matéria de protecção dos trabalhadores contra os riscos para a segurança e a saúde devido à exposição a agentes químicos no trabalho e transpõe a Directiva n.º 2009/161/UE, da Comissão, de 17 de Dezembro de 2009, Diário da República, Série I, 24, 580-589.
- Decreto-Lei n.º 35/2020 (2020). Alteração da protecção dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição durante o trabalho a agentes cancerígenos ou mutagénicos, transpondo as Diretivas (UE) 2017/2398, 2019/130 e 2019/983, Diário da República, 1ª Série, 134, 3-22.
- Decreto-lei n.º 1/2021 (2021). Transpõe a Diretiva (UE) 2019/1831, que estabelece uma quinta lista de valores-limite de exposição profissional indicativos para os agentes químicos, Diário da República, Série I, 1, 9-13.
- Damastuti, E., Adventini, N., Syahfitri, W.Y.N. & Kurniawati, S. (2017). Assessment of Heavy Metals on Occupationally Exposed Workers from Hair Analysis, *Atom Indonesia*, 43(3), 119-126. Disponível em: <https://ajj.batan.go.id/index.php/ajj/article/view/772>
- Dehghan, S. F. & Mehrifar, Y. (2019). Occupational Exposure to Fumes and Gases during Different Arc Welding Processes, *International Journal of Occupational Hygiene*, 11(2), 136-145. Disponível em: <https://ijoh.tums.ac.ir/index.php/ijoh/article/view/381>
- Direção Geral da Saúde (2018). Guia Técnico n.º 2 - Vigilância da saúde dos trabalhadores expostos a agentes químicos cancerígenos, mutagénicos ou tóxicos para a reprodução. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjDoM2S3eTvAhXKgVwKHa-oCs4QFjAAegQIAxAD>

&url=https%3A%2F%2Fwww.dgs.pt%2Fsaude-ocupacional%2Fpreferenciais-tecnicos-e-normativos%2Fguias-tecnicos%2Fguia-tecnico-n-2-pdf1.aspx
&usg=AOvVaw2vnkHWaselb0yOWYrXG_cz

- Doğan-Sağlamtimur, N. & Kumbur, H. (2010). Metals (Hg, Pb, Cu, and Zn) Bioaccumulation in Sediment, Fish, and Human Scalp Hair: A case study from the city of Mersin along the southern coast of Turkey, *Biological Trace Element Research*, 136(1), 55-70. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-009-8516-5>
- Erdoğan, B. (2017). Anatomy and Physiology of Hair, *Hair and Scalp Disorders*, 13.
doi: org/10.5772/67269
- Esteban, M. & Castaño, A. (2009). Non-invasive matrices in human biomonitoring: A review, *Environment International*, 35(2), 438-449.
- European Reference Materials (2013). The certification of the mass fraction of the total content of As, Cd, Cu, Hg, Pb, Se and Zn in human hair: ERM®- DB001.
- Feisal, N., Hashim, Z., Jalaludin, J. & How, V. (2019). The Determination of Heavy Metals Concentration in Hair by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 9(1). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333308966_The_Determination_of_Heavy_Metals_Concentration_in_Hair_by_Inductively_Coupled_Plasma_Mass_Spectrometry_ICP-MS
- Golbabaie, F. & Khadem, M. (2015). Air Pollution in Welding Processes – Assessment and Control Methods, *Intech*, 33-63.
doi: org/10.5772/59793
- Goullé, J.P., Mahieu, L., Castermant, J. & Neveu, N. (2005). Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair reference values, *Forensic Science International*, 153, 39-44.
- Hassani, H., Golbabaie, F., Shirkhanloo, H. & Tehrani-Doust, M. (2015). Relations of biomarkers of manganese exposure and neuropsychological effects among welders and ferro alloy smelters, *Industrial Health*, 54, 79–86.
- Ishak, I., Rosli, F. D., Mohamed, J. & MohdIsmail, F. M. (2015). Comparison of Digestion Methods for the Determination of Trace Elements and Heavy Metals in Human Hair and Nails, *Malaysian Journal of Medical Sciences: MJMS*, 22(6), 11-20. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5295749/>

- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N. & Mathew, B. B. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals, *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72.
- Jakubowski, M. (2012). Biological monitoring versus air monitoring strategies in assessing environmental–occupational exposure, *Journal of Environmental Monitoring*, 14(2), 348–352.
doi: 10.1039/c1em10706b
- Joshi, M., Dhakal, G. & Shrestha, S. (2020). Occupational Health Problems, Workplace Environment and Utilization of Personal Protective Equipment among Welders of Banepa Municipality, Nepal, *International Journal of Occupational Safety and Health*, 10(2), 100–107. Disponivel em: <https://www.nepjol.info/index.php/IJOSH>
- Khalique, A., Shah, M. H., Jaffar, M. & Shaheen, N. (2006). Scalp hair metal analysis in the assessment of the occupational exposure of arc welders, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 88(4), 697–704. Disponivel em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02772240600883627>
- Lai-Cheong, E. J. & McGrath, J. (2009). Structure and function of skin, hair and nails, *Basic Science*, 223–226. Disponivel em: https://www.academia.edu/14556995/Structure_and_function_of_skin_hair_and_nails
- Li, J. N., Zhang, L. L., Lu, L. & Wu, P. (2004). Occupational Exposure to Welding Fume among Welders: Alterations of Manganese, Iron, Zinc, Copper, and Lead in Body Fluids and the Oxidative Stress Status, *Journal of Occupational Environmental Medicine*, 46(3), 241–248. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4126160/>
- Liang, G., Pan, L. & Liu, X. (2017). Assessement of typical heavy metals in human hair of different age groups and foodstuffs in Beijing, China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 914.
doi: org/10.3390/ijerph14080914
- Laohaudomchok, W., Cavallari, J. M., Fang, F. C. & Lin, X. (2010). Assessment of Occupational Exposure to Manganese and Other Metals in Welding Fumes by Portable X-ray Fluorescence Spectrometer, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 7(8), 456–465.
doi:10.1080/15459624.2010.485262
- Luo, J. C. J., Hsu, K. H. & Shen, W. S. (2006). Pulmonary function abnormalities and airway irritation symptoms of metal fumes exposure on automobile spot welders, *American journal of industrial medicine*, 49(6), 407–416. Disponivel em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ajim.20320>

- Loukzadeh, Z., Sharifian, S. A., Aminian, O. & Shojaoddiny-Ardekani, A. (2009). Pulmonary effects of spot welding in automobile assembly, *Occupational Medicine*, 59(4), 267–269. doi:10.1093/occmed/kqp033
- Manno, M., Viau, C., Cocker, J., Colosio, C., Lowry, L., Mutti, A., ... & Wang, S. (2010). Biomonitoring for occupational health risk assessment (BOHRA), *Toxicology letters*, 192(1), 3-16. doi: 10.1016/j.toxlet.2009.05.001
- Marrugo, D. G., León-Méndez, D., Silva, J. P. & Granados-Conde, C. (2019). Metal fumes: exposure to heavy metals, their relationship with oxidative stress and their effect on health, *Revista Producción + Limpia*, 14(2), 8-20. Disponível em: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext &pid=S1909-04552019000200008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552019000200008)
- Mehra, R. & Juneja, M. (2004). Elements in scalp hair and nails indicating metal body burden in polluted environment, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 64, 119-124.
- Mehrfar, Y., Zeverdegani, S. K., Faraji, M. & Rismanchian, M. (2019). Risk Assessment of Welders Exposure to the Released Contaminated Gases in Different Types of Welding Processes in a Steel Industry, *Journal of Health Scope*, 8(1). doi: 10.5812/jhealthscope.58267
- Nouioui, M. A., Araoud, M., Milliand, M. L., Bessueille-Barbier, F., Amira, D., Ayouni-Derouiche, L. & Hedhili, A. (2018). Evaluation of the status and the relationship between essential and toxic elements in the hair of occupationally exposed workers, *Environmental Monitoring Assessment*, 190. doi: 10.1007/s10661-018-7088-2
- NP EN 689 (2018) – Exposição nos locais de trabalho - Medição da exposição por inalação a agentes químicos – Estratégia para verificar a conformidade com valores-limite de exposição ocupacional, Lisboa: Instituto Português da Qualidade.
- NP 1796 (2014) – Segurança e saúde do trabalho: Valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos, Lisboa: Instituto Português da Qualidade.
- Olmedo, P., Pla, A., Hernández, A.F. & López-Guarnido, O. (2010). Validation of a method to quantify chromium, cadmium, manganese, nickel and lead in human whole blood, urine, saliva and hair samples by electrothermal atomic absorption spectrometry, *Analytica Chimica Acta*, 659, 60-67.

- Persoons, R., Arnoux, D., Monssu, T., Culié, O., Roche, G., Duffaud, B., ..., Maitre, A. (2014). Determinants of occupational exposure to metals by gas metal arc welding and risk management measures: A biomonitoring study, *Toxicology letters*, *231*(2), 135-141.
doi: 10.1016/j.toxlet.2014.09.008
- Peter, O. O., Eneji, I. S. & Sha'Ato, R. (2012). Analysis of Heavy Metals in Human Hair Using Atomic Absorption Spectrometry (AAS), *American Journal of Analytical Chemistry*, *3*, 770-773.
- Popescu, C. & Höcker, H. (2007). Hair - the most sophisticated biological composite material, *Chemical Society Reviews*, *36*, 1282–1291.
- Pozebon, D., Dressler, V. L. & Curtius, A. J. (1999). Análise de cabelo: uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações, *Química Nova*, *22*(6).
- Pozebon, D., Scheffler, G. L. & Dressler, V. L. (2017). Elemental hair analysis: A review of procedures and applications, *Analytica Chimica Acta*, 1-23.
doi: 10.1016/j.aca.2017.09.017
- Quémerais, B., Mino, J., Amin, M. R. & Golshahi, H. (2015). Detailed characterization of welding fumes in personal exposure samples, *Journal of Physics: Conference Series*, *617*(1).
doi:10.1088/1742-6596/617/1/012011
- Rashed, M.N. & Hossam, F. (2007). Heavy metals in fingernails and scalp hair of children, adults and workers from environmentally exposed areas at Aswan, Egypt, *Environmental Bioindicators*, *2*, 131–145.
- Reis, C. L. V. (2009). *Melhoria do processo de soldadura por resistência variante projecção: caso de estudo* (Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro). Disponível em: <https://ria.ua.pt/handle/10773/1743>
- Reiss, B., Simpson, C. D., Baker, M. G. (2015). Hair Manganese as an Exposure Biomarker among Welders, *Annals of Occupational Hygiene*, *60*(2), 139–149.
doi:10.1093/annhyg/mev064
- Riccelli, M. G., Goldoni, M., Poli, D. & Paola Mozzoni (2020). Welding Fumes, a Risk Factor for Lung Diseases, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(2552).
doi: 10.3390/ijerph17072552
- Santos, M. & Almeida, A. (2017). Soldadores: principais Riscos e Fatores de Risco Laborais, Doenças Profissionais associadas e Medidas de Proteção recomendadas, *Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional on line*, *3*, 53-64.
doi: 10.31252/RPSO.19.04.2017

- Scheepers, P. T. J., Heussen, G. A. H., Peer, P. G. M. & Verbist (2008). Characterisation of exposure to total and hexavalent chromium of welders using biological monitoring, *Toxicology Letters*, 178, 185–190.
- Sera, K., Futatsugawa, S. & Murao, S. (2002). Quantitative analysis of untreated hair samples for monitoring human exposure to heavy metals, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: *Beam Interactions with Materials and Atoms*, 189(1), 174-179.
- Shin, W., Jung, M., Ryu, J. & Hwang, J. (2020). Revisited digestion methods for trace element analysis in human hair, *Journal of Analytical Science and Technology*, 11(1).
doi: 10.1186/s40543-019-02006
- Srogi, K. (2004). Heavy metals in human hair samples from Silesia Province: The influence of sex, age and smoking habit, *Problems Forensic Sciences*, LX, 7–27. Disponivel em:
https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/ref/2013/01/e3sconf_ichm13_21005/e3sconf_ichm13_21005.html
- Stanislawska, M., Janasik, B., Kuras, R. & Malachowska, B. (2020). Assessment of occupational exposure to stainless steel welding fumes – A human biomonitoring study, *Toxicology letters*, 329, 47-55.
doi: 10.1016/j.toxlet.2020.04.019
- Teresa, M., Vasconcelos, S. D. & Tavares, H. M. F. (1997). Trace element concentrations in blood and hair of young apprentices of a technical-professional school, *Science of The Total Environment*, 205(2-3), 189-199.
- Usman, M., Naseer, A., Baig, Y. & Jamshaid, T. (2019). Forensic toxicological analysis of hair: a review, *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 9(17).
doi: org/10.1186/s41935-019-0119-5
- Wakim, S. & Grewal, M. (2020). Human Biology, Butte College. Disponivel em:
[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Human_Biology/Book%3A_Human_Biology_\(Wakim_and_Grewal\)/00%3A_Front_Matter/00%3A_Front_Matter](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Human_Biology/Book%3A_Human_Biology_(Wakim_and_Grewal)/00%3A_Front_Matter/00%3A_Front_Matter)
- Woźniak, A., Wawrzyniak, A. & Jeznach-Steinhagen, A. (2019). Hair as a biomarker to evaluate the intake of iron, magnesium and zinc in children, *Journal of Elementology*, 24(2), 727-738.
- Yadav, A. & Agarwal, S. (2020). Occupational health and level of awareness among welders. *Journal of the Social Sciences*, 48(4). Disponivel em:
https://www.researchgate.net/publication/347511839_Occupational_health_and_level_of_awareness_among_welders

Yarmohammadi, H., Hamidvand, E., Diyar, A. & Sohrabi, Y. (2016). Measuring Concentration of Welding Fumes in Respiratory Zones of Welders: An Ergo-Toxicological Approach, *Research Journal of Medical Sciences*, 10(3), 111-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305293602_Measuring_concentration_of_welding_fumes_in_respiratory_zones_of_welders_An_ergo-toxicological_approach

Anexo I - Flyer disponibilizado a todos os trabalhadores das entidades participantes para a apresentação do estudo e recrutamento de participantes



Universidade do Minho

Relação entre a exposição a metais pesados e as tarefas mais frequentes de Soldadores(as) da Indústria Metalomecânica



O meu nome é Vânia Silva e sou aluna do último ano do Mestrado em Engenharia Humana da Universidade do Minho. Para concluir com sucesso o mestrado, necessito do seu apoio para determinar a concentração de metais no organismo de soldadores e de trabalhadores sem atividades em chão de fábrica.

Posso contar consigo?

Consulte todas as informações neste flyer e junto do Técnico SST da empresa.

MEDIDAS DE SEGURANÇA NO DECORRER DA RECOLHA DA MECHA DE CABELO

Considerando a atual pandemia que se vive, serão adotadas regras de segurança e saúde, quer para proteção dos participantes quer para a investigadora e de acordo com o seguinte:

Utilização de Equipamentos de Proteção:

- ✓ Fato de proteção;
- ✓ Luvas de latex;
- ✓ Máscara de proteção;
- ✓ Viseira de proteção;



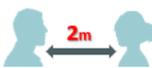
Tempo máximo de contato com a investigadora em sala ventilada:

- ✓ **15 minutos.**



Distância mínima de segurança:

- ✓ **2 metros**, com exceção no momento do corte da mecha.



Desinfecção de todos os objetos e superfícies antes da entrada de cada participante:

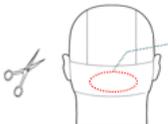
- ✓ **Produto desinfetante** para limpeza de superfícies e objetos;
- ✓ **Álcool gel.**



Procedimento de recolha da mecha de cabelo

- Preenchimento de um breve questionário com o auxílio da investigadora e considerando o seguinte:
 - O questionário é anónimo ou seja não deve colocar o seu nome;
 - Cada participante tem um n.º atribuído pelo Técnico de SST da empresa (a investigadora só identifica o(a) participante pelo n.º);
- Recolha da mecha de cabelo com recurso a tesoura.
- Mecha de cabelo guardada em saco zip com o n.º do(a) participante e enviada para o laboratório.
- Análise em laboratório da mecha e interpretação dos resultados.

Em que zona da cabeça é recolhida a mecha de cabelo?



Zona de recolha de uma mecha com cerca de 0,5 cm de diâmetro, cortada junto ao couro cabeludo.

● Dimensão real da mecha de cabelo a recolher

Sigilo, anonimato e direito à desistência da sua participação no estudo

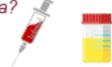
- ✓ Todos os(as) participantes têm assegurada a sua privacidade, sigilo e a confidencialidade de todos os seus dados;
- ✓ Apenas a investigadora tem acesso aos dados dos questionários, sendo os mesmos utilizados apenas no estudo académico;
- ✓ Todos os(as) participantes têm o direito de desistir do estudo em qualquer momento e sem qualquer tipo de justificação;
- ✓ Qualquer participante tem o direito de aceder aos resultados da análise, se assim o desejarem, que será informado pelo Técnico SST da empresa.

Porquê os Soldadores?

A soldadura é dos processos industriais mais importantes, mas pode envolver a exposição a agentes químicos resultantes da inalação de fumos de metais, que se acumulam no organismo e podem desencadear lesões e/ou afeção da saúde.

Porquê o cabelo se pode ser utilizado o sangue ou a urina?

- ✓ A recolha da mecha de cabelo menos indolor e invasiva;
- ✓ Os resultados são melhores e mais precisos;
- ✓ O cabelo pode ser guardado num simples frasco ou saco zip.



Quem pode participar?

Todas as pessoas que reúnam as seguintes condições:

- ✓ Executem tarefas de soldadura;
- ✓ Executem tarefas fora (ou praticamente fora) do chão de fábrica;
- ✓ Não sofram de calvície (ou alopecia) ou não tenham o cabelo rapado;
- ✓ Tenham cabelos sem tratamento de estética, como pintura, madeixas, ondulação, alisamento, etc.

Vantagens em participar no estudo

- ✓ Está a fazer parte de um projeto de investigação que contribui para a prevenção de doenças no trabalho;
- ✓ Está a fazer parte de um estudo que permite obter um indicador do seu estado de saúde;
- ✓ Está a ajudar a Ciência.

Uma mecha pela ciência!

Anexo II - Composição química das matérias-primas utilizadas na entidade 1

As composições químicas abaixo apresentadas correspondem aos valores indicados nas fichas técnicas e/ou certificados de qualidade das matérias-primas utilizadas no momento de recolha das amostras de cabelo.

Tabela 27 - Composição química do aço GMW 3032, de acordo com o certificado de matéria-prima.

Designação do aço	C	Si	Mn	P	S	Cr	N
	%	%	%	%	%	%	%
GMW 3032	0,053	0,01	0,362	0,011	0,008	0,028	0,004
	Cu	Al	Ni	Nb	Mo	Ti	-
	%	%	%	%	%	%	
	0,02	0,04	0,02	0,016	0,003	0,001	-

Tabela 28 - Composição química do aço GMW 2, de acordo com o certificado de matéria-prima.

Designação do aço	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
	%	%	%	%	%	%	%
GMW 2	0,039	0,01	0,258	0,01	0,009	0,03	0,001

Nota: este material apresenta revestimento de galvanização de 50/50 gr/m².

Tabela 29 - Composição química do aço H320LA AM O, de acordo com o certificado de matéria-prima.

Designação do aço	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb
	%	%	%	%	%	%	%
H320LA AM O	0,09	0,01	0,1	0,015	0,004	0,032	0,001

Tabela 30 - Composição química dos aços HC360 LA AM O, de acordo com o certificado de matéria-prima.

Designação do aço	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni
	%	%	%	%	%	%	%
HC360 LA AM O	0,066	0,019	0,552	0,010	0,008	0,033	0,020
	Nb	V	Cr	Cu	N	Mo	Ti
	%	%	%	%	%	%	%
	0,042	0,003	0,028	0,022	0,006	0,003	0,150

Tabela 31 - Composição química do aço STW 22, de acordo com o certificado de matéria-prima.

Designação do aço	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Ni %
STW 22	0,069	0,011	0,209	0,008	0,006	0,033	0,014
	Nb %	Cr %	Cu %	N %	Mo %	Ti %	-
	0,002	0,021	0,011	0,003	0,001	0,001	-

Tabela 32 - Composição química do aço CR590T/340Y DP, de acordo com o certificado de matéria-prima.

Designação do aço	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %
CR590T/ 340Y DP	0,083	0,30	1,537	0,012	0,003	0,036
	Ni %	Cr %	Cu %	N %	Mo %	Ti %
	0,015	0,347	0,009	0,007	0,002	0,002

Tabela 33 - Composição química do aço HCT590X, de acordo com o certificado de matéria-prima.

Designação do aço	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Al %	Cu %	N %	Ti %
HCT590X	0,08	1,47	0,018	0,002	0,262	0,029	0,014	0,004	0,002

Tabela 34 - Composição químicas dos elétrodos usados no processo de soldadura MIG com gás de proteção à base de mistura de Ar e CO₂, de acordo com a ficha técnica do produto.

Designação do eletrodo	C %	Mn %	Si %	Cr %	P %	S %
UltraMag	0,068	1,62	0,91	0,02	0,009	0,012
	Ni %	Mo %	Cu %	V %	Al %	Ti + Zr %
	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02

Tabela 35 - Composição química dos eletrodos utilizados no processo de soldadura por resistência, de acordo com a ficha técnica do produto.

Designação do eletrodo	Cr %	Zr %	Outros elementos %	Cu %
AMPCOLOY 972	1	0,1	≤ 0,2	Restante percentagem

Tabela 36 - Composição química dos eletrodos UltraMag utilizados na soldadura MIG com gás de proteção à base de mistura de Ar e CO₂, de acordo com a ficha técnica do produto.

Designação do eletrodo	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
UltraMag	0,068	0,91	1,62	0,009	0,012	0,02
	Ni %	Mo %	Cu %	V %	Al %	Ti + Zr %
	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02

Tabela 37 - Composição química dos terminais de soldadura utilizados na soldadura por pontos, de acordo com a ficha técnica do produto.

Designação dos terminais	Be %	Co + Ni %	Outros elementos %	Cu %
AMPCOLOY 95	0,5	0,2	≤ 0,5	Restante percentagem

Anexo III - Composição química das matérias-primas utilizadas na entidade 2

A entidade 2 disponibilizou os valores normalizados das matérias-primas utilizadas nos seus processos de fabrico, encontrando-se essa informação nas tabelas abaixo:

Tabela 38 - Composição química do aço S355J2H (matéria-prima de base), de acordo com a norma EN 10219-1, utilizado na soldadura MAG com gás de proteção de CO₂ + Ar e na soldadura por arco elétrico manual.

Designação do aço	C % máx.	Si % máx.	Mn % máx.	P % máx.	S % máx.
S355J2H	0,22	0,55	1,6	0,03	0,03

Tabela 39 - Composição química da liga de alumínio 1050 H24, de acordo com a norma EN 573, utilizada na soldadura MIG com gás de proteção de CO₂ + Ar.

Designação do aço	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ti %	Outros %	Al %
1050 H24	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,03	99,5

Tabela 40 - Composição química do material de adição utilizado na soldadura MIG, de acordo com a norma EN ISO 18273:S AL 4043.

	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Be %	Ti %	Outros %	Outros total %
min.	4,5	< 0,3	< 0,3	< 0,15	< 0,2	< 0,1	<	< 0,15	< 0,05	< 0,15
máx.	5,5						0,0003			

Tabela 41 - Composição química dos eléctrodos utilizados na soldadura por arco elétrico manual, de acordo com a norma ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5.

C %	Si %	Mn %	P %	S %
0,07	0,59	1,31	≤ 0,02	≤ 0,02

Anexo IV - Composição química das matérias-primas utilizadas na entidade 3

As composições químicas abaixo apresentadas correspondem aos valores indicados nas fichas técnicas e/ou certificados de qualidade das matérias-primas utilizadas nos processos de fabrico da entidade 3, no momento de recolha das amostras de cabelo.

Tabela 42 - Composição química do aço S275JR+M, de acordo com as fichas técnicas dos aços, utilizados na soldadura MAG com gás de proteção de CO₂ + Ar.

Designação do aço	C %	Cu %	Mn %	P %	S %	Si %	N %	V %	Cr %	Ni %	Mo %	Al %	Sn %	Ti %
Material 1	0,07	0,42	0,62	0,017	0,017	0,19	0,009	0,003	0,19	0,18	0,038	-	-	-
Material 2	0,08	0,32	0,6	0,014	0,018	0,18	0,01	0,002	0,12	0,16	0,039	-	-	-
Material 3	0,17	0,507	0,63	0,023	0,006	0,19	0,01	0,001	0,123	0,139	0,027	0,007	0,027	-
Material 4	0,11	0,37	0,52	0,017	0,034	0,15	0,009	-	0,015	0,14	-	0,002	-	0,001

* percentagens máximas

Tabela 43 - Composição química do material de adição, de acordo com a ficha de produto, utilizado na soldadura MAG da entidade 3.

Designação do material de adição	C %	Mn %	P %	Si %	S %	Cu %	Ni %	Cr %	Mo %	Ni+Cr+V+Mo %
MX-A100	0,05	1,69	0,011	0,88	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,06

Anexo V - Questionário disponibilizado aos participantes dos Grupos de Controlo (C1, C2, C3)

GRUPO DE CONTROLO

QUESTIONÁRIO N° _____

Título do Projeto: Relação entre a exposição a metais pesados e as tarefas mais frequentes de Soldadores(as) da Indústria Metalomecânica.

Investigador envolvido: Vânia Filipa Fernandes da Silva

Contatos: pg28468@alunos.uminho.pt

1. Género

1.1. Por favor assinale com X a resposta correta:

Masculino Feminino

2. Idade

2.1. Por favor indique a sua idade: _____ anos

3. Tratamentos de estética capilar

3.1. Indique a frequência com que lava o seu cabelo: _____

3.2. Realizou algum tratamento capilar de estética (pintura, madeixas, alisamentos, etc.)?

Não Sim

3.3. Se respondeu **NÃO** por favor avance para a questão n° 4.

Se respondeu **SIM**, por favor indique:

3.3.1. Há quanto tempo aplicou o último tratamento? _____

4. Histórico Profissional e Caracterização do Posto de Trabalho

Pretende-se saber se as suas funções são restritas à área administrativa ou se é necessário deslocar-se à área fabril, quais os setores visitados e a duração da visita.

Há quanto tempo trabalha na atual entidade patronal? _____(anos)

4.1. Atualmente, quantas horas do seu dia de trabalho, tem necessidade de se deslocar à área fabril? _____

4.2. Utiliza algum Equipamento de Proteção Individual quando faz visitas à área fabril? Qual(ais)? _____

4.3. Em atividades profissionais anteriores, alguma vez desempenhou funções de soldador(a)? Se respondeu **NÃO**, por favor avance para a questão nº 5.

4.4. Por favor indique:

Empresa 1 (indicar o sector apenas): _____

Período: _____(ano) e _____(ano) Função: _____

Ventilação Industrial existente?

Não Sim Não sei

EPI 's utilizados: _____

Tipo de soldadura executada: _____

Matéria-prima de base (aço de construção, aço inox, alumínio, etc.)

5. Hábitos Alimentares

Pretende-se conhecer os seus hábitos alimentares uma vez que os metais estão presentes no nosso dia a dia, quer na água quer na comida que ingerimos e até no próprio ar que respiramos. Por esta razão, a concentração de metais pesados no nosso organismo pode ser influenciada pelos nossos hábitos alimentares.

5.1. A água que bebe diariamente é proveniente de:

Rede de Abastecimento Público Furo/poço próprio Água Engarrafada
(Água da companhia)

5.2. Costuma ingerir bebidas alcoólicas (por exemplo: vinho tinto maduro ou verde, cerveja, aguardente, etc., ...)?

Não Sim

6. Hábitos Tabágicos

6.1. É fumador(a)?

Não Sim

7. Medicação, suplementos alimentares, etc

7.1. Consome algum tipo de medicação ou suplemento alimentar?

Não Sim

7.1.1. Se respondeu SIM por favor indique:

7.1.1.1. Qual a medicação/suplemento alimentar que consome: _____

8. Distrito de habitação

Distância do local de trabalho à sua casa: _____ Km

Anexo VI - Questionário disponibilizado aos participantes dos Grupos de Exposição (E1, E2, E3)

GRUPO DE EXPOSIÇÃO

QUESTIONÁRIO N° _____

Título do Projeto: Relação entre a exposição a metais pesados e as tarefas mais frequentes de Soldadores(as) da Indústria Metalomecânica

Investigador envolvido: Vânia Filipa Fernandes da Silva

Contatos: pg28468@alunos.uminho.pt

1. Género

1.1. Por favor assinale com X a resposta correta:

Masculino Feminino

2. Idade

2.1. Por favor indique a sua idade: _____ anos

3. Tratamentos de estética capilar

3.1. Indique a frequência com que lava o seu cabelo: _____

3.2. Realizou algum tratamento capilar de estética (pintura, madeixas, alisamentos, etc.)?

Não Sim

3.3. Se respondeu **NÃO** por favor avance para a questão nº 4.

Se respondeu **SIM**, por favor indique:

3.3.1. Há quanto tempo aplicou o último tratamento? _____

4. Histórico Profissional e Caracterização do Posto de Trabalho

Pretende-se saber o período de tempo que trabalha como Soldador(a), incluindo o tempo de trabalho em empresas anteriores em que possa ter trabalhado com essa função.

4.1. Há quanto tempo trabalha na atual entidade patronal? _____(anos)

4.2. Atualmente, quantas horas do seu dia de trabalho executa tarefas de soldadura?

4.3. Qual(ais) o(s) tipo(s) de soldadura que executa no seu trabalho? _____

4.4. Qual o tipo de máscara utiliza durante a execução das tarefas de soldadura?

Máscara de Soldadura

Máscara de proteção respiratória

4.5. Indique o tempo, a função e o sector da(s) empresa(s) que trabalhou no passado, onde tenha desempenhado funções semelhantes à atual. Se **NÃO** trabalhou em outras entidades patronais como soldador(a), por avance para a questão n.º 5.

Empresa 1 (indicar o sector apenas): _____

Período: _____(ano) e _____(ano) Função: _____

Ventilação Industrial existente?

Não Sim Não sei

EPI 's utilizados: _____

Tipo de soldadura executada: _____

Matéria-prima de base (aço de construção, aço inox, alumínio, etc.)

Empresa 2 (indicar o sector apenas): _____

Período: _____(ano) e _____(ano) Função: _____

Ventilação Industrial existente?

Não Sim Não sei

EPI´s utilizados: _____

Tipo de soldadura executada: _____

Matéria-prima de base (aço de construção, aço inox, alumínio, etc.) _____

Empresa 3 (indicar o sector apenas): _____

Período: _____(ano) e _____(ano) Função: _____

Ventilação Industrial existente?

Não Sim Não sei

EPI´s utilizados: _____

Tipo de soldadura executada: _____

Matéria-prima de base (aço de construção, aço inox, alumínio, etc.) _____

5. Hábitos Alimentares

Pretende-se conhecer os seus hábitos alimentares uma vez que os metais estão presentes no nosso dia a dia, quer na água quer na comida que ingerimos e até no próprio ar que respiramos. Por esta razão, a concentração de metais pesados no nosso organismo pode ser influenciada pelos nossos hábitos alimentares.

5.1. A água que bebe diariamente é proveniente de:

Rede de Abastecimento Público Furo/poço próprio Água Engarrafada
(Água da companhia)

5.2. Costuma ingerir bebidas alcoólicas (por exemplo: vinho tinto maduro ou verde, cerveja, aguardente, etc., ...)?

Não Sim

6. Hábitos Tabágicos

6.1. É fumador(a)?

Não Sim

7. Medicação, suplementos alimentares, etc

7.1. Consome algum tipo de medicação ou suplemento alimentar?

Não

Sim

7.1.1. Se respondeu SIM por favor indique:

7.1.1.1. Qual a medicação/suplemento alimentar que consome: _____

8. Distrito de habitação

Distância do local de trabalho à sua casa: _____ Km

Anexo VII - Massa das soluções de lavagem das amostras

Tabela 44 - Massa de cada uma das amostras de cabelo e da solução de lavagem, dos grupos de exposição E1 e de controlo C1.

Referência da amostra	Massa da amostra de cabelo (g)	Massa da solução (g)	Observações
E1.1	0,0617	16,1993	-
E1.2	0,0777	16,5858	-
E1.3	0,1909	43,0889	-
E1.4	0,3673	85,7683	-
E1.5	0,0824	20,2349	-
E1.6	0,2281	53,8455	-
E1.7	-	-	Amostra desconsiderada. Massa insuficiente.
E1.8	0,2560	56,6726	-
E1.9	0,1166	25,3329	-
E1.10	0,0770	18,9678	-
E1.11	0,2581	59,8327	-
E1.12	0,0616	13,6495	-
E1.13	0,2603	59,1480	-
E1.14	0,0787	17,7961	-
E1.15	-	-	Amostra desconsiderada. Pouca massa.
E1.16	0,2142	50,7448	-
E1.17	0,3104	72,7565	-
E1.18	0,1952	42,2891	-
E1.19	0,0831	21,7700	-
E1.20	0,1003	23,2571	-
E1.21	0,1621	0,4169	-
E1.22	0,0328	9,1923	-
E1.23	0,1818	42,4025	-
E1.24	0,0856	20,0695	-
E1.25	0,1043	24,0033	-
E1.26	0,1002	22,5509	-
E1.27	0,1594	36,9451	-
E 1.28	0,3797	86,3108	-
E1.29	0,0952	21,9271	-
E1.30	0,1302	29,9028	-
E1.31	0,1211	27,7840	-
E1.32	0,2372	53,7720	-
E1.33	0,0754	17,5442	-
E1.34	0,0362	8,4521	-
C1.1	0,8387	-	Amostra dividida em duas réplicas.

Referência da amostra	Massa da amostra de cabelo (g)	Massa da solução (g)	Observações
C1.1 R1	0,5365	113,3624	-
C1.1 R2	0,2943	68,9306	-
C1.2	0,2371	54,9852	-
C1.3	0,3257	74,4351	-
C1.4	0,0551	12,6102	-
C1.5	0,1212	28,0726	-
C1.6	0,1881	43,6665	-
C1.7	0,9297	-	Amostra dividida em duas réplicas.
C1.7 R1	0,5147	112,3251	-
C1.7 R2	0,4093	93,5174	-
C1.8	0,7618	-	Amostra dividida em duas réplicas.
C1.8 R1	0,3748	86,6487	-
C1.8 R2	0,3819	87,1638	-
C1.9	0,1554	36,7754	-

Tabela 45 - Massa de cada uma das amostras de cabelo e da solução de lavagem, dos grupos de exposição E2 e de controlo C2.

Referência da amostra	Massa da amostra de cabelo (g)	Massa da solução (g)	Observações
E2.1	0,1518	35,3047	-
E2.2	0,0257	6,1254	-
E2.4	0,0187	4,5120	Retirado de diferentes pontos da cabeça.
E2.5	0,0877	20,3552	Retirado do topo da cabeça. Cabelo do participante não tinha comprimento suficiente.
E2.6	0,0335	7,9941	-
E2.7	0,1925	44,3733	-
E2.8	0,4111	94,5497	-
E2.9	0,0447	11,1102	-
E2.10	0,0595	13,8859	-
E2.11	0,0287	6,6234	-
E2.12	0,1218	28,1217	-
E2.13	0,0602	13,7412	-
E2.14	0,0226	5,3996	-
E2.15	0,0181	4,3268	-
E2.16	0,1113	26,7563	-
E2.17	0,1646	38,1461	-
E2.18	0,1789	41,5123	-

Referência da amostra	Massa da amostra de cabelo (g)	Massa da solução (g)	Observações
E2.19	0,0837	19,3145	Retirado do topo da cabeça. Cabelo do participante não tinha comprimento suficiente.
E2.20	0,0445	10,5697	-
E2.21	0,0592	13,6314	-
E2.22	0,0851	19,4182	-
C2.1	0,0867	20,1571	-
C2.2	0,1841	42,0451	-
C2.3	0,0778	18,2657	-
C2.4	0,0520	12,7335	-
C2.5	0,1088	24,8772	-
C2.6	0,0424	9,9211	-
C2.7	0,1727	40,0707	-
C2.8	0,1040	24,1236	-
C2.9	0,0585	13,6941	-
C2.10	0,0366	8,6413	-
C2.11	0,2645	60,0577	-

Tabela 46 - Massa de cada uma das amostras de cabelo e da solução de lavagem, dos grupos de exposição E3 e de controlo C3.

Referência da amostra	Massa da amostra de cabelo (g)	Massa da solução (g)	Observações
E31	0,0541	15,4677	-
E32	0,1384	31,6821	-
E33	0,0284	10,7329	-
C31	0,2303	70,9603	-
C32	0,4239	100,1747	-

Anexo VIII - Concentração dos biomarcadores nos grupos de exposição (E1, E2, E3) e de controlo (C1, C2, C3), de acordo com a faixa etária.

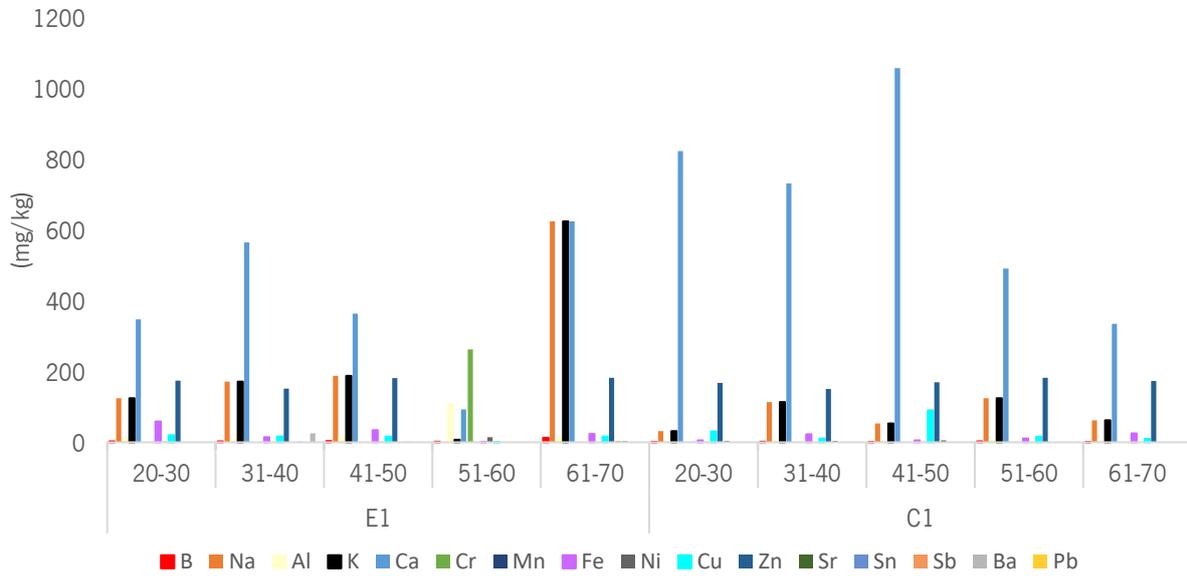


Gráfico 1 - Concentração dos biomarcadores nos grupos de exposição E1 e de controlo C1, de acordo com a faixa etária.

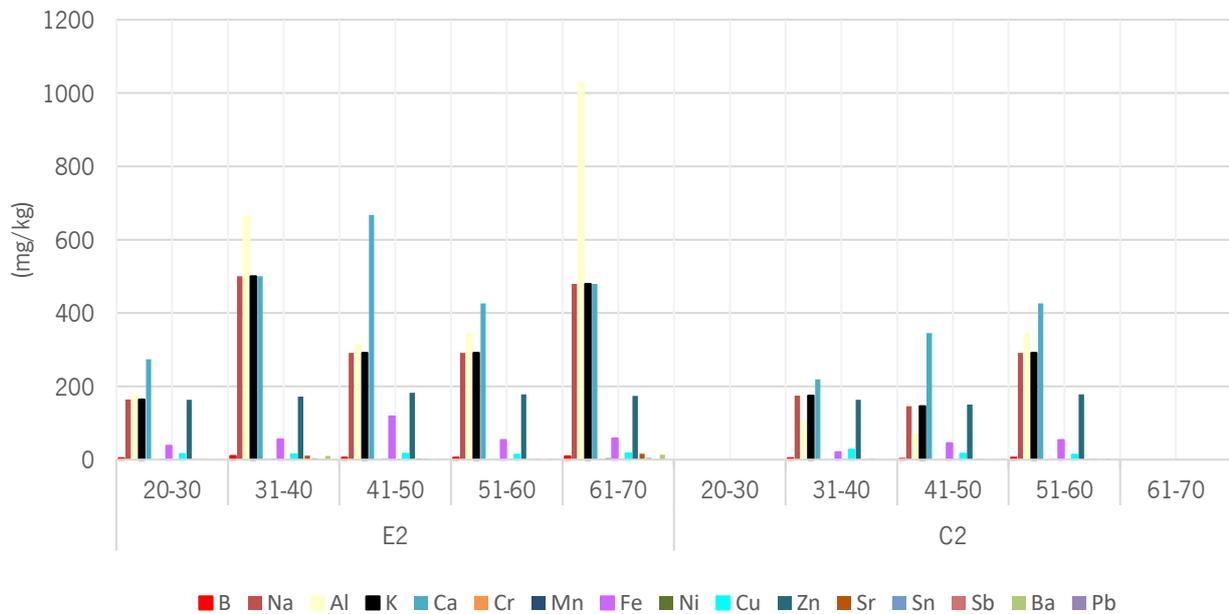


Gráfico 2 - Concentração dos biomarcadores nos grupos de exposição E2 e de controlo C2, de acordo com a faixa etária.

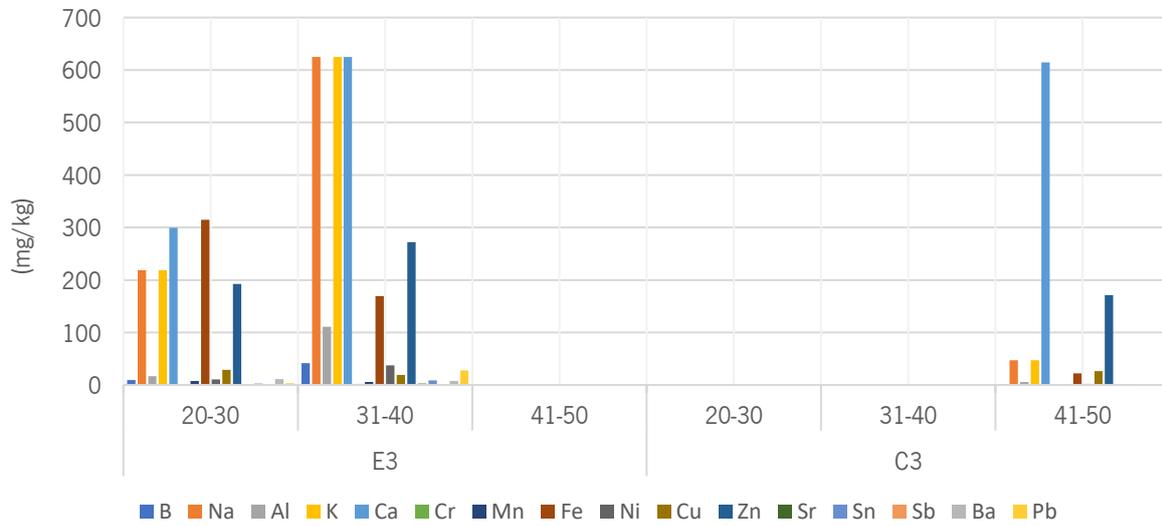


Gráfico 3 - Concentração dos biomarcadores nos grupos de exposição E3 e de controlo C3, de acordo com a faixa etária.