



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

**EXPOSIÇÃO A FUMOS DE SOLDADURAS: QUAIS OS
FACTORES DE RISCO?**

JORGE MANUEL RAMOS DE ALMEIDA

PROF. DOUTOR JOÃO FERNANDO PEREIRA GOMES – PROF. COORDENADOR
COM AGREGAÇÃO DO INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho

Lisboa, 2013

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

**EXPOSIÇÃO A FUMOS DE SOLDADURAS: QUAIS OS
FACTORES DE RISCO?**

JORGE MANUEL RAMOS DE ALMEIDA

PROF. DOUTOR JOÃO FERNANDO PEREIRA GOMES - PROF. COORDENADOR
COM AGREGAÇÃO DO INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

JÚRI

Prof. Doutor Florentino Manuel dos Santos Serranheira - Prof. Auxiliar da
Escola Nacional de Saúde Pública

Prof.^a Doutora Susana Patrícia Costa Viegas - Prof.^a Adjunta da Escola
Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho

Lisboa, 2013

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho foi possível graças a um conjunto significativo de contributos que muito o enriqueceram. A todos os que, directa ou indirectamente, contribuíram para o seu desenvolvimento expresso os meus sinceros agradecimentos.

Um agradecimento, muito particular, ao Professor João Gomes pela orientação ao longo de todo este percurso.

Um agradecimento também especial aos Dirigentes do Departamento, às Chefias Intermédias e aos Colaboradores da serralharia civil pela sua disponibilidade e colaboração.

Resumo

A soldadura tem por finalidade fazer a junção de metais, o que é geralmente feito por fusão a elevadas temperaturas, e durante este processo são libertadas misturas de fumos e gases que constituem uma preocupação permanente de todos os intervenientes, aos mais diversos níveis, desde a fase de projecto e concepção até à execução da actividade.

Os fumos de soldadura constituem uma área de conhecimento muito abrangente e este trabalho pretende abordar esta temática numa perspectiva de estabelecer uma relação entre os processos de soldadura mais utilizados e a geração de fumos associados aos mesmos, assim como, caracterizar alguns dos elementos libertados e indicar os mecanismos de controlo e redução de fumos.

É também objectivo deste trabalho desenvolver um estudo de caso na serralharia civil de uma câmara municipal onde a soldadura constitui uma actividade executada regularmente. Este estudo pretende efectuar uma caracterização e avaliação das condições de realização da actividade de soldadura e estabelecer uma relação com os fumos e gases libertados, bem como, propor algumas sugestões e recomendações com a finalidade de melhoria das condições de trabalho, naquele local.

Do referido estudo de caso pode concluir-se que os trabalhadores da serralharia civil estão expostos a diversos elementos constituintes dos fumos de soldadura cujas concentrações terão sofrido um incremento nos últimos anos. Verificou-se que seria conveniente a organização apostar na formação e sensibilização dos trabalhadores para a utilização adequada dos equipamentos de protecção.

Existe, também, a necessidade de se desenvolver um estudo da qualidade do ar que venha a reflectir as alterações das condições verificadas no sector da serralharia civil.

Palavras-chave: soldadura; fumos de soldadura; MIG/MAG; TIG; oxi-acetilénica.

Abstract

Welding is made to guarantee the joining of metals, which is often done by fusion of metals at high temperatures. During this process, a mixture of gases and fumes is released, which concerns stakeholders at various levels: from the project phase and conception to the execution of the activity itself.

Since the theme of welding fumes is a wide area of knowledge, this thesis aims to address this topic in order to establish a relationship between the welding processes commonly used and the fumes generated. This thesis also intends to characterize some of the pollutant species that are released during the welding processes and, also, to indicate some techniques to control and reduce fumes formation.

A case study was also developed in the maintenance metalwork's of a Civil Town Hall, where welding is an activity frequently performed. Therefore, an assessment and characterization of the conditions for the welding process, taking place there, was conducted, in order to establish a relationship with the fumes and gases released and to propose suggestions and recommendations to improve working conditions in the site studied.

From the mentioned case study one can conclude that the workers of metalwork are exposed various constituents of welding fume whose concentrations have been increasing in recent years. Organization should focus on training and sensitization of workers for the proper use of protective equipment.

There is also a need to develop a study of air's quality that may reflect the changes of the conditions in the field of metalworking industry.

Keywords: welding; welding fume formation; MIG/MAG; TIG; oxy-acetylene.

Índice

Introdução	1
1 Processos de soldadura	3
1.1 Soldadura por arco eléctrico	4
1.1.1 Soldadura TIG.....	4
1.1.1.1 Corrente Pulsada	6
1.1.1.2 Gases de Protecção	7
1.1.2 Soldadura MIG/MAG.....	8
1.1.2.1 Processo de transferência do metal	8
1.1.2.2 Classificação dos modos de transferência	10
1.1.2.3 Características dos gases de protecção e suas influências	15
1.2 Soldadura oxi-acetilénica	18
2 Fumos de Soldadura	21
2.1 Mecanismos de geração de fumos	21
2.2 Elementos constituintes dos fumos de soldadura	27
2.3 Ciclo toxicológico de alguns elementos	30
2.4 Potenciais consequências no organismo	40
2.5 Interação entre substâncias químicas.....	42
2.6 Redução e controlo da emissão de fumos.....	43
3 Estudo de caso nas oficinas de uma Câmara Municipal	49
3.1 Questão de partida.....	49
3.2 Pertinência/Relevância do estudo.....	49
3.3 Objectivos.....	49
3.3.1 Geral	49
3.3.2 Específicos.....	49
3.4 Questões de investigação	50
3.5 Metodologia.....	50
3.5.1 Caracterização da Organização.....	51
3.5.2 Caracterização do local de estudo.....	51
3.5.3 Caracterização das actividades	52
3.5.4 Caracterização dos equipamentos.....	52
3.5.5 Caracterização dos consumíveis e materiais de base.....	53
3.5.5.1 Consumíveis	53
3.5.5.2 Materiais base.....	57
3.5.6 Composição dos fumos de soldadura.....	57

3.5.6.1	Partículas	58
3.5.6.2	Gases.....	58
3.6	Estudo da qualidade do ar realizado em 2003.....	58
3.6.1	Resultados obtidos.....	59
3.6.2	Bases da avaliação	59
3.6.3	Avaliação.....	59
4	Discussão.....	61
5	Recomendações	65
6	Conclusão	67
7	Bibliografia.....	69

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Fumos metálicos em percentagem de massa (Keane et al., 2010)	28
Tabela 2.2 – fumos metálicos no processo de soldadura GTAW (Nicácio, 2009)	29
Tabela 2.3 – Emissão de gases no processo de soldadura oxi-acetilénica (Amza et al., 2010) 29	
Tabela 2.4 – Hierarquia dos princípios gerais da prevenção (Roxo, 2009).....	43
Tabela 3.1 – Características do equipamento MIG/MAG	52
Tabela 3.2 – Características do equipamento para soldadura manual por arco-eléctrico	53
Tabela 3.3 – Classificação dos eléctrodos EXX18 para aços carbono (Fortes, 2005).....	54
Tabela 3.4 – Requisitos químicos para o eléctrodo E7018 para aços carbono (Fortes, 2005)..	54
Tabela 3.5 - Classificação dos eléctrodos EXX13 para aços carbono (Fortes, 2005)	55
Tabela 3.6 – Elementos químicos depositados pelo eléctrodo E6013 para aços carbono (ESAB, 2011)	55
Tabela 3.7 - Elementos químicos depositados pelo eléctrodo E312-17 para aços inox (ESAB, 2011)	56
Tabela 3.8 - Elementos químicos depositados pelo fio ER70S-6 para aços não ligados (ESAB, 2011)	56
Tabela 3.9 - Elementos químicos depositados pelo fio ER308LSi para aços inox (ESAB, 2011)	56
Tabela 3.10 – Elementos químicos depositados nos processos de soldadura (ESAB, 2011; UTP, 2006)	58
Tabela 3.11 – Concentração dos poluentes resultantes do estudo da qualidade do ar.....	59

Índice de figuras

Figura 1.1 – Desenvolvimento dos processos de soldadura (Santos e Quintino, 1993).....	3
Figura 1.2 - Forma de onda em corrente pulsada (Yousefieh et al., 2011)	6
Figura 1.3 - Comprimento do arco eléctrico estável com fonte de alimentação com voltagem constante (GMAW, 2006).....	11
Figura 1.4 – Transferência curto-circuito (GMAW) (Scotti et al., 2012).....	13
Figura 1.5 – Gráfico característico da soldadura por corrente pulsada	14
Figura 1.6 – Onda de corrente ideal para transferência de curto-circuito (Santos e Quintino, 1993)	15
Figura 1.7 – Distribuição espacial da temperatura da chama de acetileno e propano (Santos e Quintino, 1998).....	18
Figura 1.8 – Zonas da Chama oxi-acetilénica.....	20
Figura 2.1 – Salpicos resultantes da instabilidade do arco eléctrico (Rosado, 2008)	23
Figura 2.2 – Mecanismo de formação de fumos. Adaptado de (Quimby, 1997)	23
Figura 2.3 – Variação da TFF com Ar e 2% de O ₂ (Jenkins et al., 2005a)	25
Figura 2.4 – Variação da Taxa de Formação de fumos com a corrente e misturas de gases ...	26
Figura 2.5 - Partículas e gases contidos em fumos de soldadura (Gomes, 1992).....	27
Figura 2.6 - Tocha com sistema de extracção de fumos integrado (Yapp et al., 2001)	46

Introdução

O sector da soldadura engloba, em todo o mundo, um volume de negócio avultado e é considerado essencial para a indústria metalomecânica. Associados a este sector encontram-se alguns milhões de trabalhadores ligados, directamente, à realização da actividade de soldadura e conseqüentemente expostos aos riscos associados a esta actividade (Berlinger et al., 2008).

A execução desta actividade envolve a fusão de metais a altas temperaturas tendo como resultado a geração de misturas complexas, de fumos e gases, formados pela vaporização e oxidação dos metais durante o processo de soldadura (Berlinger et al., 2008).

A gravidade, duração e frequência dos problemas respiratórios têm uma maior incidência nos trabalhadores que executam trabalhos de soldadura comparativamente com a população em geral (McNeilly et al., 2004).

Geralmente, o ponto de partida para a escolha de um determinado processo de soldadura é a avaliação da relação entre a qualidade requerida e o custo de produção. Por isso, a primeira escolha recai, normalmente, sobre os processos de alta produtividade (Lucas e Carter, 1999). No entanto, outros factores devem ser levados em conta, como a emissão de resíduos e o risco para a saúde do trabalhador.

Muito do desconforto e patologia “ligada” ao trabalho são resultado de reconhecidos factores de risco para os quais possuímos o indispensável conhecimento sobre os métodos de prevenção mais adequados (Gardener e Taylor, 1975).

A adaptação dos processos produtivos aos seres humanos na diversidade e multiplicidade das suas necessidades é um objectivo que está longe de ter perdido a sua urgência (Duclos, 1984).

As substâncias tóxicas libertadas pelos materiais base e os consumíveis durante um processo de soldadura ou corte térmico são constituídos por um conjunto de metais ou compostos metálicos como o crómio, manganês, vanádio, níquel, cobalto, berílio, cobre, chumbo, cádmio e prata (Gomes, 1992).

O presente projecto de mestrado tem por objectivo desenvolver um estudo exploratório descritivo (Fortin, 1999b) direccionado para a actividade desenvolvida na serralharia civil de uma câmara municipal onde a realização dos processos de soldadura

corresponde à actividade desenvolvida com maior frequência a par de outras como o corte e desempanagem de peças metálicas.

O referido estudo incidiu a sua abordagem sobre os processos de soldadura desenvolvidos, materiais de base, consumíveis utilizados e os fumos de soldadura resultantes da actividade para os quais a entidade deverá encontrar soluções de prevenção e protecção.

A estrutura deste projecto está dividida em duas partes distintas mas complementares. A primeira corresponde a uma explanação de conceitos gerais relacionados com os processos de soldadura mais utilizados, na indústria deste sector, e a uma abordagem relativa aos fumos de soldadura nomeadamente, aos mecanismos responsáveis pela sua geração, às suas consequências no organismo, aos elementos constituintes destas misturas complexas, ao ciclo toxicológico de alguns elementos e aos processos de redução e controlo que deverão ser adoptados. A segunda parte é inteiramente direccionada para o estudo de caso relacionado com a actividade de soldadura realizada nas oficinas de uma câmara municipal. Este estudo tem como objectivo executar um levantamento e avaliar as características dos equipamentos utilizados, quer na actividade de soldadura quer na ventilação e extracção de fumos, Identificar os materiais de base e os consumíveis mais utilizados, descrever os fumos e gases gerados durante a actividade e indicar um conjunto de sugestões e recomendações para que, numa segunda fase, a entidade possa desenvolver um projecto de melhoria dos processos e das condições em que os mesmos são realizados.

1 Processos de soldadura

Os processos de soldadura foram-se desenvolvendo ao longo do tempo sempre numa perspectiva de procura de novas soluções onde a qualidade, a produtividade e a segurança constituíram as principais premissas que estiveram na base da investigação nesta área.

A evolução histórica dos processos de soldadura dá uma perspectiva interessante da procura de novas soluções com base na evolução dos equipamentos, das técnicas e dos consumíveis utilizados, sempre numa óptica de melhoria contínua dos processos.

A partir do século XIX o processo de fusão utilizado pelo ferreiro através da concentração de calor, na zona a ligar, deu lugar a processos de soldadura mais eficazes e tecnologicamente mais evoluídos onde o arco eléctrico foi pioneiro e deu origem a uma evolução de consumíveis com características diversificadas. A utilização inicial do eléctrodo de carvão substituído pelo fio metálico, a inclusão dos revestimentos nos eléctrodos com o objectivo de melhorar o processo e dar uma protecção adicional contra a reacção da atmosfera, a protecção do arco eléctrico da contaminação atmosférica utilizando um gás inerte ou mistura de gases e a automatização do processo utilizando alimentadores de fio contínuo, são reveladores do desenvolvimento que os processos de soldadura tiveram ao longo do tempo (Santos e Quintino, 1993).

Na figura 1.1 pode ser observado o desenvolvimento dos processos de soldadura.

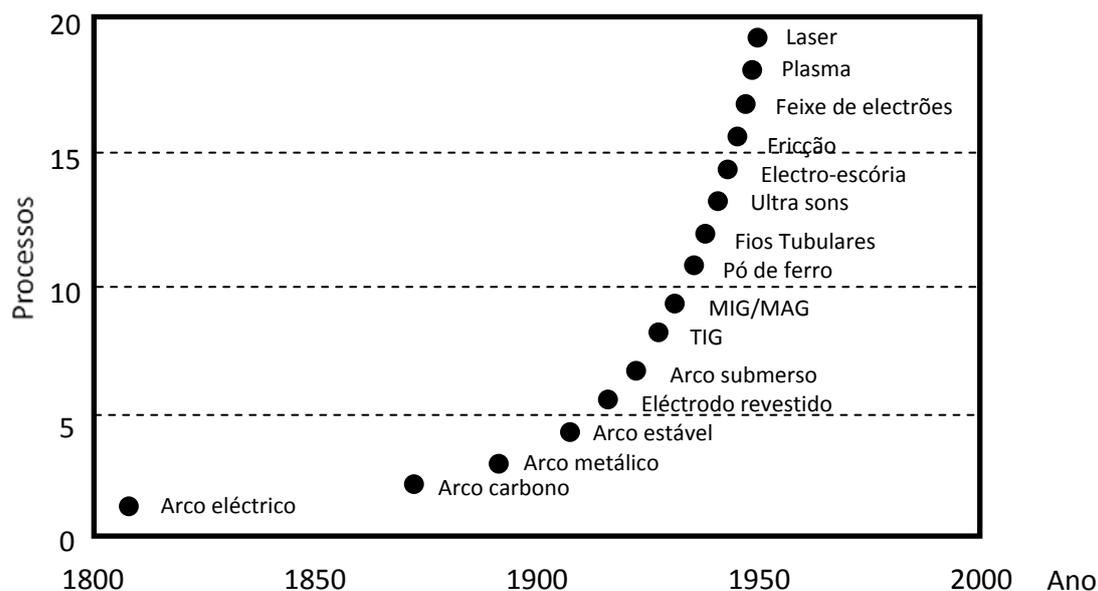


Figura 1.1 – Desenvolvimento dos processos de soldadura (Santos e Quintino, 1993)

Neste projecto não vai ser realizada uma análise exaustiva dos processos de soldadura mas apenas uma explanação dos processos mais usados nesta indústria: soldadura por arco eléctrico e oxi-acetilénica.

1.1 Soldadura por arco eléctrico

Um arco eléctrico é uma descarga eléctrica que ocorre entre dois eléctrodos, em que a energia fornecida tem que ser suficiente para que a descarga ocorra através de um gás ionizado, conhecido como plasma. No interior do plasma podem-se atingir temperaturas extremamente altas, que vão desde os 5000 até aos 30000 K (Leonard, 1987).

Segundo Rosado (2008), o estudo do arco eléctrico é de extrema importância para a compreensão do processo de soldadura porque:

- O arco eléctrico é a fonte de calor que funde o material e cria o banho de fusão;
- As altas temperaturas e as forças electromagnéticas, além da grande velocidade do fluxo de plasma, levam a intensas reacções químicas e provocam a homogeneização do banho de fusão;
- As forças geradas no arco são as principais responsáveis pela transferência do metal desde o eléctrodo até à peça;
- Em grande parte, o projecto da fonte de alimentação é determinado pela necessidade de estabilizar o arco (Rosado, 2008).

Embora existam vários processos de soldadura, por arco, os dois mais amplamente utilizados são:

- Soldadura por arco eléctrico com gás de protecção, GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), também conhecida como soldadura TIG (Tungsten Inert Gas);
- Soldadura por arco eléctrico com gás de protecção, GMAW (Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldadura MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas).

1.1.1 Soldadura TIG

A soldadura por arco eléctrico com gás de protecção, GTAW é um processo de soldadura em que o arco eléctrico é estabelecido entre um eléctrodo de tungsténio, não consumível, e o material base utilizando um gás inerte de protecção.

O arco eléctrico forma-se no seio do gás inerte, o qual tem a função adicional de proteger, da oxidação, o eléctrodo de tungsténio e o metal fundido, para além de facilitar a passagem da corrente eléctrica necessária ao processo de soldadura (Street, 1990).

A escolha do tungsténio está relacionada com o seu elevado ponto de fusão, que permite a redução do desgaste do eléctrodo, e a sua emissividade que facilita o estabelecimento do arco e a sua manutenção (Santos e Quintino, 1993).

A função principal do arco eléctrico é o fornecimento do calor para fundir o material de adição e criar o banho de fusão. O material de adição, quando necessário, é adicionado através de uma vareta (Santos e Quintino, 1993).

A polaridade padrão para este processo de soldadura é de eléctrodo negativo, ou seja, o eléctrodo de tungsténio é o cátodo e o material base o ânodo (Delgado, 2000).

Na soldadura de algumas ligas leves como o alumínio e o magnésio utiliza-se corrente alternada invertendo-se o sentido da corrente em cada pulso e o eléctrodo é sucessivamente pólo positivo e pólo negativo (Santos e Quintino, 1993).

O processo TIG é usado em ligas metálicas que exigem uma elevada qualidade de soldadura e ausência de contaminação atmosférica. Os metais reagentes e refractários, tais como: o titânio, o zircónio e o nióbio, onde as quantidades muito pequenas de oxigénio, azoto e hidrogénio podem causar a perda de ductilidade e da resistência à corrosão são exemplos da utilização deste processo de soldadura (Gerken, 1995; Lucas, 1990).

Este processo é também utilizado na soldadura de chapas finas pela sua facilidade de controlo mesmo com a utilização de correntes muito baixas, da ordem de 2 a 5 A (Gerken, 1995).

No processo de soldadura TIG a vaporização do metal está limitada ao banho de fusão. Esta vaporização é o factor mais importante na produção dos fumos de soldadura.

As soldaduras realizadas por este processo são limpas (isentas de salpicos), livres de resíduos ou escórias, e frequentemente não requerem nenhum tratamento posterior mesmo quando usadas para a deposição de metal de enchimento (Delgado, 2000).

A principal desvantagem do processo TIG, com alimentação manual, é a sua baixa taxa de deposição do metal de enchimento. Por esta razão é que existe uma grande

motivação ao estudo e desenvolvimento do processo TIG com alimentação automática do fio de enchimento (Delgado, 2000).

1.1.1.1 Corrente Pulsada

A corrente pulsada na soldadura TIG funciona como uma variação da corrente contínua com uma frequência regular. O nível mais elevado da corrente de impulsos é geralmente seleccionado para dar uma adequada penetração à soldadura enquanto o nível mais baixo, ou corrente de fundo, tem por finalidade manter um arco estável (Yousefieh et al., 2011).

Ao contrário do que acontece com a corrente contínua, a corrente pulsada permite que a energia térmica necessária para fundir o material de base seja fornecida apenas durante o pico dos impulsos de corrente, para breves intervalos de tempo, permitindo que o calor se possa dissipar, no material de base, conduzindo a uma zona mais reduzida afectada pelo calor. Esta técnica garante uma boa qualidade de soldadura, em situações específicas, onde a precisão sobre a penetração e a entrada de calor são fundamentais (T. Senthil et al., 2007).

Na figura 1.2 pode ser observada uma representação esquemática de uma corrente pulsada. Na corrente pulsada, a fonte de alimentação fornece uma corrente em forma de uma onda rectangular que pulsa ciclicamente entre dois valores denominados corrente de pico (I_p) e corrente de base (I_b) em intervalos de tempo denominados respectivamente de pico (T_p) e de base (T_b).

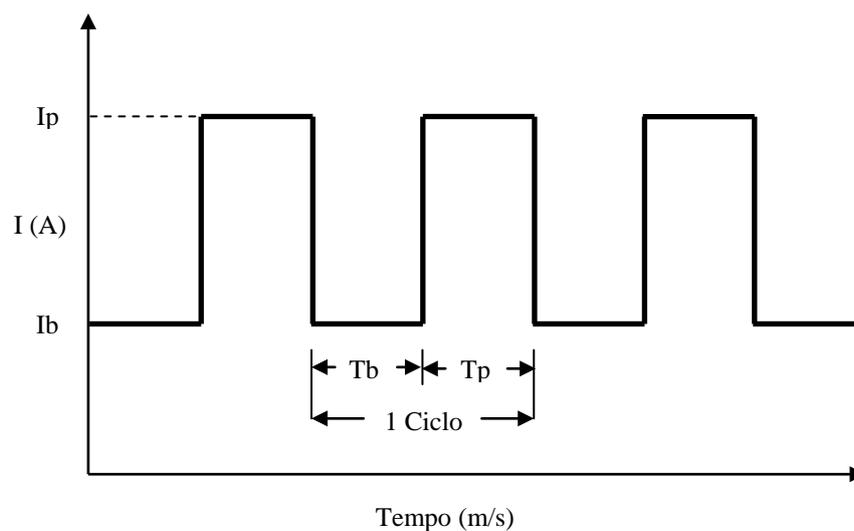


Figura 1.2 - Forma de onda em corrente pulsada (Yousefieh et al., 2011)

As vantagens deste processo traduzem-se numa melhor estabilidade do arco, maior profundidade da solda relativamente à largura, tamanho do grão da soldadura mais equilibrado, reduzida porosidade, baixa deformação, redução da zona afectada pelo calor e melhor controlo da entrada de calor (Gokhale et al., 1982). De uma forma geral, a corrente pulsada é adequada para a união de materiais de fina e média espessura, como por exemplo, chapas de aço inoxidável, e para aplicações onde o controle da qualidade da soldadura é fundamental (Giridharan e Murugan, 2009).

1.1.1.2 Gases de Protecção

Os gases de protecção utilizados são o argón e o hélio ou uma mistura de ambos. Em alguns casos pode ser adicionado também hidrogénio (Murphy, 2010).

A adição de hélio ou hidrogénio, ao argón, aumenta a densidade do fluxo de calor na peça de trabalho (Murphy et al., 2009; Norrish, 1992).

Considerando as mesmas condições de intensidade de corrente e comprimento do arco, a tensão do arco para o hélio é aproximadamente 1,7 vezes maior que para o argón. Consequentemente, o calor ou a energia consumida num arco de hélio é, aproximadamente, 1,7 vezes maior que para um arco de argón, para uma dada corrente de soldadura (Gerken, 1995).

Esta característica de tensão mais baixa do arco, com o argón, é útil na soldadura manual de chapas finas. Na soldadura vertical e em plataformas horizontais (tecto), o baixo nível de calor gerado reduz a tendência de escorrência da solda (Gerken, 1995).

O peso específico do argón é aproximadamente 1,3 vezes maior do que o do ar e 10 vezes maior que o do hélio. Sendo o argón mais pesado que o ar, permite a cobertura de uma maior área de solda e oferece uma maior resistência às influências externas. Por sua vez, sendo o hélio muito mais leve do que o ar, tende a subir rapidamente e causar perturbações que permitem o retorno do ar da atmosfera ao arco eléctrico (Gerken, 1995).

O hélio e as misturas de argón e hélio estão mais direccionados para as soldaduras em chapas mais grossas e para materiais com altas temperaturas de fusão e elevada condutividade térmica devido ao maior calor gerado para uma determinada corrente eléctrica (Gerken, 1995).

Nos processos de soldadura TIG o árgon é utilizado com maior frequência devido à maior estabilidade do arco e ao reduzido custo, comparativamente ao hélio (Delgado, 2000).

1.1.2 Soldadura MIG/MAG

A soldadura por arco eléctrico com gás de protecção, GMAW (Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldadura MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas), é o processo de soldadura mais utilizado, actualmente na indústria. Este facto está relacionado com a sua elevada flexibilidade que permite executar a soldadura de uma grande variedade de materiais e espessuras e o seu considerável potencial de automatização e robotização (Pires, 1996).

Para se otimizar este processo de soldadura têm vindo a ser desenvolvidos estudos, com base nos fenómenos físicos inerentes ao mesmo, suportados em conhecimentos pluridisciplinares de electricidade, magnetismo, hidrostática, mecânica de fluidos e dinâmica dos gases (Quinn et al., 2005).

Com base nos referidos estudos, e recorrendo a cálculos matemáticos, é possível conhecer os fenómenos de desenvolvimento do arco eléctrico e da transferência do metal, assim como, as características das forças que actuam no processo do desprendimento da gota de solda do eléctrodo.

1.1.2.1 Processo de transferência do metal

A soldadura por arco eléctrico com eléctrodos consumíveis é usada largamente porque o material de adição é depositado mais eficientemente e com maiores taxas de transferência do que qualquer outro processo de soldadura (Rosado, 2008).

O modo de transferência do metal é influenciado pelo tipo do fio de enchimento, tensões e intensidades de corrente, gama de eléctrodos, polaridade e gás de protecção. Para uma melhor compreensão dos efeitos dos vários factores é necessário considerar a física do processo de transferência (Chu et al., 2004; Terasaki e Simpson, 2005).

Existem, basicamente, duas teorias independentes para estimar as condições de transferência do metal: Teoria do Equilíbrio das Forças Estáticas (Amson, 1962; Greene, 1960) e Teoria da Instabilidade devido à constricção (Allum, 1985a; Allum, 1985b).

Baseado na Teoria do Equilíbrio das Forças Estáticas, para Rosado (2008), fazendo o balanço das forças no momento do destacamento da gota chega-se à seguinte equação:

$$F_g + F_a + F_e = F_y + F_v$$

Onde:

F_g – Força gravítica

F_a – Força de arrasto

F_e – Força electromagnética

F_y – Força devido à tensão superficial

F_v – Força devido à vaporização do material

Força gravítica:

A força da gravidade por vezes pode ser dominante, especialmente para correntes baixas onde a componente electromagnética é baixa.

Força de arrasto:

Está relacionada com o fluxo do gás de protecção depende da velocidade, do fluxo de gás, da composição do gás e do tamanho da gota.

Força electromagnética:

A força electromagnética tanto pode ser positiva como negativa e tende a dominar as outras forças para correntes altas, normalmente necessárias para se dar a transferência por “spray”.

Força devido à tensão superficial:

Vai actuar no sentido contrário ao do destacamento da gota e é condicionada por diversos factores entre os quais se incluem: a composição e homogeneidade da gota, a temperatura da gota, o gradiente de temperatura na sua superfície, a sua forma e a composição do gás.

Força devido à vaporização do material:

Em altas correntes pode-se dar uma significativa vaporização do material na superfície da gota fundida. Essa vaporização vai dar origem a uma aceleração termal das partículas de vapor para o plasma, o que resulta numa força oposta que vai actuar na gota de metal como uma resistência ao destacamento da gota (Rosado, 2008).

A teoria da instabilidade devido à constrição baseia-se no modelo da instabilidade de uma coluna líquida cilíndrica, a qual se transforma em gotas, que têm menor energia livre devido a um distúrbio no seu comprimento de onda característico. Aplicada à transferência do metal líquido, a força electromagnética auto-induzida aumenta a transformação da coluna em gotas (Rosado, 2008).

A teoria da instabilidade apenas explica a diminuição do tamanho da gota com o aumento da intensidade de corrente e as condições para a instabilidade da coluna de metal líquido. A teoria do equilíbrio das forças estáticas permite uma melhor explicação dos fenómenos do arco (Eagar e Kim, 1993).

1.1.2.2 Classificação dos modos de transferência

O processo de soldadura MIG/MAG utiliza um eléctrodo consumível alimentado, continuamente, para o banho de fusão. Se a fusão do eléctrodo for equilibrada, pela velocidade com que o fio é alimentado em direcção à peça a soldar, então o processo funcionará de uma forma contínua e estável. Um ajuste incorrecto destes parâmetros, ou seja, não havendo um equilíbrio entre a taxa de fusão do eléctrodo e a velocidade de alimentação do eléctrodo acontecerá uma de duas coisas, a extinção do arco provocada por curto-circuito ou um arco excessivamente longo (Rosado, 2008).

Este processo de soldadura tem vindo a ser alvo de um desenvolvimento contínuo com o objectivo de se procurar atingir um arco eléctrico estável, durante a actividade de soldadura, permitindo este facto obter uma boa transferência do metal fundido, a redução da emissão dos fumos de soldadura, um bom índice de qualidade e bons indicadores de produtividade no desempenho do processo.

A qualidade da soldadura é determinada por características específicas como o modo de transferência do metal e da geometria da soldadura (Tzafestas e Kyriannakis, 2000).

A transferência do metal no processo GMAW é descrita como a transferência de gota fundida a partir do fio de soldar para peça de trabalho (Wang et al., 2003).

Esta transferência desempenha um papel dominante na estabilização do arco, reduzindo os salpicos e fumos, e contribui para uma boa aparência e qualidade da soldadura (Lin et al., 2001; Paton e Lebedov, 1990).

Na fonte de corrente constante a distância de trabalho determina o comprimento do arco. Assim que a distância de trabalho aumenta o comprimento do arco também

aumenta, verificando-se também o contrário. Esta característica representa um problema para a soldadura semi-automática uma vez que a distância de trabalho é difícil de manter. Para corrigir este problema foi criado um alimentador automático do fio controlado pela voltagem do arco para compensar as alterações no comprimento do arco (Rosado, 2008). A fonte de alimentação com voltagem constante fornece uma voltagem específica para o arco a que corresponde uma determinada velocidade de alimentação do fio. Mesmo que a distância de trabalho aumente a voltagem permanece constante e o comprimento do arco também permanece inalterável (figura 1.3).

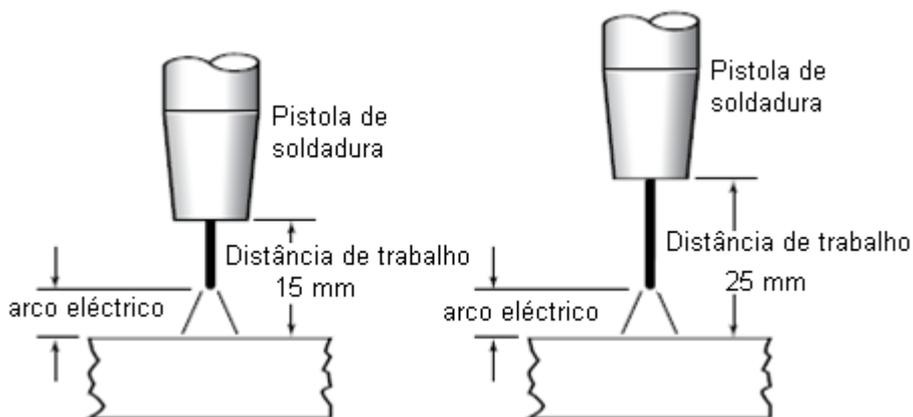


Figura 1.3 - Comprimento do arco eléctrico estável com fonte de alimentação com voltagem constante (GMAW, 2006)

Existem três modos para explicar a transferência do metal no processo GMAW. O designado modo de curto-circuito, o modo globular e o modo de “spray”. Alguns modos intermediários de transferência de metal acontecem tanto entre os modos de curto-circuito e globular ou entre o globular e modos “spray”(Anzehae e Haeri, 2011).

a) Transferência globular

O modo de transferência globular ocorre na gama média das correntes de soldadura. Neste modo, o diâmetro das gotas fundidas é maior do que o diâmetro de alimentação de fio. Devido ao elevado diâmetro da gota há quantidades mais elevadas de salpicos e fumos e o arco não têm a estabilidade adequada (Sacks e Bohnart, 2005).

A transferência globular é em tudo semelhante ao pingar de uma torneira em que as gotas têm um diâmetro superior relativamente ao eléctrodo e a taxa de transferência é pequena e irregular. Este mecanismo de transferência é dominado pelas forças gravitacionais, ou seja, a transferência da gota dá-se quando a força da gravidade for

superior à força gerada pela tensão superficial, que está a actuar no sentido de evitar o destacar da gota. Apesar das forças magnéticas estarem presentes, estas não são significativas devido às baixas correntes que normalmente estão associadas a este tipo de transferência (Rosado, 2008).

b) Transferência por spray

O modo de transferência “spray” ocorre na gama de correntes de soldadura mais elevadas e o diâmetro das gotas fundidas é geralmente menor do que o diâmetro do fio de alimentação. As características principais deste modo de transferência são a elevada taxa de metal transferido, a estabilidade do arco e a regularidade da transferência do metal para a peça de trabalho (Jilong e Apps, 1983).

A transferência “spray” dá-se quando a corrente de soldadura ultrapassa um valor limite, a que se dá o nome de corrente de transição. Abaixo dessa corrente de transição dá-se a transferência globular. Acima desta corrente de transição a transferência é caracterizada por gotas muito pequenas (quando comparadas com a transferência globular) que são formadas a uma taxa de centenas por segundo. Neste tipo de transferência as forças magnéticas são as dominantes e são as responsáveis pela aceleração das gotas no arco eléctrico. Devido ao facto de as gotas serem mais pequenas que o comprimento do arco, não ocorre curto-circuito (a corrente é constante) e a formação de salpicos é reduzida ou mesmo eliminada (Rosado, 2008).

c) Transferência por curto-circuito

Para se classificar o modo de transferência como curto-circuito deve ocorrer um contacto (curto-circuito) entre a gota em formação e a peça a soldar antes de desprendimento da gota (figura 1.4). Durante os períodos de curto-circuito, o arco extingue-se. Este modo de transferência é caracterizado pela formação de um pequeno arco, velocidades muito elevadas (mais de 10-12 m/minuto) para o alimentador de fio e produção de correntes de soldadura, elevadas, da ordem de 250 a 350 A. Como esta transferência está associada a uma força electromagnética forte, as gotículas são de tamanho pequeno (não há tempo para alcançarem maior volume) com uma taxa de transferência alta minimizando o efeito da força de tensão superficial. Existe um elevado nível de salpicos (Scotti et al., 2012).

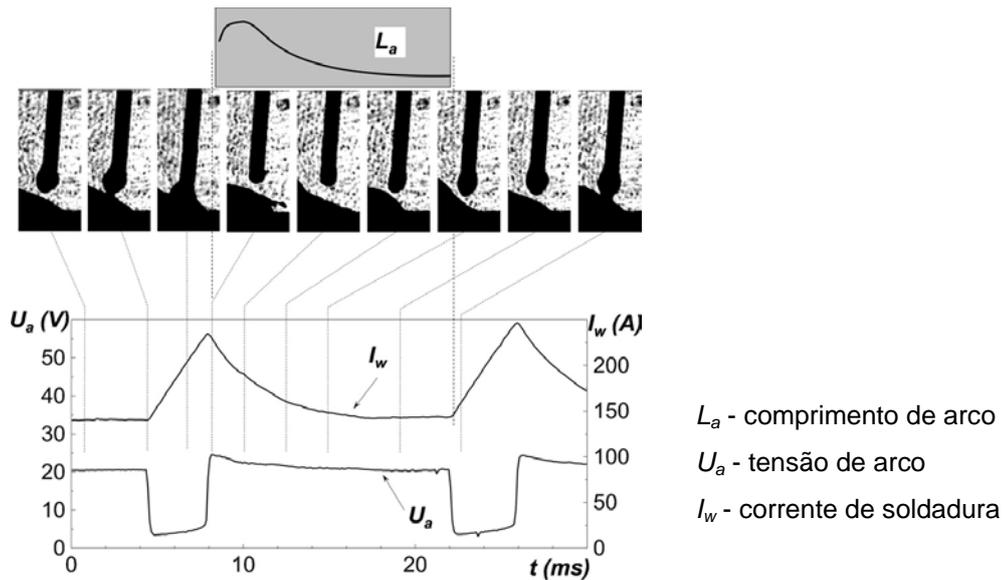


Figura 1.4 – Transferência curto-circuito (GMAW) (Scotti et al., 2012)

A qualidade da soldadura e a competitividade económica são fundamentais para o fabrico de componentes metálicos. Com esse objectivo tem sido realizado um importante esforço, em termos de investigação, para o controlo automático dos processos da soldadura industrial. Deste modo, os parâmetros da execução da soldadura deixam de ser especificados pelo Homem e são substituídos por métodos avançados que controlam as fontes de alimentação, dos equipamentos de soldadura, e as ajustam para cada tarefa específica.

O desenvolvimento das fontes de alimentação, para possibilitar o controlo automático das soldaduras e a eliminação da necessidade da interferência humana na definição dos parâmetros, procura determinar que o produto final venha a dispor de uma melhor qualidade. O importante é que o fluxo de gotas seja uniforme na sua dimensão e na cadência de tempo com que se soltam do eléctrodo.

Para o controlo do modo de transferência é utilizada a técnica da corrente pulsada e do curto-circuito controlado.

a) Corrente pulsada

A utilização da corrente pulsada torna possível a ocorrência de transferência do tipo “spray”, com intensidades de correntes médias inferiores à corrente de transição, mantendo-se a um nível de corrente de base (50 a 80 A) que não ocasione extinção do arco eléctrico. Provoca a ocorrência do destacamento da gota devido à aplicação

de um pico de corrente de valor elevado e pequena duração (Santos e Quintino, 1993) (Figura 1.5).

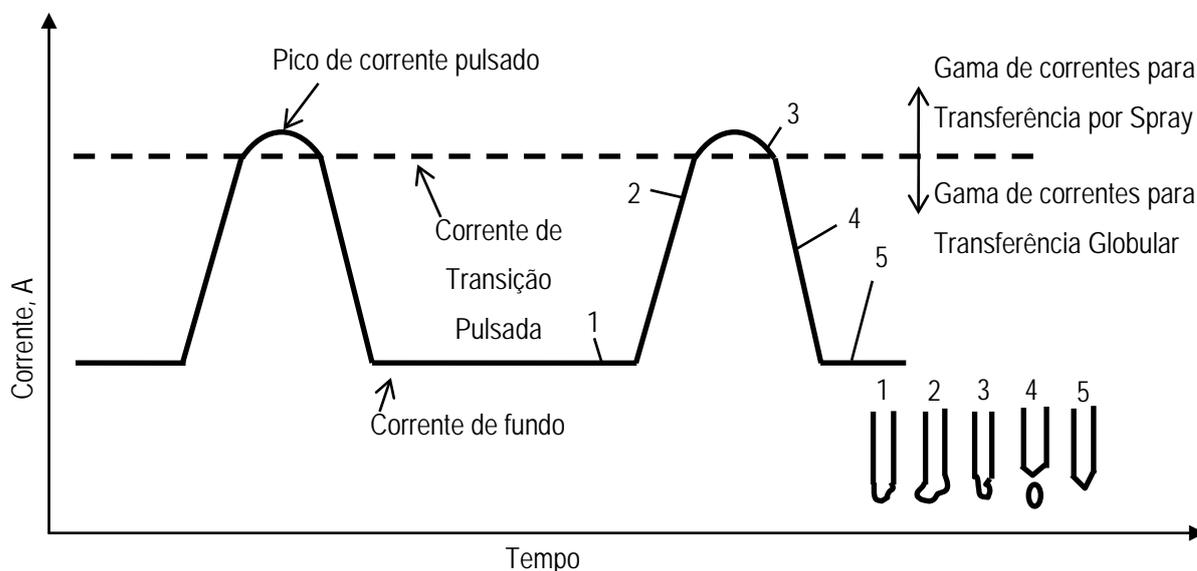


Figura 1.5 – Gráfico característico da soldadura por corrente pulsada

b) Curto-circuito controlado

A quantidade de fio transferido por curto-circuito é um processo pouco controlado traduzindo-se este facto na variação de metal transferido e, conseqüentemente, influencia o tempo de desenvolvimento do arco eléctrico conduzindo à instabilidade do processo de soldadura.

Para se conseguir controlar a forma de transferência é necessário alterar a saída da fonte de potência para que esta se ajuste à taxa de transferência (Santos e Quintino, 1993).

Este processo baseia-se num controlo da corrente e do tempo. É necessário um pequeno intervalo de tempo antes do aumento da corrente para permitir um contacto efectivo entre o fio e o banho de fusão. O valor da corrente, quando o curto-circuito se interrompe, deve ser baixo para evitar a libertação de salpicos. Por último, é necessário que exista um pequeno intervalo de tempo depois da ocorrência do curto-circuito e antes do aumento da corrente para assegurar a ocorrência de contacto entre o fio e o banho de fusão (Santos e Quintino, 1993) (figura 1.6).

Com esta técnica a transferência do metal é mais regular, a libertação de salpicos acontece em menor quantidade e, conseqüentemente, verifica-se uma menor libertação de fumos de soldadura.

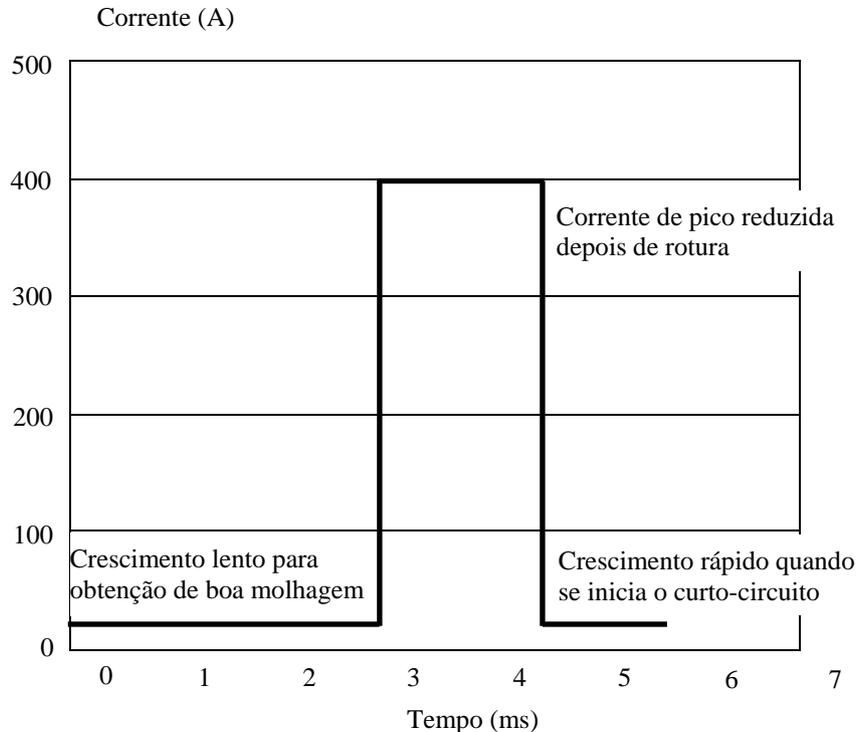


Figura 1.6 – Onda de corrente ideal para transferência de curto-circuito (Santos e Quintino, 1993)

O modo de transferência baseado no conceito de curto-circuito controlado levou ao aparecimento de processos de soldadura derivados do MIG/MAG como é o caso do Surface Tension Transfer, Fast Root e Cold Metal Transfer (Rosado, 2008) os quais não são detalhados neste trabalho.

1.1.2.3 Características dos gases de protecção e suas influências

Os gases de protecção têm por finalidade evitar o contacto do banho de fusão com a atmosfera. A maior parte dos metais no estado líquido têm tendência para a formação de óxidos, quando em contacto com a atmosfera.

As reacções do oxigénio com os vários elementos de liga e com o carbono provocam defeitos no cordão de soldadura dando origem a inclusões de escória, porosidade e fragilização do cordão (Santos e Quintino, 1993).

Uma correcta escolha dos gases de protecção depende dos materiais e dos processos envolvidos. Além de fornecer um ambiente protector para o eléctrodo e para o banho

de fusão, os gases de protecção também influenciam importantes características do processo MIG/MAG: características do arco, modo de transferência do metal, penetração e perfil da soldadura (Rosado, 2008).

Os gases mais utilizados na soldadura MIG/MAG são o argon e o hélio e misturas destes gases inertes com o oxigénio e o dióxido de carbono.

A escolha entre o argon e o hélio depende, essencialmente, do custo inerente a estes gases inertes. Na Europa, o hélio tem um custo superior ao argon. Relativamente às características, o argon tem uma densidade superior sendo necessário um débito de hélio, cerca de três vezes superior, para se obter uma protecção idêntica à do argon. O hélio possui uma condutibilidade térmica superior dando origem a um plasma com uma distribuição de energia mais uniforme e a cordões de forma mais regular (Santos e Quintino, 1993).

Árgon

O argon é o gás de protecção mais utilizado na soldadura MIG/MAG. Possui uma baixa energia de ionização que promove uma baixa voltagem do arco facilitando o escorvamento e a sua estabilidade. No seu estado puro é utilizado para a soldadura de metais não-ferrosos como o alumínio e ligas de titânio (Rosado, 2008).

A alta densidade do argon em comparação com os outros gases (1,38 em relação ao ar) promove uma maior eficiência de protecção, porque o argon facilmente substitui o ar em torno da solda (Dillenbeck e Castagno, 1987).

Na soldadura de aços não ligados e de baixa liga é usual utilizar-se uma mistura de 5 a 20% de dióxido de carbono enquanto nos aços inoxidáveis, nos quais se deve evitar a introdução de carbono devido a questões relacionadas com a sensitização do material, a mistura indicada é de 1 a 5% de oxigénio (Santos e Quintino, 1993).

Hélio

O hélio tem uma energia de ionização alta que se traduz numa maior voltagem do arco e uma maior entrega térmica. Esta maior entrega térmica resulta numa penetração mais uniforme comparativamente com o argon. Devido ao facto deste gás ser relativamente mais caro que o argon é preferencialmente utilizado, em pequenas percentagens, em misturas com o argon como gás dominante. Apenas em casos especiais se utiliza o hélio como gás dominante (Rosado, 2008).

Oxigénio

Devido ao efeito estabilizador no arco, o oxigénio é utilizado como a componente secundária na mistura com o árgon (Rosado, 2008).

Na mistura com o árgon o oxigénio suaviza o perfil do cordão de solda, melhorando a qualidade do mesmo e a molhagem do banho de fusão, em consequência da diminuição da tensão superficial no contacto entre o metal base e o banho fundido e também pela estabilização da posição da raiz do arco (Jonsson et al., 1995).

Esta mistura origina, com intensidades de correntes elevadas, cordões com penetração em forma de dedo que nem sempre são desejáveis, por estar frequentemente associada a porosidade na raiz e em juntas topo a topo a desalinhamentos entre a junta e o cordão (Santos e Quintino, 1993).

Dióxido de carbono

Na soldadura por arco eléctrico o dióxido de carbono vai-se dissociar em monóxido de carbono e oxigénio livre. Durante o arco eléctrico é gerado insuficiente oxigénio livre para que se possa formar um plasma, sendo por isso muito difícil obter uma transferência por “spray”. Isto leva a que altos níveis de salpicos sejam formados por causa de uma transferência de metal instável. A natureza altamente oxidante deste gás torna-o particularmente efectivo a lidar com superfícies contaminadas com tinta ou ferrugem. A sua alta entrega térmica produz um perfil de soldadura mais redondo e uniforme (Rosado, 2008).

As tensões necessárias para obter uma transferência estável de metal, com o aumento de uma mistura de CO₂, aumentam. Isto significa que a estabilidade do arco diminui com o aumento do teor de dióxido de carbono na mistura. Este facto está relacionado com a condutividade térmica elevada de CO₂, que dá origem a mais perda de calor por condução e, assim, a necessidade de utilização de maiores tensões, para a mesma intensidade de corrente, na iniciação e estabilização do arco (Pires et al., 2006a).

Além das misturas binárias poderão também ser utilizadas misturas ternárias. Estas misturas são extremamente flexíveis produzindo transferência por curto-circuito e modos de pulverização para uma vasta gama de intensidades de corrente e tensões. Estas misturas fornecem arcos mais estáveis uma vez que as tensões necessárias para estabilizar o arco e o nível de salpicos são reduzidas (Pires et al., 2006a).

As misturas ternárias são utilizadas de forma a aproveitar as características individuais de cada gás. Utilizando uma mistura de Ar com CO_2 aumenta-se a entrega térmica e melhora-se a penetração. Quando a esta mistura se junta oxigénio melhora-se a fluidez e transferência do metal devido à diminuição das tensões superficiais e utiliza-se um gás de protecção com características únicas que nas misturas binárias não seria possível. (Rosado, 2008).

1.2 Soldadura oxi-acetilénica

A soldadura oxi-acetilénica ou soldadura oxigás resulta da combustão de uma mistura de um gás combustível e o oxigénio empregando maçaricos apropriados. A chama resultante da referida combustão provoca o aquecimento do metal base e do metal de adição até à sua fusão.

O gás mais utilizado é o acetileno embora possam ser utilizados outros gases como o propano.

A escolha do gás resulta da temperatura máxima atingida pela mistura, assim como pela repartição espacial da temperatura (Santos e Quintino, 1998).

Na figura 1.7 pode ser observada a distribuição espacial da temperatura relativa ao acetileno e ao propano no seio do oxigénio.

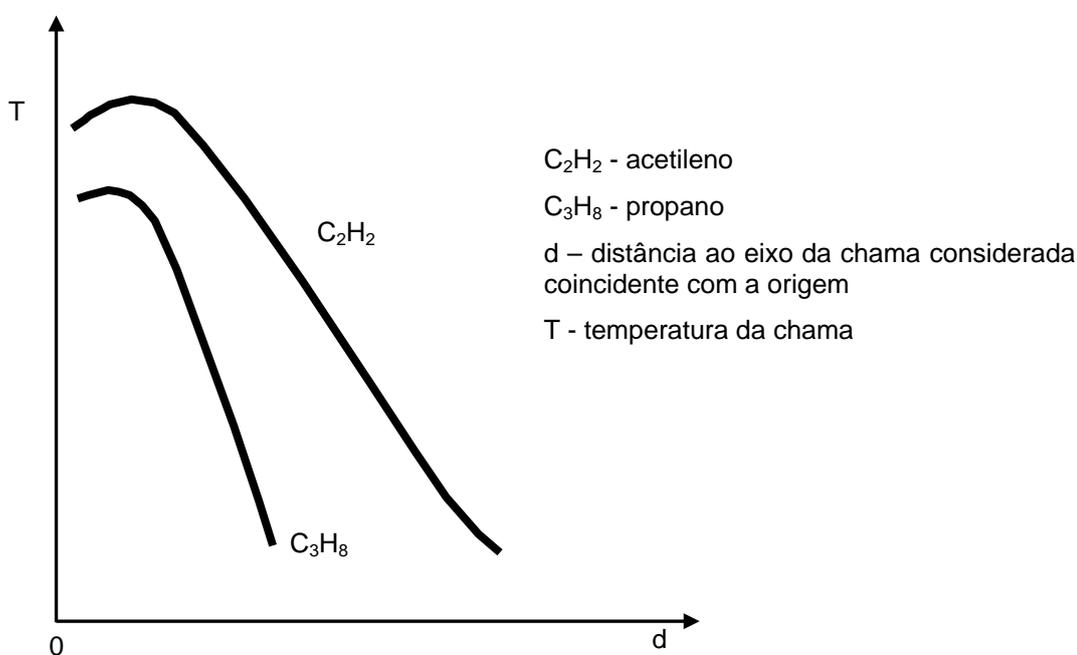
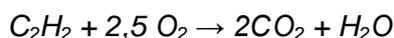


Figura 1.7 – Distribuição espacial da temperatura da chama de acetileno e propano (Santos e Quintino, 1998)

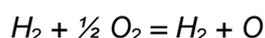
Pela análise da figura 1.7 pode-se verificar que o acetileno possui maior temperatura máxima que o propano e melhor repartição espacial sendo, por isso, o mais utilizado na soldadura oxigás.

O ajuste da chama pode ser realizado pelo soldador e, deste modo, podemos ter uma chama neutra ou oxidante controlada pela mistura do oxigénio (Amza et al., 2010).

A chama neutra corresponde à queima completa do gás e do oxigénio e, no caso do acetileno, esta combustão acontece após verificada a seguinte reacção (Amza et al., 2010):



Na combustão completa do acetileno, para além da combustão primária da reacção anterior, existe ainda uma combustão secundária traduzida pelas seguintes reacções (Santos e Quintino, 1998):



A relação obtida utilizando a fórmula abaixo expressa permite verificar se a chama é neutra ou oxidante. Se $k = 1,1 \dots 1,2$, a chama é neutra, para $k \geq 1,1 \dots 1,2$, a chama é oxidante e quando $k \leq 1,1 \dots 1,2$, a chama é redutora (Amza et al., 2010).

$$k = \frac{O_2}{C_2H_2}$$

A chama obtida apresenta diferentes zonas sendo a chama oxi-acetilénica caracterizada por três zonas (Santos e Quintino, 1998) (figura 1.8).

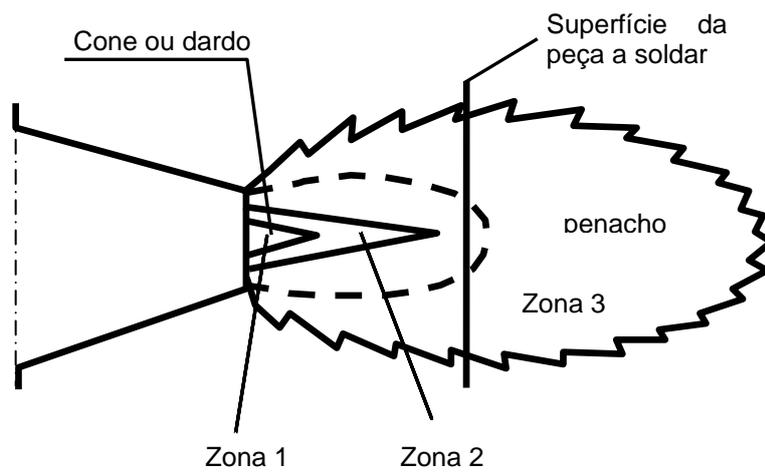


Figura 1.8 – Zonas da Chama oxi-acetilénica

A zona 1 é produzida pela combustão a partir do gás combustível e carburante.

Na zona 2 dá-se a combustão secundária resultante da acção do ar sobre os produtos de combustão primária.

A zona 3 prolonga a zona da reacção secundária.

2 Fumos de Soldadura

Os fumos de soldadura surgem a partir dos materiais de base e enchimento, revestimentos de protecção dos materiais de base, gases de protecção e do ar ambiente, sob a influência de temperatura elevada e de radiação do arco de soldadura (Heile e Hill, 1975; Mendez et al., 2000).

Os fumos de soldadura são misturas complexas de gases e pequenas partículas de compostos de metal formadas pela vaporização e oxidação de metais durante o processo soldadura (Berlinger et al., 2008).

Apesar do avanço tecnológico, com a automatização e a robotização dos processos de soldadura, muitos soldadores ainda permanecem expostos aos fumos e gases resultantes da actividade de soldadura. A composição química das partículas que integram esses fumos e gases dependem do processo de soldadura, da composição química dos gases de protecção, do metal de enchimento, do material base, da presença de revestimentos, do tempo, da gravidade de exposição e das condições de ventilação (Knoll, 2003).

A legislação na área da higiene e segurança e as exigências impostas à exposição, dos trabalhadores, aos fumos de soldadura têm contribuído para o desenvolvimento de processos e equipamentos que permitam reduzir as emissões dos fumos e gases.

A saúde dos soldadores tem sido estudada ostensivamente. Os estudos epidemiológicos têm demonstrado existir uma maior incidência de doenças respiratórias tais como bronquite, irritação das vias respiratórias, febre dos fumos metálicos e também alterações na função pulmonar nos soldadores. Além disso, a gravidade, duração e frequência de infecções agudas do tracto respiratório, superior e inferior, têm sido comprovadas como sendo mais frequentes entre soldadores, comparativamente com população em geral (McNeilly et al., 2004).

2.1 Mecanismos de geração de fumos

A formação de partículas de fumos pode ser agrupada em duas categorias: a partir de sólidos e líquidos por meios mecânicos (por exemplo, moagem ou de atomização de líquido) e a partir de um vapor por condensação. As partículas formadas mecanicamente são, raramente, inferiores a 1 µm de diâmetro. As partículas criadas por condensação são de 0,01 a 0,4 µm de diâmetro (Kodas e Hampden-Smith, 1999).

O tamanho de partículas presentes nos fumos de soldadura varia na gama de centésimos e décimos de μm (Voitkevich, 1995) .

O tamanho do diâmetro aerodinâmico médio de uma partícula de fumos de soldadura varia entre 0,01 a 1 μm (Jenkins et al., 2005b; Matczak e Gromiec, 2003; Voitkevich, 1995).

Os autores que utilizaram a microscopia electrónica para estudar fumos de soldadura gerados sob uma variedade de condições não detectaram partículas com diâmetros superiores a 0,5 μm . Pode-se concluir que os fumos de soldadura são formados, apenas, por condensação do vapor formado durante a operação de soldadura. Portanto, a taxa de formação de fumos deve ser directamente proporcional à taxa de vaporização da gotícula de soldadura (Mendez et al., 2000).

Na soldadura por arco, parece haver uma relação entre as taxas de formação de fumos de soldadura e a taxa de formação de salpicos incandescentes. Os salpicos incandescentes e as taxas de formação de fumos aumentam e diminuem, de modo semelhante, de acordo com os parâmetros escolhidos para a soldadura (Gray et al., 1980)

A projecção de salpicos incandescentes difere entre os vários processos de soldadura por arco. Enquanto a soldadura GMAW utiliza um eléctrodo consumível a partir do qual os salpicos e as gotículas se podem separar violentamente o processo GTAW não tem estas características.

A partir de estudos em processos de soldadura com protecção gasosa, chegou-se à conclusão que os fumos resultantes da soldadura são formados principalmente a partir de gotas de soldadura (Jenkins, 1999b). Chegou-se a esta conclusão comparando vários processos de soldadura. Verificou-se que o processo MIG/MAG produz uma quantidade maior de fumos e estando associado a este processo, como modo de transferência, a formação de gotas de material em fusão e no processo de soldadura TIG este fenómeno não acontece, concluiu-se ser a formação de gotas o principal responsável pela formação de fumos.

Os salpicos que resultam da instabilidade do arco eléctrico, nomeadamente quando se dá a sua ignição e extinção, têm um papel importante na produção de fumos. Na figura 2.1 é bem visível a grande quantidade de salpicos que estão a ser produzidos no processo de soldadura MIG/MAG, comparativamente com o processo TIG.



Figura 2.1 – Salpicos resultantes da instabilidade do arco eléctrico (Rosado, 2008)

Num estudo publicado em 1992 (Gray, Hewitt e Dare, 1982) e em 1999 (Jenkins, 1999a), explanaram a sua teoria sobre formação de fumos e encontraram sete mecanismos que estarão na origem da formação de fumos na soldadura GMAW. Na figura 2.2 estão exemplificados cada um dos referidos mecanismos.

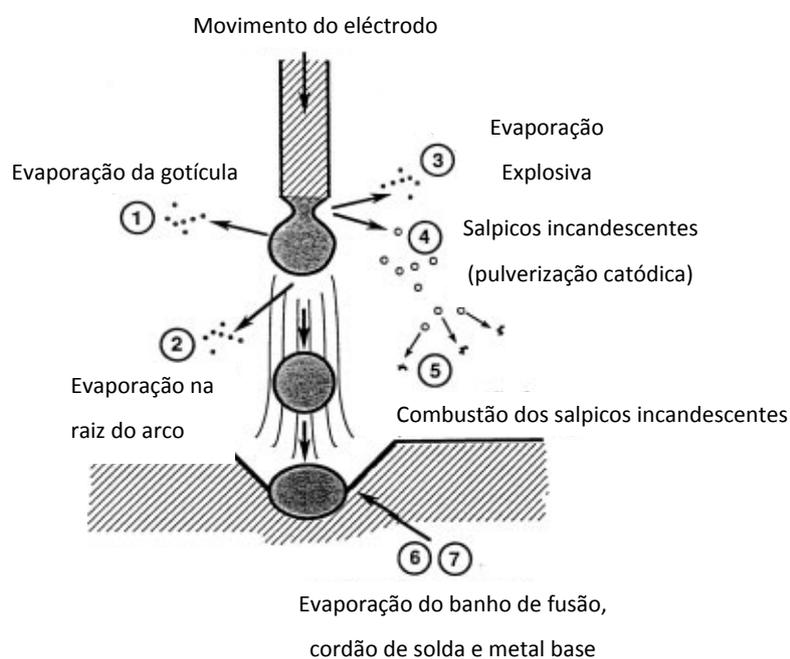


Figura 2.2 – Mecanismo de formação de fumos. Adaptado de (Quimby, 1997)

(1) Evaporação da ponta do eléctrodo ou a partir da gotícula: elevadas velocidades do gás de protecção aumentam a evaporação porque a evaporação é delimitada pela transferência de gás, através do plasma. O gás atmosférico tende a ser capturado a velocidades mais elevadas do gás de protecção, aumentando o potencial de oxigénio no plasma. Assim, diminuindo a velocidade do gás de protecção diminui-se a formação de fumos de soldadura. Este mecanismo ocorre durante todos os modos de transferência.

(2) A evaporação a partir das pontas dos eléctrodos sobre cátodo ou ânodo: a vaporização na raiz do arco pode ser elevada, o suficiente, para provocar erosão. A taxa de vaporização é, deste modo, superior à do mecanismo anterior.

(3) Evaporação explosiva na superfície de contacto durante a separação de gotas: ocorre durante a transferência por curto-circuito, quando o eléctrodo quebra o contacto com o material de base, e na transferência globular quando a gota se separa do eléctrodo. Este mecanismo desenvolve elevadas intensidades de corrente que causam evaporação rápida. As elevadas taxas de salpicos na transferência globular são apoiadas neste mecanismo.

(4) Gotas de metal excessivamente pequenas ("por pulverização catódica") projectadas pela explosão do fio: as minúsculas gotas de metal projectado solidificam-se e transformam-se em fumos de soldaduras. Este fenómeno contribui com um peso, substancialmente superior, relativamente aos fumos formados por evaporação e ocorre durante a transferência por curto-circuito, sempre que o eléctrodo se solta do material base, e durante o desprendimento da gota na transferência globular.

(5) Proiecção de gotículas (pulverização catódica) e salpicos incandescentes: a maioria das gotas projectadas devido à explosão no fio vão movimentar-se através da região do gás inerte, solidificam-se e entram na atmosfera circundante onde sofrem oxidação, vaporização e combustão. A vaporização é limitada enquanto as gotículas estão rodeadas pelo escudo do gás inerte que inibe a fuga de vapor a partir da gotícula. Logo que os salpicos incandescentes arrefecem, o suficiente, o oxigénio provoca na sua superfície a correspondente taxa de evaporação e, de seguida, as gotículas sofrem uma combustão exotérmica e produz-se mais fumo. Este mecanismo ocorre durante a transferência por curto-circuito, sempre que o eléctrodo se solta do material base, e durante o desprendimento da gota na transferência globular.

(6) Evaporação do banho de fusão: a formação dos fumos acontece durante todos os modos de transferência mas tem uma contribuição insignificante.

(7) Evaporação de cordão de solda fundido: este mecanismo contribui para uma formação insignificante de fumos e ocorre durante todos os modos de transferência.

Este estudo chegou a conclusões similares às de outros autores. O principal factor que domina na formação de fumos, no processo MIG/MAG, é a evaporação que se dá a partir da gota (Jenkins et al., 2005a). Existe também formação de fumos ao nível do cordão, especificamente no banho de fusão e cordão acabado de soldar, mas a quantidade de fumos produzido não é significativo (Jenkins, 1999b).

A formação de fumos a partir da gota vai depender das características da mesma, ou seja, da temperatura da superfície da gota, que é determinada pelo calor e fluxo do fluido no metal em fusão, e também da geometria da gota (dimensão). Essas características variam para diferentes tipos de transferência de metal. Tendo em consideração este facto, foram criados alguns modelos de previsão de formação de fumos tendo como ponto de partida as características da gota de soldadura, temperatura da superfície e a sua geometria (Rosado, 2008).

A figura 2.3 mostra o resultado de um estudo direccionado para a previsão da formação de fumos. Neste estudo foram analisadas um conjunto de variáveis que intervêm na taxa de formação de fumos (TFF): a corrente eléctrica, o modo de transferência, o diâmetro da gota e a velocidade de alimentação do fio.

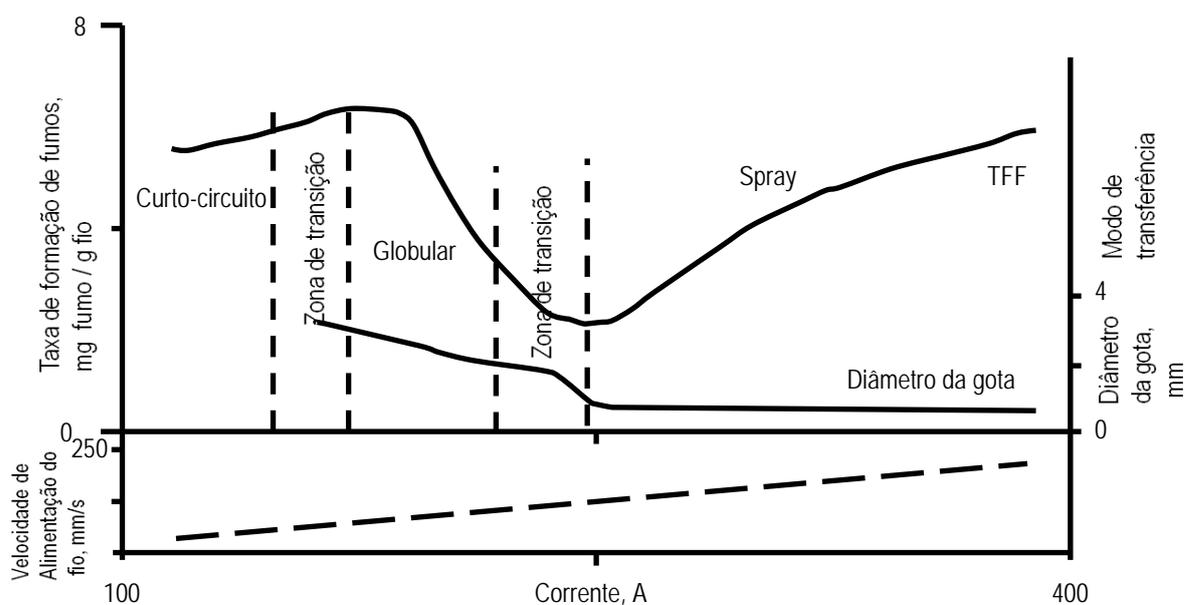


Figura 2.3 – Variação da TFF com Ar e 2% de O₂ (Jenkins et al., 2005a)

Analisando a curva da taxa de formação de fumos verifica-se que esta taxa vai aumentando até se atingir o modo de transferência globular. Este aumento está relacionado com o incremento do diâmetro da gota assim como do calor por ela transferido pelo aumento da temperatura.

No seguimento da análise da referida curva e entrando na zona de transição para o modo de transferência para “spray” verifica-se que a taxa de formação de fumos sofre um decréscimo. Esta inversão está relacionada com a diminuição do diâmetro das gotas devido à diminuição do tempo de contacto entre a gota e o eléctrodo. Embora a intensidade de corrente seja superior, como a gota está menos tempo em contacto com o eléctrodo a temperatura diminui e a quantidade de calor transferido é também menor e a temperatura da gota é inferior à verificada na transferência globular.

Quando se entra na zona de transferência por “spray” a taxa de formação de fumos está ao nível mais baixo. Ao continuarmos a aumentar a intensidade da corrente, o diâmetro da gota mantém-se constante mas, verifica-se o aumento da transferência do metal com o acréscimo do número de gotas transferido e o conseqüentemente incremento da taxa de formação de fumos.

Os gases de protecção, utilizados nos processos de soldadura, na sua forma pura de gases inertes, assim como as misturas, destes, com gases activos, têm um papel fundamental na formação dos fumos de soldadura.

Os resultados de um estudo realizado em 2006 (Pires et al., 2006a), com o objectivo de analisar a relação entre a composição dos gases de protecção e a formação dos fumos de soldadura, podem ser observados na figura 2.4.

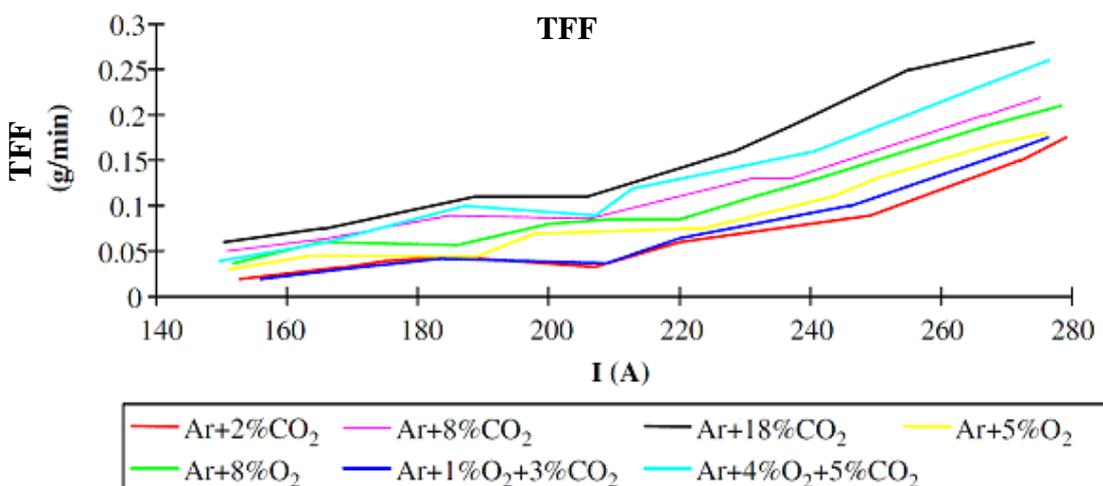


Figura 2.4 – Variação da Taxa de Formação de fumos com a corrente e misturas de gases

Pela análise das curvas da figura 2.4, pode concluir-se que a taxa de formação dos fumos de soldadura aumenta com o aumento da intensidade da corrente e com o aumento da concentração de oxigénio e dióxido de carbono no árgon.

2.2 Elementos constituintes dos fumos de soldadura

No caso de soldadura de aços não ligados, por meio de eléctrodos nus, os componentes básicos dos fumos são o ferro, manganês e silício (Jenkins e Eager, 2005; Matczak e Gromiec, 2003; Pires et al., 2006b; Voitkevich, 1995).

A soldadura de aço inoxidável provoca, para além dos compostos referidos no parágrafo anterior, a emissão de fumos que contêm também compostos de crómio, níquel, molibdénio e nióbio (Jordan, 2002; Matczak e Gromiec, 2003; Matusiak et al., 2004).

Quando a soldadura do aço é executada com eléctrodos revestidos é adicionalmente acompanhada pela emissão de compostos de sódio, potássio, cálcio e magnésio (Matusiak e Rams, 2003; Matusiak et al., 2004).

A figura 2.5 apresenta a classificação geral de partículas e gases produzidos durante a soldadura de metais quanto à sua acção sobre o organismo humano (Gomes, 1992).

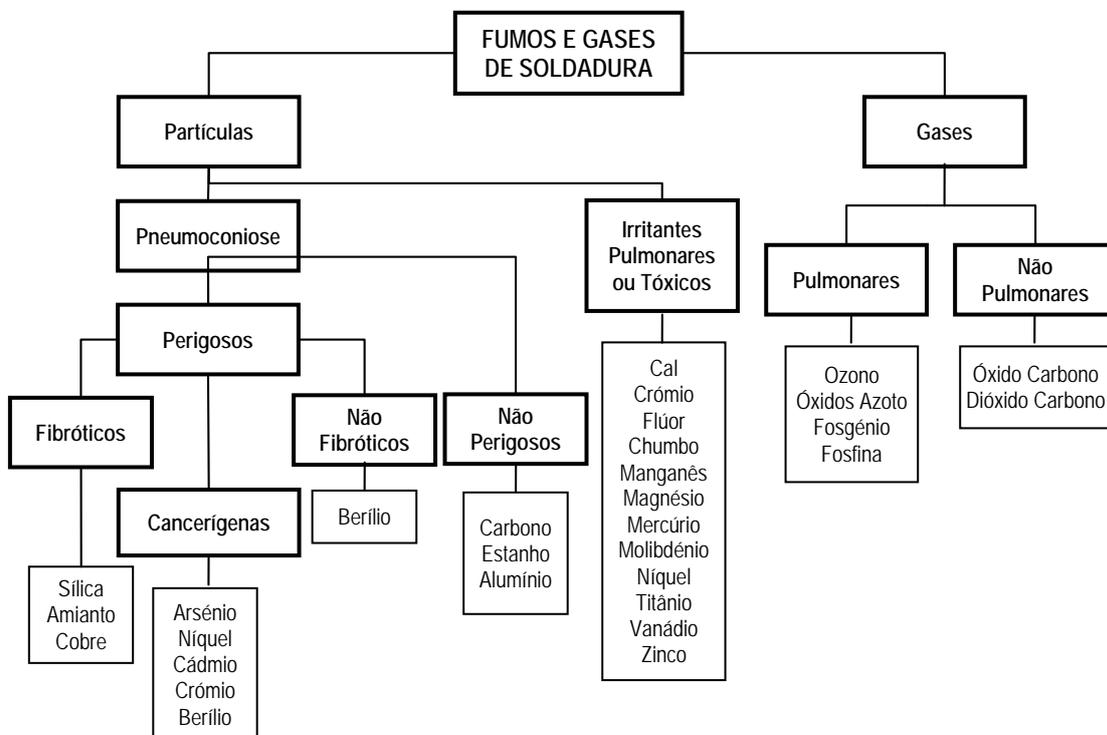


Figura 2.5 - Partículas e gases contidos em fumos de soldadura (Gomes, 1992)

Um estudo concluiu que 25 a 55%, da amostra recolhida, resultante da exposição de trabalhadores a fumos de soldadura, era constituída por fumos metálicos (Linden e Surakka, 2009).

Na tabela 2.1 estão expressos os valores relativos aos fumos metálicos resultantes de um estudo desenvolvido em 2010 (Keane et al., 2010) e relacionado com o processo de soldadura GMAW. Foram considerados 5 sub-processos de soldadura com variações dos modos de transferência do metal (curto circuito – SC, spray – AXS e spray em modo pulsado - PAXS) e da composição dos gases de protecção. É interessante analisar os resultados obtidos comparando as variações dos diversos componentes dos fumos de soldadura, em cada sub-processo, considerando as percentagens das massas relativas a cada componente e dos valores correspondentes às percentagens dos gases de protecção utilizados.

Tabela 2.1 - Fumos metálicos em percentagem de massa (Keane et al., 2010)

Processo / Gás	Cr (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Ni (%)
GMAW – SC 75% He/25% Ar	11 ± 5	0,13 ± 0,0	26 ± 0,5	11 ± 0,1	3,4 ± 0,5
GMAW – AXS 95% Ar/5% CO ₂	7,8 ± 4	0,10 ± ,03	24 ± 0,0	7,1 ± 0,0	3,4 ± 0,5
GMAW – SC 95% Ar/5% CO ₂	6,0 ± 5	0,11 ± ,03	20 ± 0,1	12 ± 0,5	2,7 ± 0,3
GMAW – AXS 95% Ar/5% O ₂	8,1 ± 6	0,09 ± ,06	24 ± 0,1	8,0 ± 0,5	3,6 ± 0,4
GMAW – PAXS 98% Ar/2% O ₂	6,7 ± 8	0,12 ± 0,1	17 ± 0,3	15 ± 0,5	2,4 ± 0,4

Um estudo realizado em 2009 (Nicácio, 2009) com o objectivo de determinar a exposição a fumos metálicos de soldadura, no processo GTAW, obteve os resultados expressos na tabela 2.2. A avaliação teve como referência os valores propostos pela ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) de 2007. Chegou à conclusão que os trabalhadores estão expostos a um risco moderado e da existência da necessidade de controlo da exposição.

Tabela 2.2 – fumos metálicos no processo de soldadura GTAW (Nicácio, 2009)

Amostra	Ferro (Fe) (mg/m ³)	Crómio (Cr) (mg/m ³)	Manganês (Mn) (mg/m ³)
1	0,5655	0,1270	0,0514
2	0,6089	0,1140	0,0485
3	0,7128	0,1495	0,0429
4	0,6325	0,1810	0,0497
5	0,6597	0,1632	0,0565
6	0,7039	0,1570	0,0619
Somatório	3,8833	0,8917	0,3109
Média	0,6472	0,1486	0,0518
Limite de exposição	1,0000	0,5000	0,2000
Nível de acção	0,5000	0,2500	0,1000

Foi realizado um estudo em 2010 (Amza et al., 2010) com o objectivo de quantificar a emissão de poluentes (CO, NO, NO₂, SO₂, NO_x e H₂S), na realização da soldadura oxi-acetilénica, utilizando como material de base, aço S235JR, e como material de adição, aço E70S. Este estudo foi realizado para os tipos de chama neutra, oxidante e redutora. Os resultados estão resumidos na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Emissão de gases no processo de soldadura oxi-acetilénica (Amza et al., 2010)

Tipo de Chama	Caudal C ₂ H ₂ (m ³ /h)	Caudal O ₂ (m ³ /h)	Valores máximos de poluentes (ppm)					
			CO	NO	NO ₂	SO ₂	NO _x	H ₂ S
Neutra	1,5	1,5	160	26	4	14	29	1
Redutora	1,5	1,75	512	10	4	3711	10	0
Oxidante	2	1,75	311	103	3	135	106	0

Pela análise dos elementos constantes na tabela verifica-se que a maior concentração de monóxido de carbono foi registada na chama redutora (CO max = 512 ppm) e a menor na chama neutra (CO min = 160) ppm; a maior concentração de óxido de azoto verificou-se na chama oxidante (NO max = 103 ppm) e a menor na chama redutora

(NO min = 10 ppm); a maior concentração de dióxido de azoto foi verificada na chama neutra e redutora (NO₂ max = 49 ppm) e a menor na chama oxidante (NO₂ min = 10 ppm); a maior concentração de dióxido de enxofre se verificou na chama redutora (SO₂ max = 3711 ppm) e a menor na chama neutra (SO₂ min = 10 ppm); O sulfureto de hidrogénio foi verificado apenas na chama neutra (H₂S max = 1 ppm).

2.3 Ciclo toxicológico de alguns elementos

Após terem sido expostos aos fumos de soldadura importa ter em atenção factores como a forma de absorção dos elementos que compõem os referidos fumos, o tempo de exposição, a dose na exposição e a dose interna ou de impregnação.

A dose externa ou de exposição é expressa em mg/m³ e corresponde à quantidade de substância existente no ambiente e a dose interna ou de impregnação, expressa em mg/dl, corresponde à quantidade de substancia absorvida pelo organismo (Uva, 2002).

Cada elemento constituinte dos fumos de soldadura possui características específicas e conseqüentemente a toxicinética e a toxidinâmica, resultante da exposição aos diversos constituintes, terão também especificidades próprias.

Dos elementos contidos nos fumos de soldadura e tendo por base factores relacionados com a frequência de exposição ou perigosidade foram seleccionados o alumínio, cádmio, crómio, níquel e manganês e, relativamente a cada substancia, indicadas algumas características do seu ciclo toxicológico.

a) Alumínio

Penetração e absorção: O alumínio penetra no organismo por inalação e via oral, não constituindo a pele uma via de penetração desta substancia (ATSDR, 2008a).

Considera-se que a absorção do alumínio no ar ocorre através dos pulmões e tracto gastrointestinal após depuração das secreções a partir do tracto respiratório (ICRP, 1994).

Estudos realizados em 1987 e 1993 (Perl e Good, 1987; Zatta et al., 1993) demonstraram que o alumínio pode entrar directamente no cérebro através do tracto olfactivo.

O alumínio ingerido é absorvido pelo tracto gastrointestinal. Os compostos ligantes presentes nos alimentos podem ter um efeito importante sobre a absorção de alumínio, visto poderem aumentar a absorção através da formação de absorvíveis

(normalmente solúveis em água) complexos (por exemplo, com ácidos como o ácido cítrico e láctico), ou reduzi-lo através da formação de compostos insolúveis (por exemplo, com fosfato ou silicato dissolvido). Existe uma forte evidência de que o agente com maior importância para a absorção de alumínio em seres humanos é o ácido cítrico, que é um constituinte de muitos alimentos e bebidas e pode estar presente no intestino em concentrações elevadas (Reiber et al., 1995).

Distribuição: Como resultado da inalação existem elevadas concentrações de alumínio nos pulmões, nódulos linfáticos, fígado e baço (Teraoka, 1981).

O alumínio tem uma distribuição uniforme pelo corpo após a exposição oral. A acumulação de alumínio é superior no baço, fígado, ossos e rins do que no cérebro, músculos, coração e pulmões (Greger e Sutherland, 1997).

Metabolização: O alumínio é sempre encontrado ligado a outros produtos químicos e estes podem alterar as afinidades dentro do corpo. Pode formar complexos de baixo peso molecular e tendo uma afinidade elevada com as proteínas, polinucleotídeos, e glicosaminoglicanos pode existir no organismo fisicamente ligado a estas substâncias (ATSDR, 2008a).

Eliminação: A excreção urinária é a principal via de eliminação do alumínio absorvido após exposição por inalação nos seres humanos (ATSDR, 2008a).

Após a ingestão, o alumínio absorvido pelo sangue é eliminado ao nível dos rins e excretado na urina (Gorsky et al., 1979; Greger e Baier, 1983).

O alumínio não absorvido é excretado, principalmente, pelas fezes (ATSDR, 2008a).

Ação sobre o organismo: Não foram encontrados estudos sobre mortes, em seres humanos, resultantes da exposição aguda, ou de duração média, ao alumínio. A eventual associação entre a exposição ao alumínio e a doença de Alzheimer não se mostrou conclusiva (ATSDR, 2008a).

b) Cádmio

Penetração e absorção: o cádmio penetra no organismo por inalação, por via oral e dérmica. Quando inalado, as partículas deste composto, de acordo com o diâmetro das mesmas, depositam-se nas vias aéreas superiores e nos alvéolos pulmonares onde são absorvidas. Assim, o tamanho de partícula controla a deposição alveolar sendo um determinante importante na absorção do cádmio ao nível dos pulmões (Nordberg et al., 1985).

Muito do cádmio ingerido passa através do tracto gastrointestinal sem ser absorvido (Kjellstrom et al., 1978). A medição da absorção gastrointestinal é complicada porque a dose retida no sistema gastrointestinal é considerada como absorvida mas alguma porção da mesma pode ficar retida na mucosa intestinal sem passar para a corrente sanguínea (Foulkes, 1984)

Os estudos realizados sugerem que a absorção dérmica é lenta e será preocupante no caso das soluções concentradas estarem em contacto com a pele durante várias horas (ATSDR, 2008b).

Distribuição: como resultado da inalação, o cádmio foi encontrado em amostras da autópsia de um trabalhador, amplamente exposto, em quase todos os órgãos mas com maiores concentrações no fígado, pâncreas, rins e vértebras (Friberg, 1950). Nos trabalhadores que morreram por inalação ao cádmio, a concentração nos pulmões era inferior à concentração de cádmio no fígado ou rins (Beton et al., 1966).

Na sequência da exposição oral, o cádmio pode ser detectado em praticamente todos os tecidos, com maiores concentrações no fígado e nos rins (Chung et al., 1986; Sumino et al., 1975).

Em consequência da exposição dérmica não foi detectada distribuição de cádmio no organismo (ATSDR, 2008b).

Metabolização: o cádmio não sofre biotransformação enzimática. O seu metabolismo restringe-se a uma cinética de distribuição e excreção (ATSDR, 2008b).

Eliminação: a maior parte do cádmio ingerido é transportado para o intestino e excretado pelas fezes. A excreção do cádmio absorvido por inalação é realizada através da urina. Nenhum estudo foi conclusivo relativamente à excreção após exposição dérmica ao cádmio (ATSDR, 2008b).

O cádmio absorvido é expelido muito lentamente com a excreção urinária e fecal a ser aproximadamente igual (Kjellström e Nordberg, 1978). O período de meia-vida do cádmio no corpo humano é superior a 26 anos (Shaikh e Smith, 1984).

Acção sobre o organismo: a exposição, por inalação, a níveis elevados de fumos de óxido de cádmio é intensamente irritante para o tecido respiratório mas os sintomas podem ser retardados. Numa exposição aguda até 5 horas são evidenciados poucos sintomas de toxicidade; de 4 a 10 horas os sintomas de gripe começaram a aparecer como a tosse, aperto no peito, dor no peito com tosse, dispneia, mal estar geral, dor, frio, sudorese, calafrios, dores nas costas e membros; De 8 horas a 7 dias, após a

exposição, verifica-se uma situação pulmonar de maior gravidade com dispneia intensa, pieira no peito, dor no peito e constrição precordial, tosse persistente, fraqueza e mal-estar, anorexia, náuseas, diarreia, noctúria, dor abdominal, hemoptise e prostração (Beton et al., 1966).

Numerosos estudos têm demonstrado que a exposição aguda por inalação de cádmio pode causar a morte em seres humanos (ATSDR, 2008b). Durante a exposição aguda, os sintomas gerais são relativamente leves mas, passados poucos dias após a exposição, verifica-se o desenvolvimento do edema pulmonar grave e pneumonia química, levando à morte por insuficiência respiratória (Beton et al., 1966; Lucas et al., 1980).

c) Crómio

Penetração e absorção: o crómio penetra no organismo por inalação, por via oral e dérmica. Quando inalado, o óxido de crómio Cr_2O_3 , também conhecido por crómio (III), e o crómio (VI) são absorvidos ao nível dos pulmões (Cavalleri e Minoia, 1985; Gylseth et al., 1977) e na maioria das situações o crómio (VI) é absorvido mais rapidamente do que o crómio (III) (ATSDR, 2008c). A quantidade de crómio (VI) absorvido pelo sangue, ao nível dos pulmões, é três vezes superior à do crómio (III) (Suzuki et al., 1984).

O crómio (III) tem dificuldade em ser absorvido no tracto gastrointestinal ao contrário do crómio (VI) (Anderson et al., 1983; Donaldson e Barreras, 1966). O crómio (VI) pode ser reduzido para crómio (III) quando colocado numa solução de ácido ascórbico (Kerger et al., 1996). Existem resultados de estudos que comprovam que o suco gástrico pode reduzir o cromo (VI) para Crómio (III) (De Flora et al., 1987). Pode-se concluir que a absorção de crómio (VI) será realizada após ter sido esgotada a possibilidade de transformação, de crómio (VI) para crómio (III), ao nível do estômago.

Na exposição dérmica, tanto o crómio (III) como o crómio (VI) podem penetrar na pele humana sobretudo quando a pele apresenta alguns danos (ATSDR, 2008c).

Distribuição: como resultado da absorção, por inalação, o crómio distribui-se no organismo ao nível do cérebro, parede da faringe, pulmões, fígado, aorta, rins, músculo reto abdominal, glândula supra-renal, medula óssea do osso esterno e pele abdominal. Os níveis de crómio observados nos pulmões apresentam valores superiores aos existentes no fígado e rins. O crómio pode ser distribuído para os fetos, através da placenta (ATSDR, 2008c).

Também é possível que o crómio possa ser distribuído, nas mulheres lactantes, através do leite materno, como foi verificado em mulheres expostas a este composto (Shmitova, 1980).

Nos seres humanos expostos ao crómio, pela via dérmica, estão vulneráveis a efeitos tóxicos, provocados por este composto, no coração, estômago, sangue, músculos e rins (ATSDR, 2008c).

Metabolização:

O crómio (III) actua como micronutriente básico para o metabolismo de hidratos de carbono e lípidos (Schroeder, 1968) e na forma de crómio (VI) como agente carcinogénico e genotóxico (Leonard et al., 1984; Levy e Venitt, 1986).

O crómio (VI) é instável no interior do corpo e é reduzido para crómio (III) por uma variedade de agentes redutores. O crómio (V) e crómio (IV) constituem compostos intermédios, transitórios, neste processo (ATSDR, 2008c).

Nos pulmões, a redução de crómio (VI) pelo fluido de revestimento epitelial (ELF) pode constituir a primeira linha de defesa contra a toxicidade dos compostos inalados. Por outro lado, a absorção e redução dos compostos de crómio pelos macrófagos alveolares pulmonares pode formar uma segunda linha de defesa contra a toxicidade pulmonar de crómio (VI) (ATSDR, 2008c).

Após a exposição por via oral, a primeira defesa contra o crómio (VI) é a redução deste composto para crómio (III), no ambiente gástrico, onde o suco gástrico (De Flora et al., 1987) e o ácido ascórbico (Samitz, 1970) são fundamentais para este processo.

O fígado possui também capacidade para reduzir o crómio (VI). Este mecanismo de redução ocorre por acção da glutathione (ATSDR, 2008c).

A redução de crómio (VI) nos eritrócitos ocorre também por acção da glutathione. A membrana celular do eritrócito é permeável ao crómio (VI), mas não ao crómio (III). Assim, o crómio (III) gerado por redução do crómio (VI) mantém-se retido no interior do eritrócito durante o tempo de vida da célula (Paustenbach et al., 2003). Supõe-se que a taxa de absorção de crómio (VI) pelos eritrócitos não pode exceder a sua capacidade para a redução de crómio (VI) para crómio (III) (Corbett et al., 1998).

Eliminação: Na sequência da exposição por inalação, a eliminação do crómio é realizada por excreção através da urina. É possível numa análise à urina não ser detectado o composto de crómio (VI), indicando este facto que o composto foi reduzido para crómio (III) antes da excreção (Minoia e Cavalleri, 1988).

Dada a baixa absorção de compostos de crómio, por via oral, a principal via de excreção após esta via de exposição é através das fezes (ATSDR, 2008c).

A Informação relativa à excreção de crómio, em seres humanos, após à exposição dérmica é limitada (ATSDR, 2008c).

Acção sobre o organismo:

O aparelho respiratório é um dos principais alvos da exposição por inalação aos compostos de crómio. Muitos estudos relacionados com trabalhadores expostos aos compostos de crómio (VI) relatam situações de perfuração do septo nasal e outros efeitos como o aumento do risco de cancro do sistema respiratório (ATSDR, 2008c).

Existem relatos de efeitos graves no fígado causados pela exposição ao crómio (VI) em trabalhadores da indústria de cromagem. Perturbações nas células do fígado, necrose, infiltração linfocitária e histiocitária, e o aumento nas células de Kupffer foram os efeitos relatados (ATSDR, 2008c).

São conhecidos relatos de casos de ingestão, acidental ou intencional, de cromio que resultaram na morte de seres humanos. Algumas situações de morte após ingestão de crómio VI descrevem a existência de efeitos respiratórios e de efeitos cardiovasculares como parte das sequelas que conduziram à morte (ATSDR, 2008c).

Os efeitos gastrointestinais, após a exposição oral a crómio (VI), têm revelado ulceração gastrointestinal (Kaufman et al., 1970) assim como hemorragia gastrointestinal e necrose extensa de todo o aparelho digestivo (Loubieres et al., 1999). Têm sido observados danos no fígado consubstanciados pelo desenvolvimento de icterícia, aumento bilirrubina, e aumento da desidrogenase láctica no soro, assim como problemas nos rins como insuficiência renal aguda, caracterizada por proteinúria, hematúria e anúria (ATSDR, 2008c).

Um estudo encontrou elevadas taxas de mortalidade de cancro no estômago em áreas onde existiam níveis elevados de crómio na água (Beaumont et al., 2008).

A exposição dérmica a compostos de crómio pode causar queimaduras quando em contacto com a pele. Estas queimaduras podem facilitar a absorção do composto e conduzir à toxicidade sistémica. Queimaduras na pele, bolhas, e úlceras da pele estão associadas ao contacto directo com soluções de compostos de crómio, mas a exposição da pele a fumos e gases, de compostos de crómio, pode também contribuir para esses efeitos (ATSDR, 2008c).

d) Níquel

Penetração e absorção: o níquel penetra no organismo por inalação, por via oral e dérmica.

À semelhança de outros compostos, as partículas de níquel inaladas são depositadas no tracto respiratório, superior e inferior, e absorvidas por vários mecanismos de acordo com o tamanho da partícula. As partículas com diâmetro compreendido entre 1 e 5 µm são depositadas entre a traqueia e a região dos brônquios. As de menor dimensão, com diâmetro inferior a 1 µm, penetram na região alveolar dos pulmões onde, uma fracção é absorvida pelo sangue (ATSDR, 2008e).

Nos seres humanos, cerca de 20 a 35% do níquel inalado e retido nos pulmões é absorvido pelo sangue (Bennett, 1984; Grandjean, 1984). A parte restante é ingerida, expectorada, ou permanece no tracto respiratório.

Um estudo realizado, utilizando um isótopo estável de níquel, estimou que 29 a 40% do composto ingerido foi absorvido (com base nos dados de excreção de fezes) (Patriarca et al., 1997).

Outros estudos concluíram que a absorção a partir do tracto gastrointestinal é 40 vezes superior se o níquel foi ingerido dissolvido em água do que juntamente com alimentos (Sunderman et al., 1989). Estes dados indicam que a presença de alimentos reduz, significativamente, a absorção do níquel.

Estudos realizados concluíram que o níquel pode penetrar na pele (Fullerton et al., 1986; Norgaard, 1955). Um outro estudo constatou que o sulfato de níquel aplicado na pele, cerca de 55 a 77% foi absorvido num período de 24 horas, sendo a maior quantidade absorvida nas primeiras horas após a aplicação (Norgaard, 1955). Neste estudo não foi determinado se o níquel foi absorvido pelas camadas mais profundas da pele ou pela corrente sanguínea.

O níquel aplicado directamente na pele pode ser por ela absorvido, e aí permanecer, em vez de entrar na corrente sanguínea (ATSDR, 2008e).

Distribuição: as concentrações mais elevadas de níquel encontram-se nos pulmões, pele, glândulas supra-renais, e nos intestinos. A hipófise pode acumular níquel se a exposição ocorrer durante a gravidez (ATSDR, 2008e).

Metabolização: o metabolismo do níquel consiste em reacções de troca de ligandos (Sarkar, 1984). No soro humano a porção permutável de níquel é ligado à albumina, L-histidina e α 2-macroglobulina (ATSDR, 2008e).

Eliminação: Como resultado da exposição por inalação, o níquel é detectado na urina dos trabalhadores (Angerer e Lehnert, 1990; Elias et al., 1989). As concentrações mais elevadas de níquel na urina foram detectadas em trabalhadores expostos a compostos de níquel solúveis do que nos expostos a compostos menos solúveis. Conclui-se que os compostos solúveis são mais facilmente absorvidos a partir do trato respiratório (Torjussen e Andersen, 1979).

Em consequência da inalação verificou-se que o níquel foi também excretado através das fezes dos trabalhadores, mas este facto terá resultado da depuração das secreções a partir do sistema respiratório para o tracto gastrointestinal (Hassler et al., 1983).

Quando se verifica a exposição oral ao níquel, a maior quantidade deste composto é excretado através das fezes significando, este facto, que existe níquel não absorvido no organismo (Patriarca et al., 1997). O níquel absorvido a partir do tracto gastrointestinal é excretado na urina.

Na sequência da exposição dérmica não foram encontrados estudos que fizessem referência à excreção de níquel (ATSDR, 2008e).

Acção sobre o organismo: de um modo geral os estudos relatam uma maior incidência de mortes por cancro, nos pulmões e na região nasal, em trabalhadores expostos aos compostos de níquel.

Alguns estudos examinaram também potenciais efeitos no trato respiratório, não associados com a ocorrência de mortes. A redução da capacidade respiratória foi observada em soldadores de aço inoxidável expostos a níveis elevados de níquel e crómio (Kilburn et al., 1990).

Têm sido relatados alguns efeitos imunológicos. Um estudo que envolveu um conjunto de trabalhadores expostos a compostos de níquel detectou aumentos significativos nos níveis de imunoglobulina G, IgG, IgA, e IgM e uma diminuição significativa nos níveis de IgE (Bencko et al. 1983, 1986).

A dermatite é uma resposta alérgica ao níquel e manifesta-se através do contacto com compostos deste metal.

e) Manganês

Penetração e absorção: o manganês penetra no organismo por inalação e via oral sendo extremamente limitada a absorção por via dérmica (ATSDR, 2008d).

A absorção por inalação verifica-se em função do tamanho de partícula, em virtude desta variável determinar a extensão e localização da deposição de partículas no trato respiratório. As partículas de menor diâmetro são depositadas na parte inferior da via respiratória sendo o manganês absorvido pelo sangue. As partículas de maior diâmetro podem ser depositadas na mucosa nasal e transportadas directamente para o cérebro através dos nervos olfactivos. De outro modo, as partículas que são depositadas no tracto respiratório superior ou inferior podem ser transportadas através da depuração mucociliar e ingeridas. Assim, o manganês pode ser absorvido na mucosa nasal, nos pulmões e no tracto gastrointestinal (ATSDR, 2008d).

A absorção de manganês depositado nos pulmões é mais elevada para as formas solúveis do manganês, comparativamente com as formas insolúveis (Aschner et al., 2005).

Mesmo que a ingestão diária de manganês possa variar substancialmente, os seres humanos adultos, em geral, mantêm os níveis estáveis deste elemento através da regulação da absorção gastrointestinal e excreção hepatobiliar (Andersen et al., 1999; Aschner e Aschner, 2005).

Distribuição: o manganês é localizado no cérebro e em todos os outros tecidos com variações na acumulação deste composto. Como exemplo, o fígado, o pâncreas e os rins têm geralmente concentrações mais elevadas de manganês do que os outros tecidos (Dorman et al., 2006).

Metabolização: o manganês pode sofrer alterações do estado de oxidação no interior do organismo. Esta hipótese tem como suporte a observação do estado de oxidação do ião de manganês, em várias enzimas, como sendo Mn (III) (Leach e Lilburn, 1978; Utter, 1976), enquanto o manganês ingerido está, geralmente, na forma de Mn (II) ou Mn (IV).

Eliminação: o manganês absorvido é eliminado do sangue ao nível do fígado, onde se conjuga com a bÍlis, sendo transportado para o intestino. A secreção biliar é a principal via pela qual o manganês atinge o intestino onde a maior parte do composto é excretado pelas fezes (Bertinchamps et al., 1965; Davis et al., 1993). No entanto,

algum do manganês existente no intestino pode ser reabsorvido através da circulação entero-hepática (Schroeder et al., 1966).

A inalação de cloreto de manganês ou tetróxido de manganês, cerca de 60% do composto é depositado nos pulmões e é excretado nas fezes num período de 4 dias (Mena et al., 1969). Pequenas quantidades de manganês também podem ser encontradas na urina, suor e leite (EPA, 1993).

Após a exposição dérmica ao manganês não foi detectada a excreção deste composto (ATSDR, 2008d).

Acção sobre o organismo: não existem estudos conclusivos que estabeleçam uma relação entre a exposição e inalação de manganês e a morte de seres humanos (ATSDR, 2008d).

A inalação de partículas de compostos de manganês, tais como dióxido de manganês ou tetróxido de manganês pode conduzir a uma resposta inflamatória no pulmão (ATSDR, 2008d).

Sintomas e sinais de irritação e lesões pulmonares, podem incluir bronquite, tosse, pneumonia, e pequenas limitações na função pulmonar (Abdel-Hamid et al., 1990).

Existem evidências conclusivas de estudos, em seres humanos, em que a exposição por inalação a níveis elevados de compostos de manganês (normalmente dióxido de manganês, mas também compostos com Mn (II) e Mn (III)) pode conduzir a um síndrome neurológico, incapacitante, designado por manganismo. Este síndrome é uma doença progressiva que começa normalmente com sintomas relativamente leves, que evoluem para efeitos mais preocupantes como alteração do andamento, tremores ligeiros e, por vezes, perturbações psiquiátricas (ATSDR, 2008d).

Apesar da semelhança entre alguns efeitos provocados pelo manganismo e a doença de Parkinson existem diferenças significativas entre estas duas doenças (Barbeau, 1984).

Os primeiros sinais da doença são geralmente subjectivos, muitas vezes envolvendo fraqueza generalizada, peso ou rigidez das pernas, anorexia, dor muscular, nervosismo, irritabilidade e dor de cabeça (Mena et al., 1967; Nelson et al., 1993). Estes sinais são frequentemente acompanhados por apatia, impotência e perda da libido (Abdel-Hamid et al., 1990).

Os efeitos do manganismo são considerados, em grande parte, irreversíveis, mas algumas evidências indicam que a recuperação pode ocorrer quando a exposição cessa (Smyth et al., 1973).

Alguns estudos relatam efeitos cardiovasculares adversos após a exposição ocupacional ao manganês como a existência de uma menor pressão arterial sistólica, média, em trabalhadores expostos ao manganês (Saric e Hrustic, 1975).

Relatos de efeitos adversos, em seres humanos, pela ingestão de excesso de manganês são limitados. Existe apenas uma evidência, pouco fundamentada, em como a exposição oral poderá conduzir a efeitos neurológicos adversos (ATSDR, 2008d).

2.4 Potenciais consequências no organismo

A exposição a fumos de soldadura está associada a doenças pulmonares agudas e crônicas existindo compostos mais específicos que estão relacionados a problemas de saúde particulares, como por exemplo o óxido de crômio (CrO_3), também conhecido como crômio (VI), que está ligado ao cancro do pulmão.

A penetração no organismo dos fumos de soldadura acontece através das vias respiratória, digestiva e dérmica, embora a via respiratória seja considerada a mais importante. Convém, no entanto, não desprezar as outras duas vias referidas porque, a ingestão de alimentos contaminados ou com as mãos sujas e a absorção, pela pele, de partículas, reforçada por cortes ou outros danos no tecido dérmico, poderão ter um contributo importante para os danos no organismo.

De acordo com a Norma Europeia PT 481, a fracção inalável é a fracção de massa do total das partículas no ar que são inaladas através do nariz e boca.

Uma amostragem da fracção inalável deve estar em conformidade com o resultado obtido pela equação (McNeilly et al., 2004).

$$E_I = 50[1 + \exp(-0,06D)]$$

onde:

E_I - Percentagem de partículas no ar que devem ser recolhidas

D - Diâmetro aerodinâmico em micrómetros

A fracção respirável refere-se às partículas que se depositam nos alvéolos pulmonares e não são expelidas pela expiração, tosse ou por acção da expectoração.

Para se estudarem os fumos de soldadura deverão ser distinguidos três intervalos de tamanhos de partículas: as partículas a partir de alguns nanómetros até 0,1 µm, de 0,1 a 1 µm e de 1 até 20 µm (Berlinger et al., 2008).

Os metais em fumos de soldadura existem principalmente na fracção mais fina, o que se traduz num aumento do risco para a saúde dos trabalhadores, e as suas propriedades químicas podem mudar em função do diâmetro das partículas sendo recomendada uma análise, separada, de fracções de diferentes diâmetros. Maior atenção deve ser dada à fracção respirável dos fumos de soldadura, pois esta fracção tem, provavelmente, um maior impacto na saúde humana (Berlinger et al., 2008).

O efeito de uma exposição, a longo prazo, aos fumos de soldadura resulta em várias doenças do sistema respiratório (Matczak e Gromiec, 2003; Pires et al., 2006b; Voitkevich, 1995).

A deposição de partículas nos pulmões é designada por pneumoconiose, sendo este efeito a reacção do sistema respiratório à presença de partículas estranhas no pulmão (Gomes, 1992).

A pneumoconiose pode afectar os soldadores no início da actividade de soldadura como após vários anos de trabalho e é, consideravelmente, mais comum no caso de soldadores que trabalham em salas pequenas ou mal ventiladas, comparativamente com os que trabalham ao ar livre. Para além dos problemas ao nível dos brônquios e outras queixas pulmonares, que de forma significativa são a causa de doenças profissionais dos soldadores, podem ocorrer, em simultâneo, outros problemas de saúde como por exemplo, doenças do sistema nervoso, cardiovascular ou digestivo (Matczak e Gromiec, 2003; McMillan, 2006; Voitkevich, 1995).

A Agência Internacional para Pesquisa sobre o Cancro (IARC) declarou que os fumos da soldadura pertencem ao grupo de poluentes provavelmente cancerígenos para os humanos. Foi confirmado que tais componentes de fumos de soldadura como o níquel, crómio (VI), berílio e cádmio têm um efeito cancerígeno. O dióxido de silício, também presente nos fumos de soldadura, aumenta a predisposição dos pulmões a um número significativo de doenças infecciosas. A fibrose do tecido pulmonar está relacionada com a influência de crómio e níquel compostos emitidos durante a soldadura de aço inoxidável. A inalação de vapores de cobre, zinco, magnésio ou

níquel podem expor os soldadores a uma doença conhecida como febre dos fumos (Matusiak e Wycislik, 2009).

2.5 Interação entre substâncias químicas

A exposição, em simultâneo, a diferentes substâncias químicas pode ter resultados diferentes, dos expectáveis, quando essas substâncias são consideradas isoladamente.

As misturas são definidas como a combinação de dois ou mais agentes (Sexton e Hattis, 2007).

As misturas podem ser classificadas de diversas formas, por exemplo, misturas simples ou complexas (Groten et al., 2001).

As misturas simples contêm um número bem definido de componentes, ao contrário das misturas complexas (Ilona e Johan, 2011).

A toxicidade nem sempre é fácil de prever no caso de misturas complexas. A acção de alguns produtos químicos pode ser desconhecida e os efeitos de interação podem ser diferentes dependendo da relação entre as doses das misturas (Spurgeon et al., 2012).

A interação pode ser aditiva, quando o efeito tóxico da mistura corresponde ao somatório dos efeitos das substâncias; sinérgica, quando os efeitos da mistura são maiores do que a soma dos efeitos tóxicos das substâncias consideradas isoladamente; antagónica, quando os efeitos da mistura são menores do que o somatório dos efeitos das substâncias; potenciação, quando se verifica uma intensificação dos efeitos de apenas um dos componentes, na mistura, permanecendo o outro com o nível de efeitos inalterado (Rebelo, 2007).

Após a absorção da substância no organismo as interações podem ainda manifestar-se como competidores numa mesma função fisiológica; reagindo quimicamente e produzindo um novo composto; alterando a absorção, distribuição, biotransformação e excreção, interferindo na concentração e permanência do agente tóxico; como bloqueadores reagindo com o mesmo receptor e produzindo menor resposta (Rebelo, 2007).

2.6 Redução e controlo da emissão de fumos

As organizações que integram a gestão do risco na sua estrutura organizacional estão a apostar na prevenção como um princípio fundamental. É indispensável que se implementem processos que promovam acções integradas e metodológicas para evitar ou reduzir os riscos profissionais.

A prevenção teve uma nova abordagem na Directiva 89/391/CEE do Conselho, de 12 de Junho de 1989 quando passou a responsabilizar os empregadores por assegurarem a segurança e saúde dos seus trabalhadores. Esta Directiva impôs também um conjunto de obrigações para os trabalhadores pois, a prevenção resulta de uma boa articulação entre a entidade patronal e os seus colaboradores.

Os conhecidos princípios gerais da prevenção tiveram origem nesta Directiva e constituem um elemento fundamental na gestão da prevenção sendo importante que a sua hierarquia seja respeitada. Na tabela 2.4 estão expressos os princípios gerais de prevenção devendo os mesmos serem considerados sempre que se realiza um processo de avaliação de riscos.

Tabela 2.4 – Hierarquia dos princípios gerais da prevenção (Roxo, 2009)

Princípios Gerais da Prevenção	Matriz metodológica	
1. Evitar os riscos 2. Avaliar os riscos não evitados	Avaliação de riscos	Gestão dos riscos
3. Combater os riscos na origem 4. Adaptar o trabalho ao homem (equipamentos, postos, método e processos de trabalho) 5. Atender ao estado de evolução da técnica 6. Substituir o que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso 7. Planificar a prevenção com um sistema coerente (técnicas, organização, condições e ambiente de trabalho, relações sociais) 8. Priorizar a protecção colectiva relativamente à individual	Controlo de riscos	
9. Formar, informar e consultar os trabalhadores	Comunicação de riscos	

O estabelecimento destes princípios significa que a lei aponta para uma regra constrangedora de condução das opções preventivas, estatuidando a presunção de que a sua rigorosa observância conduz à obtenção do resultado a que o empregador está obrigado (Roxo, 2009).

O respeito pelos princípios gerais de prevenção na actividade de soldadura deve constituir uma prática integrada na gestão das organizações tendo como principal objectivo reduzir a emissão de fumos de soldadura e conseqüentemente minimizar os seus efeitos na saúde dos trabalhadores.

Evitar os riscos

Os riscos inerentes aos fumos de soldadura devem ser evitados na génese do projecto através da concepção de soluções que preconizem a supressão dos riscos. Para isso devem ser implementados um conjunto de procedimentos que controlem as aquisições de equipamentos, produtos e materiais, assim como, introduzidas medidas de gestão e de organização do trabalho para excluir as actividades com riscos profissionais.

Avaliar os riscos não evitados

Apesar do cumprimento dos procedimentos para a supressão dos riscos e do empenhamento das organizações na implementação de políticas direccionadas para a prevenção, existem riscos que não podem ser evitados. Estes riscos terão de ser caracterizados, definida a probabilidade da sua ocorrência e possíveis conseqüências. O processo usado para determinar as prioridades de gestão do risco, através da comparação do nível de risco com referências pré-determinadas, objectivos fixados ou qualquer outro critério designa-se por avaliação do risco (CSA, 1997).

Nesta fase devem ser identificados os processos de soldadura, os equipamentos utilizados, os consumíveis, materiais de base, gases de protecção e fumos de soldadura libertados para se determinar a magnitude do risco e estabelecer as prioridades na gestão dos riscos.

Combater os riscos na origem

A introdução de medidas de prevenção que combatam os riscos na origem, eliminando ou reduzindo a sua propagação, tem como finalidade racionalizar a utilização dos equipamentos e processos complementares direccionados para o controlo de riscos.

A redução da emissão de fumos de soldadura deve ser alcançada a partir da fonte de produção. Para esse efeito, a actuação preferencial deve incidir sobre os factores de

que depende a formação dos fumos e, como referido antes, esses factores podem ser resumidos como sendo a temperatura da superfície da gota, composição dos eléctrodos e composição do gás de protecção considerando as misturas utilizadas.

No caso da soldadura GMAW as soluções podem ser encontradas através da redução temperatura da gotícula durante a soldadura, o uso de consumíveis com revestimentos especiais em combinação com gases de protecção mais eficazes.

Verifica-se a necessidade de estudar a influência dos parâmetros de soldadura sobre as emissões libertadas de modo a que os profissionais da soldadura possam trabalhar num ambiente mais saudável (Terasaki e Simpson, 2005).

Adaptar o trabalho ao homem

A adaptação do trabalho ao homem constitui um dos princípios gerais da prevenção devendo, por isso, as organizações adaptarem os seus postos de trabalho em todas as suas vertentes como a concepção, a organização do espaço, métodos de trabalho, equipamentos e ferramentas com a finalidade de minimizar os efeitos do trabalho monótono, cadenciado e controlar os riscos que ponham em causa a saúde mental e física dos trabalhadores.

Atender ao estado de evolução da técnica

A evolução técnica deve ser uma procura constante e a melhoria contínua dos processos, equipamentos, produtos e materiais utilizados constitui uma mais-valia para as organizações e, conseqüentemente, para a segurança e saúde dos seus trabalhadores.

Nos processos de soldadura e na desejável redução da emissão de fumos, a evolução técnica e a introdução de novos métodos e equipamentos, mais seguros e tecnicamente mais adequados, é fundamental.

Para que se verifique uma redução da taxa de fumos utilizando a evolução técnica podem ser aplicadas diversas metodologias. A implementação de processos de soldadura robotizado e a utilização de fontes de alimentação automáticas poderão ser uma solução interessante para eliminar a exposição dos trabalhadores aos fumos de soldadura.

Na soldadura GMAW, a redução da formação de fumos está directamente relacionada com a dimensão da gota e a temperatura da mesma. A redução da gota e da sua temperatura acontece no modo de transferência ou numa zona de transição para

“spray”. Existem ligações metálicas que não requerem este modo de transferência e uma solução para estas situações passa pela utilização da corrente pulsada.

Têm vindo a ser desenvolvidos mecanismos de extracção de fumos directamente ligados à tocha de soldadura (figura 2.6). Estes dispositivos permitem criar uma autonomia nos soldadores evitando o transporte do equipamento de extracção quando as soldaduras são realizadas em diferentes locais. Uma das limitações no uso destes dispositivos está relacionada com o seu volume existindo a necessidade de se desenvolverem novos equipamentos, mais cómodos, de modo a permitir a sua utilização por períodos prolongados (Yapp et al., 2001).

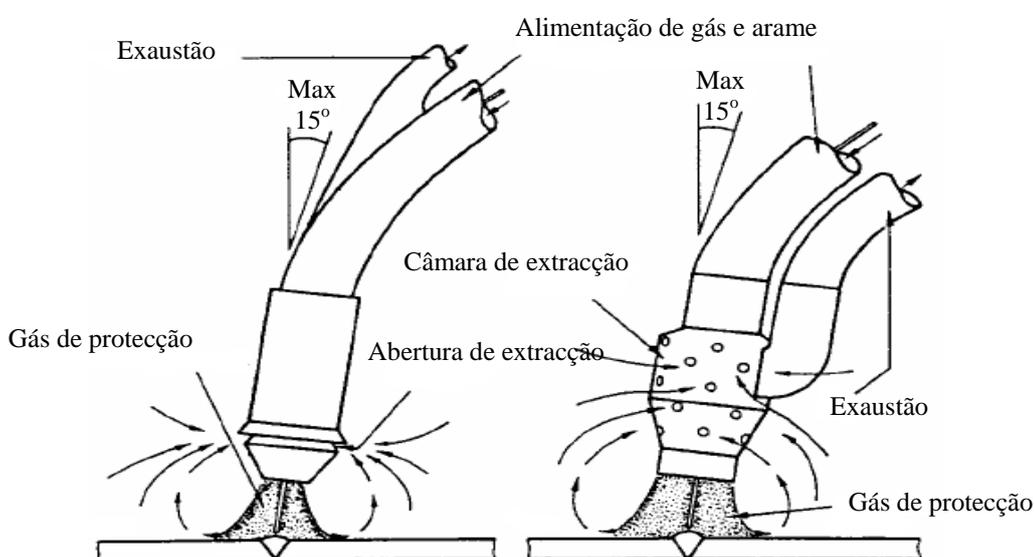


Figura 2.6 - Tocha com sistema de extracção de fumos integrado (Yapp et al., 2001)

Substituir o que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso

Sempre que seja viável e tecnicamente aceitável, as máquinas, equipamentos, produtos e processos perigosos devem ser substituídos, por outros, isentos de perigo ou menos perigosos. Este princípio aplicado à soldadura contribui para minimizar a exposição aos fumos inerentes a esta actividade.

Existem processos de soldadura que produzem taxas de fumos de soldadura mais baixas e sempre que possível deverá optar-se por estas soluções. Como exemplo, o processo de soldadura TIG e soldadura por arco submersa apresentam uma menor emissão de fumos embora tenham algumas limitações.

A utilização de correntes pulsadas e curto-circuitos controlados, também contribui para minimizar a exposição a fumos. O uso de misturas de gases de protecção convenientemente seleccionadas constitui também mais uma forma de redução de fumos de soldadura.

Priorizar a protecção colectiva relativamente à individual

Mesmo colocando em prática todas as medidas referidas anteriormente e do respeito pelos princípios gerais de prevenção, a emissão dos fumos de soldadura está certamente mais controlada mas não deixa de ser necessária a introdução de medidas adicionais como os equipamentos de protecção colectiva. A utilização destes equipamentos de protecção é prioritária relativamente ao uso dos equipamentos de protecção individual.

Como equipamentos de protecção colectiva a ventilação constitui uma solução flexível por não interferir com os processos de soldaduras. Os equipamentos de ventilação para redução de fumos incluem a ventilação natural, ventilação geral mecânica, e sistemas de ventilação local ou aspiração localizada.

A ventilação natural está dependente do fluxo de ar natural, através do espaço de trabalho, é pouco confortável mas poderá ser utilizada em grandes áreas de trabalho com um pé-direito elevado.

A ventilação geral, mecânica, tem por objectivo efectuar a renovação forçada do ar contribuindo deste modo para reduzir a taxa de concentração dos fumos de soldadura mantendo-os a valores inferiores aos limites de exposição. O processo de aspiração localizada é um sistema mais eficaz e pode ser utilizado isoladamente ou quando a ventilação geral não é suficiente para o controlo da exposição aos fumos de soldadura.

Quando as medidas de engenharia, organizacionais e de protecção colectiva não se mostrarem suficientes para o controlo do risco tem de se recorrer à utilização dos equipamentos de protecção individual. Relativamente à actividade de soldadura e em particular à exposição de fumos existe um conjunto vasto de equipamentos que deverão ser utilizados de acordo com as avaliações de risco realizadas e a necessidade de se colocar o risco a um nível aceitável.

Formar, informar e consultar os trabalhadores

A formação e informação constituem uma ferramenta transversal a todos os princípios gerais da prevenção. A entidade empregadora, os técnicos de segurança e os trabalhadores devem recorrer a esta ferramenta para conhecerem os riscos e as

consequentes medidas de prevenção e de protecção e as medidas a adoptar em situações de emergência.

A actividade de soldadura comporta riscos com magnitude acima dos valores aceitáveis constituindo a exposição aos fumos de soldadura um bom exemplo. A gestão do risco, nesta actividade, obriga à introdução de um conjunto de medidas de engenharia, organizacionais, de protecção colectiva e de protecção individual. Qualquer que seja a medida ou o conjunto de medidas adoptadas, a comunicação é um factor transversal a todas elas e sem a sua implementação adequada corre-se o risco das referidas medidas não surtirem os efeitos pretendidos.

Planificar a prevenção com um sistema coerente

A planificação da prevenção como um sistema coerente, embora esteja referenciado como o sétimo princípio foi aqui colocada como último por se considerar ser este princípio transversal a todos os outros. As organizações devem integrar todos os factores que contribuam para gerar uma identidade própria de valores e princípios relacionados com a segurança e uma cultura de prevenção que se materialize em todos os sectores da organização.

3 Estudo de caso nas oficinas de uma Câmara Municipal

O estudo de caso consiste numa investigação aprofundada, de um indivíduo, de uma família, de um grupo ou de uma organização (Fortin, 1999b).

O presente estudo de caso vai ser realizado nas oficinas de uma câmara municipal mais especificamente na serralharia civil.

3.1 Questão de partida

Identificar os principais factores de risco inerentes aos fumos de soldadura.

3.2 Pertinência/Relevância do estudo

O trabalho tem sido ao longo da história objecto de importantes estudos e reflexões, contudo, na realidade, são mais valorizados, com alguma frequência, os conceitos económicos e os índices de produtividade em detrimento da segurança e saúde dos trabalhadores.

Um importante número de indivíduos que trabalham, ocupa, desta forma, uma parte apreciável da sua vida adulta em actividades profissionais muitas vezes pouco interessantes e pouco gratificantes e nem sempre isentas de riscos para a sua saúde e segurança (Uva, 1998).

Pelo exposto, o presente estudo poderá dar o seu contributo na caracterização da actividade de soldadura realizada da Câmara Municipal e auxiliar a organização na procura de soluções para melhorar as condições de trabalho dos técnicos de soldadura introduzindo possíveis reajustamentos nos procedimentos e metodologias de trabalho.

3.3 Objectivos

3.3.1 Geral

Conhecer os factores de risco associados aos fumos de soldadura.

3.3.2 Específicos

- a) Conhecer os processos de soldadura mais frequentemente utilizados;
- b) Identificar as ligas metálicas utilizadas como materiais base da soldadura;

- c) Conhecer os consumíveis utilizados e revestimentos;
- d) Caracterização química dos fumos de soldadura libertados.

3.4 Questões de investigação

- a) Quais os processos de soldadura mais frequentemente utilizados?
- b) Quais as ligas metálicas utilizadas como material de base da soldadura?
- c) Que tipo de consumíveis e revestimentos são utilizados no processo de soldadura?
- d) Qual a caracterização química dos fumos de soldadura libertados?

3.5 Metodologia

A metodologia tem por objectivo delinear uma estratégia, consistente e considera apropriada, para alcançar as respostas que o processo de investigação se propõe a encontrar.

É na fase metodológica que se define a forma de proceder para obter as respostas às questões de investigação estabelecidas (Fortin, 2009).

O desenho de investigação é criado pelo investigador com vista a obter um plano que permita alcançar um conjunto de respostas válidas às questões de investigação (Fortin, 1999a).

Para se conseguirem respostas à questão de partida e às questões de investigação, este trabalho tem por referência o estudo exploratório descritivo, nível I (Fortin, 1999b) e a estrutura delineada para esse efeito está expressa nas alíneas seguintes:

- a) Caracterização da Organização;
- b) Caracterização do local de estudo;
- c) Caracterização das tarefas e actividades realizadas;
- d) Caracterização dos equipamentos, materiais de base e consumíveis utilizados no processo de soldadura;
- e) Caracterização dos fumos de soldadura libertados.

3.5.1 Caracterização da Organização

O Departamento da Câmara Municipal onde vai ser desenvolvido o presente estudo de caso tem por missão assegurar, a todos os serviços municipais, os meios de mobilidade e transporte adequados, em qualidade e quantidade, de modo a permitir o pleno exercício das suas actividades.

Para esse efeito estão-lhe atribuídas um conjunto de competências das quais importa destacar as seguintes:

- a) Assegurar a gestão e manutenção das viaturas respectivas garagens e oficinas municipais;
- b) Planear e executar a distribuição racional dos meios de transporte existentes, pelos diversos utilizadores;
- c) Assegurar o estacionamento, abastecimento de combustíveis, lavagem e assistência a pneus dos veículos da frota municipal;
- d) Estudar e propor o estabelecimento de políticas adequadas de renovação da frota municipal.

A evolução da frota municipal tem constituído uma das preocupações dos gestores deste Departamento ao longo dos últimos séculos. O crescimento da área urbana municipal, as exigências dos seus munícipes e a ambição de prestar um serviço público de qualidade, estiveram na base do desenvolvimento de políticas de apoio ao progresso da frota municipal.

3.5.2 Caracterização do local de estudo

A secção de serralharia civil é parte integrante de onze secções que compõem as oficinas do Departamento que gere este sector. O edifício onde funcionam estas oficinas ocupa uma área de 9700 m² não existindo separação entre as várias secções referidas.

O horário normal de funcionamento é das 08h00 às 16h00 de segunda a sexta-feira.

As actividades desenvolvem-se em três espaços das oficinas: no exterior do edifício, numa zona central do pavilhão e nas fossas. As actividades desenvolvidas na zona central do pavilhão são executadas directamente nas viaturas de remoção e em bancadas fixas.

A ventilação geral do pavilhão é efectuada por intermédio de grelhas de extracção instaladas no tecto e por intermédio de ventilação natural através das aberturas de entrada ao edifício.

A secção dispõe de aparelhos de extracção localizada, fixos e móveis, para os fumos de soldadura. Os equipamentos fixos estão instalados em bancada e destinam-se a soldaduras realizadas em peças de pequenas dimensões e os móveis são utilizados nas soldaduras realizadas nos veículos automóveis.

3.5.3 Caracterização das actividades

As actividades realizadas nesta secção são basicamente, soldaduras, cortes e desempanagens.

Os processos de soldadura mais utilizados são a soldadura oxi-acetilénica, a soldadura MIG/MAG utilizando um alimentador de fio semi-automatico e a soldadura manual por arco eléctrico.

3.5.4 Caracterização dos equipamentos

Para realização da soldadura semi-automática, MIG/MAG, é utilizado o equipamento modelo: LKA – 240; ano de fabrico: 2002; fabricante: ESAB, Comércio e Indústria de Soldadura, Lda.

As características deste equipamento estão referenciadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características do equipamento MIG/MAG

Velocidade de alimentação do fio	1-15 m/min
Valor máximo com factor de trabalho de 20%	200 A
Valor máximo com factor de trabalho de 60%	120 A
Fio Ø sólido não ligado	0,6-1,0
Fio Ø, aço inox	0,6-1,0
Tensão em circuito aberto	37 V

A parametrização deste equipamento é manual sendo a velocidade do fio e a tensão da soldadura definidas pelo soldador.

Na soldadura manual por arco eléctrico é utilizado o equipamento fabricado pela Empresa Castolin, modelo Xuper Max. Este equipamento possui as características que constam na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características do equipamento para soldadura manual por arco-eléctrico

Gama de corrente de soldadura	10 - 250 A
Valor máximo com factor de trabalho de 40%	250 A
Valor máximo com factor de trabalho de 100%	160 A
Tensão em circuito aberto	76 V
Potencia máxima de entrada (ciclo trabalho 100%)	12,1 kVA

Os maçaricos utilizados na soldadura oxi-acetilénica são fabricados pela empresa Manofrigido com a referência MFS01. A chama de soldadura é regulada pelo soldador de acordo com as características específicas da operação de soldadura.

3.5.5 Caracterização dos consumíveis e materiais de base

Na realização da actividade de soldadura são utilizados um conjunto diferenciado de consumíveis sobre diferentes tipos de materiais base que correspondem, na sua maioria, aos aços utilizados nas carroçarias das viaturas de recolha de resíduos urbanos.

Os eléctrodos, fios e varetas são classificados de acordo com a norma DIN - Deutsches Institut für Normung, EN – Normas Europeias, ISO - International Organization for Standardization ou especificações AWS - American Welding Society.

3.5.5.1 Consumíveis

Na soldadura por arco eléctrico são utilizados os seguintes consumíveis:

Eléctrodo básico, E7018 (AWS)

Segundo Fortes (2005) o revestimento básico apresenta as seguintes características:

- melhores propriedades mecânico metalúrgicas, destacando-se a tenacidade;
- elevados teores de carbonato de cálcio e fluorita, gerando um metal de solda altamente desoxidado e com muito baixo nível de inclusões complexas de sulfetos e fosfetos;

- não opera bem em CA, quando o teor de fluorita é muito elevado;
- escória fluida e facilmente destacável;
- cordão de média penetração e perfil plano ou convexo;
- requer re-secagem a temperaturas relativamente altas;
- após algumas horas de contacto com a atmosfera, requer re-secagem por ser altamente higroscópico (Fortes, 2005).

O eléctrodo E7018 corresponde à versão mais moderna do eléctrodo de baixo hidrogénio. A adição de quantidades consideráveis de pó de ferro ao revestimento resulta num arco mais suave e gerador de menos salpicos.

De acordo com as especificações AWS os eléctrodos EXX18 possuem a classificação expressa na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Classificação dos eléctrodos EXX18 para aços carbono (Fortes, 2005)

Corrente	Arco	Penetração	Revestimento/escória	Pó de ferro
CA/CC+	médio	média	baixo hidrogénio - potássio	25-40%

O eléctrodo revestido E7018, tendo por base as especificações AWS, possui a composição química expressa na tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Requisitos químicos para o eléctrodo E7018 para aços carbono (Fortes, 2005)

Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Mn+Ni+Cr+Mo+V
≤1,60%	≤0,75%	≤0,30%	≤0,20%	≤0,30%	≤0,08%	≤1,70%

Eléctrodo rutílico, E6013 (AWS)

Segundo Fortes (2005) o revestimento rutílico apresenta as seguintes características:

- consumível de uso geral;
- revestimento apresenta até 50% de rutilo (TiO₂);
- média penetração;
- escória de rápida solidificação, facilmente destacável;

- o metal de solda pode apresentar um nível de hidrogénio alto (até 30 ml/100g);
- requer ressecagem a temperatura relativamente baixa para que o metal de solda não apresente porosidades grosseiras (Fortes, 2005).

O eléctrodo E6013 contém uma grande percentagem de dióxido de titânio (rutilo - TiO₂) no seu revestimento. São projectados para ter um arco de baixa penetração permitindo que metais de pequenas espessuras sejam soldados sem furar a peça. O revestimento contém compostos de potássio suficientes para estabilizar o arco na soldadura de corrente alternada.

De acordo com as especificações AWS os eléctrodos EXX13 têm a classificação referenciada na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Classificação dos eléctrodos EXX13 para aços carbono (Fortes, 2005)

Corrente	Arco	Penetração	Revestimento/escória	Pó de ferro
CA/CC-/CC+	suave	média	rutilico - potássio	0-10%

O eléctrodo revestido E6013, tendo por base as especificações AWS, possui a composição química expressa na tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Elementos químicos depositados pelo eléctrodo E6013 para aços carbono (ESAB, 2011)

Mn	Si	Ni
≤0,07%	≤0,20%	≤0,35%

Eléctrodo rutilico, E312-17(AWS)

O eléctrodo E312-17 deposita aço inox resistente á corrosão, com boa resistência à oxidação superficial até 1150°C.É especialmente indicado na soldadura de aços de composição desconhecida, de escassa soldabilidade ou dissimilares; empregado também em aços inoxidáveis, aços ao manganês, aços para molas e aços em ferramentas (ESAB, 2011).

O eléctrodo rutilico E312-17, tendo por base as especificações AWS, possui a composição química expressa na tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Elementos químicos depositados pelo eléctrodo E312-17 para aços inox (ESAB, 2011)

Mn	Si	Ni	Cr	Mo	C
≤0,78%	≤0,84%	≤10,30%	≤28,20%	≤0,01%	≤0,04%

Fio ER70S-6 (AWS)

É um fio sólido não-cobreado destinado à soldadura MiG e ligado ao manganês e silício. Destinado à soldadura dos aços não-ligados e aços C-Mn de grão fino. Este fio é aconselhado para operar a correntes elevadas sem perturbações na alimentação, produzindo um arco estável com baixo nível de projecções (ESAB, 2011).

O fio ER70S-6, tendo por base as especificações AWS, possui a composição química expressa na tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Elementos químicos depositados pelo fio ER70S-6 para aços não ligados (ESAB, 2011)

Mn	Si	C
≤1,5%	≤0,9%	≤0,1%

Fio ER308LSi (AWS)

Fio sólido inoxidável destinado à soldadura MIG dos aços resistentes à corrosão contendo, aproximadamente, 19Cr10Ni, e dos aços austeníticos resistentes à corrosão (ESAB, 2011).

O fio ER70S-6, tendo por base as especificações AWS, possui a composição química expressa na tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Elementos químicos depositados pelo fio ER308LSi para aços inox (ESAB, 2011)

Mn	Si	Ni	Cr	C
≤1,7%	≤0,8%	≤10,0%	≤20,0%	≤0,03%

Vareta CP 101 (EN 1044)

Consumível para soldadura oxi-acetilénica utilizado na união de cobre, latão e bronze. Suporta temperaturas desde 150 a -70°C. Como elementos de liga depositados encontram-se cobre, prata e fósforo (UTP, 2006).

Vareta AG 309 (EN 1044)

Consumível para soldadura oxi-acetilénica utilizado na ligação de ferro, aço, níquel, aço inox, cobre, bronze. Metal depositado com cor idêntica à do latão. Como elementos de liga depositados encontram-se prata, zinco, cobre e cádmio (UTP, 2006).

Gás de protecção - Ar (92%) e CO₂ (8%)

A mistura binária de argon com 8% de dióxido de carbono é utilizada na soldadura de aços carbono.

Gás de protecção - Ar

O argon puro é utilizado na soldadura de aço inoxidável.

Acetileno

O acetileno é utilizado na soldadura oxi-acetilénica

Oxigénio

O oxigénio é utilizado na soldadura oxi-acetilénica.

3.5.5.2 Materiais base

Os materiais base utilizados são os aços de baixo, médio e alto carbono e aço inoxidável.

3.5.6 *Composição dos fumos de soldadura*

Com base na identificação dos processos de soldadura executados na serralharia civil, nas características dos equipamentos e nos materiais base e consumíveis utilizados foi possível identificar a composição dos fumos de soldadura eventualmente produzidos no sector em estudo.

Para a identificação dos fumos de soldadura produzidos não vai ser considerado o contributo dos materiais de base por, de acordo com a revisão bibliográfica apresentada neste trabalho, aquele contributo poder ser considerado residual comparativamente aos consumíveis utilizados.

3.5.6.1 Partículas

Considerando os consumíveis utilizados nos diversos processos de soldadura, na tabela 3.10, estão referenciados os elementos que poderão ser formados durante a realização da actividade de soldadura.

Tabela 3.10 – Elementos químicos depositados nos processos de soldadura (ESAB, 2011; UTP, 2006)

Consumível		Compostos metálicos											
		Cu	Ag	P	Zn	Cd	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
Arco eléctrico manual	E7018							≤1,60%	≤0,75%	≤0,30%	≤0,20%	≤0,30%	≤0,08%
	E6013							≤0,07%	≤0,20%	≤0,35%			
	E312-17						≤0,04%	≤0,78%	≤0,84%	≤10,30%	≤28,20%	≤0,01%	
Arco eléctrico semi-automática	ER70S-6						≤0,1%	≤1,5%	≤0,9%				
	ER308LSi						≤0,03%	≤1,7%	≤0,8%	≤10,0%	≤20,0%		
Oxi-acetilénica	CP 101	x	x	x									
	AG 309	x	x		x	x							

3.5.6.2 Gases

De acordo com a revisão bibliográfica apresentada, os gases libertados durante os processos de soldadura podem ser compostos por CO, CO₂, SO₂, O₃, compostos de azoto, fosgénio e fosfina.

3.6 Estudo da qualidade do ar realizado em 2003

No final de 2003 foi realizado um estudo de “Avaliação da Exposição Profissional a Poluentes Químicos”, na sequência de algum desconforto demonstrado pelos colaboradores das oficinas da Câmara Municipal.

Os poluentes estudados na secção da serralharia civil foram: ozono, fumos de soldadura e metais.

3.6.1 Resultados obtidos

As concentrações obtidas para os poluentes apresentam-se na tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Concentração dos poluentes resultantes do estudo da qualidade do ar

Serralharia Civil	Metais							Fumos de Soldadura mg/m ³	Ozono ppm
	Chumbo mg/m ³ Pb	Cobre mg/m ³ Cu	Crómio mg/m ³ Cr	Ferro mg/m ³ Fe	Manganês mg/m ³ Mn	Níquel mg/m ³ Ni	Zinco mg/m ³ ZnO		
Exterior do Pavilhão									
Soldadura oxi-acetilénica	n.d.	n.d.	n.d.	0.067	0.129	n.d.	n.d.	16.34	-
Soldadura MIG/MAG (interior da caixa do veículo)	n.d.	n.d.	n.d.	0.447	0.447	n.d.	0.010	4.86	-
Interior do Pavilhão									
Soldadura eléctrica (interior do veículo)	n.d.	n.d.	n.d.	0.475	0.021	n.d.	n.d.	1.73	0.012
Soldadura MIG/MAG (com exaustão localizada)	n.d.	n.d.	n.d.	2.294	0.031	n.d.	n.d.	1.55	-

n.d. – não detectado

3.6.2 Bases da avaliação

A avaliação da exposição teve por base os valores limite de exposição (VLE) a poluentes no ar em locais de trabalho constantes de legislação nacional e, na sua ausência, em valores propostos pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACCIH).

3.6.3 Avaliação

De acordo com as bases de avaliação e considerando os valores obtidos nas medições verifica-se que não foi detectada a presença de metais como o chumbo, cobre e níquel. Apenas numa das medições foi detectado zinco com uma concentração média inferior ao limite médio diário. As concentrações de ferro e manganês ficaram também abaixo do valor limite recomendado.

A exposição ao ozono foi considerada aceitável ao contrário dos fumos de soldadura que apresentaram uma concentração média de 13,6 mg/m³, superior ao limite médio diário recomendado (5 mg/m³).

Os resultados obtidos neste estudo merecem uma análise crítica relativamente às suas conclusões.

Os compostos metálicos cuja presença não foi detectada devem ser convenientemente avaliados tendo por base a estratégia da medição, a

representatividade das amostras recolhidas e o período considerado para a realização das medições. Avaliação similar deve ser também realizada relativamente aos compostos que foram detectados.

Quando o estudo menciona que as concentrações ficaram abaixo do valor limite recomendado está a referir-se às quantidades de cada uma das substâncias, isoladamente, sem considerar os efeitos da toxicidade resultante da interacção entre elas.

A interacção entre os compostos metálicos deve constituir uma variável importante na análise das medições aos fumos de soldadura.

Essa interacção pode ser aditiva, quando o efeito tóxico da mistura corresponde ao somatório dos efeitos das substâncias; sinérgica, quando os efeitos da mistura são maiores do que a soma dos efeitos tóxicos das substâncias consideradas isoladamente; antagónica, quando os efeitos da mistura são menores do que o somatório dos efeitos das substâncias; potenciação, quando se verifica uma intensificação dos efeitos de apenas um dos componentes, na mistura, permanecendo o outro com o nível de efeitos inalterado (Rebelo, 2007).

As conclusões do estudo foram redutoras quando ponderou, apenas, as concentrações obtidas de forma isolada e não considerou as prováveis interacções entre os tóxicos em presença.

Um outro aspecto, importante, que devia ter sido considerado é a possibilidade da existência de respostas diferenciadas, de alguns indivíduos, face à exposição a igual concentração do mesmo composto químico.

A exposição a um agente químico a concentrações inferiores aos limites considerados admissíveis não invalida que alguns dos indivíduos expostos possam apresentar respostas de intensidade acrescida, efeitos adversos não esperados ou agravamento de situações pré-existentes (Prista e UVA, 2006).

Tal aspecto, a não ser tido em conta, colocaria um indeterminado número de trabalhadores em condições de diminuída protecção face aos riscos inerentes a essa exposição. Ao Médico do Trabalho compete avaliar a extensão em que tais trabalhadores requerem protecção adicional (ACGIH, 2000).

4 Discussão

A actividade de soldadura desenvolvida no local em estudo é executada pelos trabalhadores num sistema de rotação com outras tarefas das quais se destacam os cortes e as desempanagens.

O processo mais utilizado é a soldadura MIG/MAG por melhor se adaptar aos metais a soldar. Este facto está relacionado com a elevada flexibilidade da soldadura MIG/MAG que permite executar a soldadura de uma grande variedade de materiais de diversas espessuras (Pires, 1996).

Os processos de soldadura manual por arco eléctrico e a soldadura oxi-acetilénica são utilizados em situações mais pontuais.

Como foi amplamente referido neste trabalho, ao processo de soldadura MIG/MAG está associada uma libertação mais elevada de fumos de soldadura por a transferência do metal se processar através duma cadência de gotas de maior ou menor dimensão.

A partir de estudos em processos de soldadura, com protecção gasosa, chegou-se à conclusão que os fumos resultantes da soldadura são formados principalmente a partir de gotas de soldadura (Jenkins, 1999b).

A rotação dos trabalhadores pelas diversas actividades constitui um modelo de gestão adequado para minimizar a exposição dos trabalhadores aos fumos de soldadura contudo, a esta medida organizacional, deverão estar associadas as medidas de protecção colectiva e protecção individual que estão indicadas para a execução da actividade de soldadura, o que nem sempre acontece.

Existe, de facto, alguma retracção na utilização dos equipamentos de extracção localizada e em algumas peças do equipamento de protecção individual quando a actividade de soldadura é executada, intervaladamente, com as restantes actividades, pelo mesmo colaborador.

Pela leitura dos resultados do estudo sobre a exposição profissional aos fumos de soldadura, realizado em 2003, constata-se que embora a exposição aos compostos metálicos, quando considerados isoladamente, esteja dentro dos valores aceitáveis, o mesmo não acontece com a concentração das partículas que apresentou um valor superior ao limite médio diário recomendado.

Este estudo foi omissivo quanto aos resultados da interacção entre os tóxicos o que deve ser considerado como um procedimento descuidado, por parte dos seus autores, considerando os potenciais danos que daí poderão resultar para os trabalhadores expostos.

A interacção entre tóxicos pode ser aditiva, quando o efeito tóxico da mistura corresponde ao somatório dos efeitos das substâncias; sinérgica, quando os efeitos da mistura são maiores do que a soma dos efeitos tóxicos das substâncias consideradas isoladamente; potenciação, quando se verifica uma intensificação dos efeitos de apenas um dos componentes, na mistura, permanecendo o outro com o nível de efeitos inalterado (Rebelo, 2007).

As conclusões do estudo foram redutoras quando ponderou, apenas, as concentrações obtidas de forma isolada e não considerou as prováveis interacções entre os tóxicos em presença.

A partir da data da realização do referido estudo, não foram introduzidas alterações dignas de registo quer nos processos de soldadura quer nos equipamentos para a realização da actividade de soldadura e de ventilação e extracção localizada. O comportamento dos trabalhadores na realização da actividade também não terá sofrido mudanças consideráveis.

Pelo exposto pode concluir-se não ter existido, por parte do Departamento, o investimento necessário neste sector e esta inércia de desenvolvimento tecnológico e de formação e informação dos trabalhadores traduz-se em desvios de comportamentos que poderão comprometer a saúde e segurança dos trabalhadores.

Mesmo o investimento realizado na aquisição dos equipamentos de extracção localizada não surtiu o efeito desejado por, como referido, não serem utilizados.

A caracterização dos fumos de soldadura teve por base os diversos consumíveis utilizados por a sua libertação depender, essencialmente, do processo de transferência do metal e, de modo residual, da evaporação do material base e do cordão de solda.

O principal factor que domina na formação de fumos, no processo MIG/MAG, é a evaporação que se dá a partir da gota (Jenkins et al., 2005a). Existe também formação de fumos ao nível do cordão, especificamente no banho de fusão e cordão acabado de soldar, mas a quantidade de fumos produzido não é significativo (Jenkins, 1999b).

Comparando os compostos metálicos avaliados no estudo realizado em 2003 com os que foram identificados, face aos consumíveis utilizados actualmente, existem vários elementos em comum como o cobre, crómio, manganês, níquel e zinco o que pressupõe não ter existido uma variação significativa nos processos de soldadura e consumíveis utilizados. Deste facto não se poderá inferir que os valores esperados serão similares aos medidos anteriormente porque poderão ter sido alteradas as condições de exposição e conseqüentemente a dose absorvida.

Se, por um lado, parte da frota apresenta mais anos de funcionamento o que poderá ter conseqüências num aumento das reparações ao nível da utilização de soldaduras, por outro tem existido alguma renovação o que poderá compensar o desgaste das viaturas mais antigas.

Tem-se, no entanto, verificado um acréscimo nos serviços de recolha e de limpeza e lavagem mecânica o que originou um aumento dos meios mecânicos em circulação e conseqüentemente um acréscimo no número de entradas de viaturas na serralharia civil, para reparação.

O aumento de actividade na secção de soldaduras pode ter conseqüências ao nível das condições de exposição dos trabalhadores aos fumos de soldadura e a um aumento da dose absorvida.

Os compostos que não foram detectados nas medições realizadas em 2003 poderão, actualmente, ter alguma expressão e os compostos detectados apresentarem uma concentração superior.

O aumento previsível da concentração dos compostos terá certamente conseqüências ao nível do seu ciclo toxicológico, na forma de absorção dos elementos que compõem os referidos fumos, no tempo de exposição, na dose na exposição e na dose interna ou de impregnação.

As doenças profissionais resultantes da exposição aos fumos de soldadura poderão ter sofrido alterações o que requer, da parte dos serviços de saúde, uma maior atenção no rastreio dos efeitos no organismo dos elementos constituintes dos fumos de soldadura.

Existe, assim, a necessidade de se desenvolver um novo estudo sobre a exposição profissional a poluentes químicos que venha a reflectir as alterações das condições verificadas no sector da serralharia civil. Só assim, a organização poderá dispor de

elementos actualizados que espelhem as condições reais do ambiente de trabalho em que os trabalhadores executam a sua actividade regular.

5 Recomendações

Tendo por base a observação, “in situ”, do sector de soldaduras e a recolha de toda a informação que serviu de suporte à realização do presente trabalho foi possível elencar um conjunto de situações que requerem intervenções para a melhoria das condições de trabalho daquele sector:

- os fumos resultantes das actividades de soldadura não são objecto de aspiração localizada, porque, por opção dos trabalhadores, os equipamentos disponíveis para esse efeito não são utilizados;
- o estado de arrumação e limpeza deverá, também, merecer uma maior atenção, por parte da organização e dos trabalhadores, por não existirem regras e procedimentos que permitam uma actuação consertada nesta matéria;
- a utilização dos equipamentos de protecção individual, designadamente a utilização de luvas, mascaras e manguitos, não constitui uma prática regular;
- no interior da nave onde funciona a secção deve ser reavaliada a funcionalidade do equipamento de ventilação geral e verificado se devem ser introduzidas medidas de engenharia, suplementares, de ventilação.
- as condições existentes para os trabalhos realizados no exterior da nave devem ser revistas para permitir aos trabalhadores a execução da sua actividade em condições atmosféricas adequadas sem estarem sujeitos a condições adversas como acontece actualmente.

Pelo exposto, a formação e sensibilização dos trabalhadores constitui a medida transversal e comum a todas as acções necessárias.

Acções de formação relacionadas com a utilização adequada dos EPI, utilização e manuseamento de equipamentos e materiais, arrumação e limpeza e utilização de substâncias explosivas constituem as consideradas mais prementes.

A par da formação devem ser introduzidas algumas medidas de engenharia que possibilitem melhorar as condições de trabalho relacionadas com a sujeição dos trabalhadores a ambientes térmicos inadequados, condições atmosféricas adversas e melhoria do sistema de ventilação geral existente.

A substituição dos actuais equipamentos de soldadura deve ter em consideração a evolução tecnológica e devem ser realizadas acções de controlo, aos fumos e gases, com medições mais frequentes.

6 Conclusão

O tema “fumos de soldadura” é demasiado abrangente englobando um conjunto de variáveis que, directa ou indirectamente, estão relacionadas com a sua formação. Este trabalho não teve como objectivo esgotar este tema mas referenciar os pressupostos mais importantes relacionados com a formação dos fumos de soldadura e acreditar que as situações não referenciadas, de modo exaustivo, venham a ser objecto da desejável pesquisa.

Com a necessidade permanente do aumento da produtividade, os processos de soldadura e os equipamentos que lhes estão associados têm sofrido uma evolução significativa e nem sempre a segurança e a saúde dos trabalhadores têm merecido a devida atenção.

Associada à execução da actividade de soldadura está a formação de fumos e gases existindo uma relação entre estes compostos e os efeitos agudos e crónicos no organismo.

Ao incontornável aumento da produtividade na actividade de soldadura está o correspondente acréscimo da deposição de metal, por unidade de tempo, e o consequente aumento da formação de fumos de soldadura. Quando os processos de soldadura envolvem meios humanos deve estar sempre presente que a um provável aumento da produção de fumos de soldadura deverá existir um correspondente processo de prevenção com o objectivo de evitar ou minimizar a exposição dos soldadores a esses compostos.

A formação dos fumos de soldadura está directamente relacionada com o processo de soldadura adoptado, com a evolução técnica e os equipamentos utilizados, com o modo de transferência do metal, com as características dos consumíveis e, de modo residual, com os materiais de base onde a soldadura é executada.

O diâmetro das partículas de fumos de soldadura varia entre 0,01 a 1 μm . As partículas com este tamanho podem depositar-se nos alvéolos pulmonares e os seus compostos químicos serem absorvidos pelo sangue e distribuídos pelo organismo. Dependendo das características dos compostos, ou da sua combinação, os efeitos no organismo podem ser graves, podendo até, em algumas situações, conduzir à morte do trabalhador.

As organizações devem apostar na prevenção com objectivos claros para evitar ou minimizar os riscos associados à actividade de soldadura com especial enfoque nos fumos libertados.

A prevenção deve abarcar um conjunto significativo de medidas devendo actuar-se nos sistemas de ventilação dos espaços, na aquisição de equipamentos evoluídos tecnicamente, na escolha dos consumíveis ajustados à operação e mais “amigos” dos trabalhadores, num modelo de organização do trabalho que permita a rotação dos trabalhadores entre diferentes tarefas, na formação e informação dos trabalhadores e na utilização adequada dos equipamentos de protecção colectiva e protecção individual.

O estudo de caso sobre o qual incidiu este trabalho permitiu analisar as condições de realização da actividade de soldadura no local em estudo e inventariar um conjunto de oportunidades de melhoria que a organização deve avaliar e ponderar a sua implementação futura.

7 Bibliografia

Abdel-Hamid, M.M., El-Desoky, S., A, e Magdi, S.M. (1990). Estimation of manganese in blood between exposed workers to different concentrations at industrial units. Egypt J Pharm Sci 31, 143-150.

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2000). TLVs and BEIs: based on the document ation of the threshold limits values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati.

Allum, C.J. (1985a). Metal transfer in arc welding as a varicose instability: I. Varicose instability in a current-carrying liquid cylinder with surface charge. Journal of Physics D (Applied Physics), 18,1431 - 1446.

Allum, C.J. (1985b). Metal transfer in arc welding as a varicose instability: II. Development of model for arc welding. Journal of Physics D (Applied Physics), 18,144 - 168.

Amson, J.C. (1962). An analysis of the gas-shielded consumable metal arc welding system. British Welding Journal, 41, 232 - 249.

Amza, G., Cicic, D.T., e Rontescu, C. (2010). Theoretical and Experimental Contributions Concerning the Environmental Impact of Processes of Oxy-gas Welding Flame. Romania, Polytechnic University of Bucharest.

Andersen, M., E, Gearhart, J.M., e Clewell, H.J. (1999). Pharmacokinetic data needs to support risk assessments for inhaled and ingested manganese. Neurotoxicology 20, 61 - 171.

Anderson, R.A., Polansky, M.M., Bryden, N.A., Patterson, K.Y., Veillon, C., e Glinsmanni, W.H. (1983). Effects of chromium supplementation on urinary Cr excretion of human subjects and correlation of Cr excretion with selected clinical parameters. J Nutr 113, 276 - 281.

Angerer, J., e Lehnert, G. (1990). Occupational chronic exposure to metals. II: Nickel exposure of stainless steel welders--biological monitoring. Int Arch Occup Environ Health 62, 7 - 10.

Anzehaee, M.M., e Haeri, M. (2011). Estimation and control of droplet size and frequency in projected spray mode of a gas metal arc welding (GMAW) process. Elsevier Ltd.

Aschner, J.L., e Aschner, M. (2005). Nutritional aspects of manganese homeostasis. Mol Aspects Med 26, 353 - 362.

Aschner, M., Erikson, K.M., e Dorman, D.C. (2005). Manganese dosimetry: Species differences and implications for neurotoxicity. Crit Rev Toxicol 35(1), 1 - 32.

ATSDR (2008a). Toxicological Profile for Aluminum. Atlanta: Division of Toxicology and Environmental Medicine.

ATSDR (2008b). Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta: Division of Toxicology and Environmental Medicine.

ATSDR (2008c). Toxicological Profile for Chromium Atlanta: Division of Toxicology and Environmental Medicine.

ATSDR (2008d). Toxicological Profile for Manganese. Atlanta: Division of Toxicology and Environmental Medicine.

ATSDR (2008e). Toxicological Profile for Nickel
Atlanta: Division of Toxicology and Environmental Medicine.

Barbeau, A. (1984). Manganese and extrapyramidal disorders (a critical review and tribute to Dr. George C. Cotzias). *Neurotoxicology* 5, 13-35.

Beaumont, J.J., Sedman, R.M., Reynolds, S.D., Sherman, C.D., Li, L.H., Howd, R.A., Sandy, M.S., Zeise, L., e Alexeeff, G.V. (2008). Cancer mortality in a Chinese population exposed to hexavalent chromium in drinking water. *Epidemiology* 19, 1 - 26.

Bennett, B.G. (1984). Environmental nickel pathways in man. In: Sunderman FW Jr, ed. Nickel in the human environment. Proceedings of a joint symposium. IARC scientific publication n° 53 Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 487 - 495.

Berlinger, B., Na'ray, M., e Za'ray, G. (2008). Distribution of metals between inhalable and respirable fractions of welding fumes generated in gas metal arc welding.

Bertinchamps, A.J., Miller, S., e Cotzias, G.C. (1965). Interdependence of routes excreting manganese. *Am J Physiol* 211, 217 - 224.

Beton, D.C., Andrews, G.S., Davies, H.J., Howells, L., e Smith, G.F. (1966). Acute cadmium fume poisoning; five cases with one death from renal necrosis. *Br J Ind Med* 23, 292 - 301.

Cavalleri, A., e Minoia, C. (1985). Distribution in serum and erythrocytes and urinary elimination in workers exposed to chromium(VI) and chromium(III). *G Ital Med Lav* 7, 35 - 38.

Chu, Y.X., Hu, S.J., Hou, W.K., Wang, P.C., e Marin, S.P. (2004). Signature analysis for quality monitoring in short-circuit GMAW. *Weld J*, 83(12), 336S - 343S.

Chung, J., Nartey, N.O., e Cherian, M.G. (1986). Metallothionein levels in liver and kidney of Canadians: A potential indicator of environmental exposure to cadmium. *Arch Environ Health* 41, 319 - 323.

Corbett, G.E., Dodge, D.G., O'Flaherty, E.O., Liang, J., Throop, L., Finley, B.L., e Kerger, B.D. (1998). In vitro reduction kinetics of hexavalent chromium in human blood. *Environ Res* 78, 7-11.

CSA (1997). Risk management guideline for decision-makers. Ontário. Canadian Standards Association.

Davis, C.D., Zech, L., e Greger, J.L. (1993). Manganese metabolism in rats: An improved methodology for assessing gut endogenous losses. *Proc Soc Exp Biol Med* 202, 103 - 108.

De Flora, S., Badolati, G.S., Serra, D., Picciotto, A., Magnolia, M.R., e Savarino, V. (1987). Circadian reduction of chromium in the gastric environment. *Mutat Res* 192, 169 -174.

Delgado, L.C. (2000). Estudo e desenvolvimento do processo TIG com alimentação automática de arame. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Tese de Mestrado.

Dillenbeck, V.R., e Castagno, L. (1987). The Effects of Various Shielding Gases and Associated Mixtures in GMA Welding of Mild Steel. *Welding Journal*, 45 - 49.

Donaldson, R., M, e Barreras, R.F. (1966). Intestinal absorption of trace quantities of chromium. *J Lab Clin Med* 68, 484 - 493.

Dorman, D.C., Struve, M.F., e Marshall, M.W. (2006). Tissue manganese concentrations in young male Rhesus monkeys following subchronic manganese sulfate inhalation. *Toxicol Sci* 92(1), 201 - 210.

Duclos, D. (1984). *La santé et le travail*. Paris: Editions la Découverte.

Eagar, T.W., e Kim, S.Y. (1993). Analysis of metal transfer in gas metal arc welding. *Weld J*, 269 - 278.

Elias, Z., Mur, J.M., Pierre, F., Gilgenkrantz, S., Schneider, O., Baruthio, F., Danière, M.C., e Fontana, J.M. (1989). Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes of welders and characterization of their exposure by biological samples analysis. *J Occup Med* 31, 477 - 483.

EPA (1993). Drinking water criteria document for manganese. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency ECAO-CIN-D008.

ESAB (2011). *Comércio e Indústria de Soldadura*, Lda.

Fortes, C. (2005). *Electrodos Revestidos OK*. ESAB.

Fortin, A. (1999a). *O processo de investigação: da concepção à realização*. Loures: Lusociência.

Fortin, M.F. (1999b). *O processo de investigação: da concepção à realização*. Loures: Lusociência.

Fortin, M.F. (2009). *Fundamentos e Etapas de Investigação*. Loures: Lusodidacta.

Foulkes, E.C. (1984). Intestinal absorption of heavy metals. In: Csaky TZ, ed. *Handbook of experimental pharmacology*. Vol. 70/I. Pharmacology of intestinal permeation. Springer Verlag, 543 - 565.

Friberg, L. (1950). Health hazards in the manufacture of alkaline accumulators with special reference to chronic cadmium poisoning. *Acta Med Scand* 138(Suppl 240), 1-124.

Fullerton, A., Andersen, J.R., Hoelgaard, A., e Menné, T. (1986). Permeation of nickel salts through human skin in vitro. *Contact Dermatitis* 15, 173 - 177.

- Gardener, W., e Taylor, P. (1975). Health at work, London: Associated Business Programmes.
- Gerken, J.M. (1995). Gas Tungsten Arc Welding. The Lincoln Electric Company, 1 - 21.
- Giridharan, P.K., e Murugan, N. (2009). Optimization of pulsed GTA welding process parameters for the welding of AISI 304L stainless steel sheets. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 40, 478 – 489.
- GMAW, W.G. (2006). GMAW welding Guide. Lincoln Electric.
- Gokhale, A.A., Tzavaras, D.J., Brody, H.D., e Ecer, G.M. (1982). Proceedings of conference on grain refinement in casting and welds. St Louis (MO), TMS-AIME, 223 – 247.
- Gomes, J. (1992). Higiene e Segurança em Soldadura, Oeiras: ISQ edn.
- Gorsky, J.E., Dietz, A.A., e Spencer, H. (1979). Metabolic balance of aluminum studied in six men. Clin Chem 25(10), 1739 -1743.
- Grandjean, P. (1984). Human exposure to nickel. In: Sunderman FW Jr, ed. Nickel in the human environment. Proceedings of a joint symposium, IARC scientific publication nº 53 Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 469 - 485.
- Gray, C.N., Hewitt, P.J., e Hicks, R. (1980). in Proc. Int. Conf. "Weld pool chemistry and metallurgy". Cambridge, TWI, 167 - 176.
- Greene, W.J. (1960). An analysis of transfer in gas-shielded welding arcs. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers (AIEE) Part 2: Applications and Industry, 79,194 - 203.
- Greger, J., L, e Baier, M.J. (1983). Excretion and retention of low or moderate levels of aluminum by human subjects. Food Chem Toxicol 21(4), 473 - 477.
- Greger, J.L., e Sutherland, J.E. (1997). Aluminum exposure and metabolism. Crit Rev Clin Lab Sci 34(5), 439 - 474.
- Groten, J.P., Feron, V.J., e Suhnel, J. (2001). Toxicology of simple and complex mixtures. Trends Pharmacol. Sci. 22, 316 - 322.
- Gylseth, B., Gundersen, N., e Lang, S. (1977). Evaluation of chromium exposure based on a simplified method for urinary chromium determination. Scand J Work Environ Health 3, 28 - 31.
- Hassler, E., Lind, B., Nilsson, B., e Piscator, M. (1983). Urinary and fecal elimination of nickel in relation to airborne nickel in a battery factory. Ann Clin Lab Sci 13, 217 - 224.
- Heile, R.F., e Hill, D.C. (1975). Particulate fume generation in arc welding processes. Welding Journal.
- ICRP (1994). Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP publication 66 Oxford: Pergamon Press, 1-120.

Jenkins, N. (1999a). A Doctoral Dissertation Proposal in the Department of Materials Science and Engineering. Massachusetts Institute of Technology.

Jenkins, N. (1999b). Welding Fume Formation Literature Review 1975-1999.

Jenkins, N.T., e Eager, T.W. (2005). Chemical analysis of welding fume particles. *Welding Journal, Welding Research Supplement* nr 7, 87 - 93.

Jenkins, N.T., Mendez, P.F., e Eager, T.W. (2005a). Effect of Arc Welding Electrode Temperature on Vapor and Fume Composition. 7th International Conference on Trends in Welding Research.

Jenkins, N.T., Pierce, W., e Eager, T.W. (2005b). Particle size distribution of gas metal and flux cored arc welding fumes. *Welding Journal, Welding Research Supplement* nr 10, 156-163.

Jilong, M., e Apps, R.L. (1983). Analyzing metal transfer during MIG welding. *Welding and Metal Fabrication*, 51, 119 - 128.

Jonsson, P.G., Murphy, A.B., e Szekely, J. (1995). Oxygen Additions on Argon-Shielded Gas Metal Arc Welding Processes, *Welding Research Supplement Welding Journal*, 48 - 58.

Jordan, D.E. (2002). Safety and welding of stainless steels, EUROJOIN 4, 4th European Conference on welding and cutting. "Development of welding and allied processes at the beginning of the new millennium", Cavtat-Dubrovnik. 137 - 144.

Kaufman, D.B., DiNicola, W., e McIntosh, R. (1970). Acute potassium dichromate poisoning: Treated by peritoneal dialysis. *Am J Dis Child* 119, 374 - 376.

Keane, M., Stone, S., e Chen, B. (2010). Welding fumes from stainless steel gas metal arc processes contain multiple manganese chemical species. *Journal of Environmental Monitoring*, 1133 - 1140.

Kerger, B.D., Paustenbach, D.J., Corbett, G.E., e Finley, B.L. (1996). Absorption and elimination of trivalent and hexavalent chromium in humans following ingestion of a bolus dose in drinking water. *Toxicol Appl Pharmacol* 141, 145 - 158.

Kjellstrom, T., Borg, K., e Lind, B. (1978). Cadmium in feces as an estimator of daily cadmium intake in Sweden. *Environ Res* 15, 242 - 251.

Kjellström, T., e Nordberg, G.F. (1978). A kinetic model of cadmium metabolism in the human being. *Environ Res* 16, 248 - 269.

Knoll, B. (2003). Preliminary research to improve control of welding fume by automated local exhaust. In Delft: TNO Building and Construction Research, report-GGI-R083.

Kodas, T., e Hampden-Smith, M. (1999). *Aerosol Processing of Materials*. New York, NY Wiley-VCH.

Leach, R.M., e Lilburn, M.S. (1978). Manganese metabolism and its function. *World Rev Nutr Diet* 32, 123 - 134.

- Leonard, A., Gerber, G., Jacquet, P., e Lauwerys, R. (1984). Mutagenicity, carcinogenicity, and teratogenicity of industrially used metals, In: Carcinogenicity, mutagenicity, and teratogenicity of industrial pollutants. New York, Plenum Press, 59 - 126.
- Leonard, P.C. (1987). Welding Hand Book Volume 1: Welding Technology (American Welding Society).
- Levy, L.S., e Venitt, S. (1986). Carcinogenicity and mutagenicity of chromium compounds: the association between bronchial metaplasia and neoplasia. *Carcinogenesis Oxford, England* 7, 831 - 835.
- Lin, Q., Li, X., e Simpson, S.W. (2001). Metal transfer measurements in gas metal arc welding. *Journal of Physics D (Applied Physics)* 34:347–353.
- Linden, G., e Surakka, J. (2009). A Headset-Mounted Mini Sampler for Measuring Exposure to Welding Aerosol in the Breathing Zone, *Annals of Occupational Hygiene*. Volume 53, N° 2, 99 -106.
- Ilona, S., e Johan, H. (2011). Combined Toxic Exposures and Human Health: Biomarkers of Exposure and Effect, *Int J Environ Res Public Health*.
- Loubieres, Y., Lassence, A., Bernier, M., Vieillard-Baron, A., Schmitt, J.M., Page, B., e Jardin, F. (1999). Acute, fatal, oral chromic acid poisoning. *J Toxicol Clin Toxicol* 37(3), 333 - 336.
- Lucas, P.A., Jariwalla, A.G., Jones, J.H., Gough, J., e Vale, P.T. (1980). Fatal cadmium fume inhalation. *Lancet* 2(8187), 205.
- Lucas, W. (1990). TIG and Plasma Welding. 1a edição, Cambridge - England, Abington Publishing, 3 - 25.
- Lucas, W., e Carter, G. (1999). Factors to Be Considered in the Safe Use of Arc and Oxi Fuel Welding Processes. *Welding in the World/Le Soudage dans le Monde*, Roissy, v 43, Supplementary Issue: The Human Factor And Its Environment, 31 - 43.
- Matczak, W., e Gromiec, J.P. (2003). *Zasady oceny narażenia spawaczy na dymy i gazy*, wyd. Instytut Medycyny Pracy im. J. Nofera, Łódź.
- Matusiak, J., e Rams, B. (2003). Emission of dust and gases in tubular cored wire welding of steel, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* t. 9, nr 3. 333 - 350.
- Matusiak, J., Rams, B., e Machaczek, S. (2004). Emisja zanieczyszczeń pyłowych i gazowych przy procesach spawania i lutowania, *Katalog charakterystyk materiałów spawalniczych pod względem emisji zanieczyszczeń*, wyd. WAM - Instytut Spawalnictwa.
- Matusiak, J., e Wycislik, A. (2009). Methodology and laboratory testing stands for determination the welding fumes due to arc welding of steels. *Journal of Engineering*.

- McMillan, G. (2006). Burning questions in risk assessment of manganese in welding fume. EUROJOIN 6 – 16as Jornadas Tecnicas de Soldadura, Santiago de Compostela. 619 - 621.
- McNeilly, D., Heal, M.R., Beverland, I.J., Howe, A., Gibson, M.D., Hibbs, L.R., Macnee, W., e Donaldson, K. (2004). *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 196, 195–107.
- Mena, I., Horiuchi, K., Burke, K., e Cotzias, G.C. (1969). Chronic manganese poisoning: Individual susceptibility and absorption of iron. *Neurology* 19, 1000 - 1006.
- Mena, I., Marin, O., Fuenzalida, S., e George, C. (1967). Chronic manganese poisoning: Clinical picture and manganese turnover. *Neurology* 17, 128 - 136.
- Mendez, P.F., Jenkins, N.T., e Eagar, T.W. (2000). Proceedings of the Gas Metal Arc Welding. In 21st Century Conference (Orlando, FL).
- Minoia, C., e Cavalleri, A. (1988). Chromium in urine, serum and red blood cells in the biological monitoring of workers exposed to different chromium valency states. *Sci Total Environ* 71, 323 - 327.
- Murphy, A.B. (2010). The effects of metal vapour in arc welding. *Journal of Physics*.
- Murphy, A.B., Tanaka, M., Tashiro, S., Sato, T., e Lowke, J.J. (2009). A computational investigation of the effectiveness of different shielding gas mixtures for arc welding. *J Phys D: Appl Phys*.
- Nelson, K., Golnick, J., Korn, T., e Angleet, C. (1993). Manganese encephalopathy: Utility of early magnetic resonance imaging. *Br J Ind Med* 50, 510 - 513.
- Nicácio, J.A.P. (2009). Exposição a Fumos Metálicos na Soldagem TIG. Belo Horizonte, 4º Seminário Nacional de Sistemas Industriais e de Automação.
- Nordberg, G.F., Kjellstrom, T., e Nordberg, M. (1985). Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal. Vol. I. Exposure, dose, and metabolism. Boca Raton, FL: CRC Press 103 -178.
- Norgaard, O. (1955). Investigation with radioactive Ni-57 into the resorption of nickel through the skin in normal and in nickel-hypersensitive persons. *Acta Derm Venereol* 35, 111 - 117.
- Norrish, J. (1992). *Advanced Welding Processes* Bristol: Institute of Physics Publishing.
- Paton, B.E., e Lebedov, A.V. (1990). Control of melting and electrode metal transfer in CO2 welding. *Welding International*, 4(4):257–260.
- Patriarca, M., Lyon, T.D., e Fell, G.S. (1997). Nickel metabolism in humans investigated with an oral stable isotope. *Am J Clin Nutr* 66(3), 616 - 621.
- Paustenbach, D.J., Finley, B.L., Mowat, F.S., e Kerger, B. (2003). Human health risk and exposure assessment of chromium(VI) in tap water. *J Toxicol Environ Health A* 66(14), 1295 -1339.

- Perl, D.P., e Good, P. F. (1987). Uptake of aluminum into central nervous system along nasal-olfactory pathways. *Lancet* 1(8540), 1028.
- Pires, I. (1996). Analysis of the influence os shielding gas mixtures on features of MIG/MAG (Lisbon Technical University).
- Pires, I., Quintino, L., e Miranda, R.M. (2006a). Analysis of the influence of shielding gas mixtures on the gas metal arc welding metal transfer modes and fume formation rate. Elsevier Ltd.
- Pires, I., Quintino, L., Miranda, R.M., e Gomes, J.F.P. (2006b). Control of gaseous emissions in arc welding, EUROJOIN 6 – 16as Jornadas Tecnicas de Soldadura, Santiago de Compostela. 323 - 328.
- Prista, J., e Uva, A.S. (2006). A utilização de indicadores biológicos em Saúde Ocupacional. *Revista Portuguesa de saúde Pública*.
- Quimby, J. (1997). Fume formation rates in gas metal arc welding. University of New Hampshire, MS Thesis.
- Quinn, T.P., Szanto, M., Gilad, I., e Shai, I. (2005). Coupled arc and droplet model of GMAW source. *Sci Technol Weld Join* 10(11),113–119.
- Rebelo, P.A.P. (2007). Avaliação da exposição ocupacional, em laboratórios, de múltiplos agentes químicos, por longo período e em baixas concentrações. Universidade de S Paulo, Tese para obtenção do grau de Doutoramento.
- Reiber, S., Kukull, W., e Standish-Lee, P. (1995). Drinking water aluminum and bioavailability. *J Am Water Works Assoc* 87(5), 86 -100.
- Rosado, T.M.V.B. (2008). Inovação do Processo MIG/MAG – Análise de Produtividade e Emissão de Fumos. Lisboa, IST, Dissertação para obtenção do gráu de Mestre.
- Roxo, M. (2009). Segurança e Saúde do Trabalho: Avaliação e Controlo de Riscos. Almedina.
- Sacks, R.J., e Bohnart, E.R. (2005). *Welding principles and practices* (3rd ed. Boston (USA) McGraw-Hill).
- Samitz, M.H. (1970). Ascorbic acid in the prevention and treatment of toxic effects from chromates. *Acta Derm Venereol* 50, 59 - 64.
- Santos, J.F.O., e Quintino, L. (1993). *Processos de Soldadura* (Oeiras ISQ).
- Santos, J.F.O., e Quintino, L. (1998). *Processos de Soldadura* (Oeiras ISQ).
- Saric, M., e Hrustic, O. (1975). Exposure to airborne manganese and arterial blood pressure. *Environ Res* 10, 314 - 318.
- Schroeder, H.A. (1968). The role of chromium in mammalian nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, New York 21, 230-244.

- Schroeder, H.A., Balassa, J.J., e Tipton, I.H. (1966). Essential trace metals in man: Manganese. A study in homeostasis. *J Chron Dis* 19, 545 - 571.
- Scotti, A., Ponomareva, V., e Lucasb, W. (2012). A scientific application oriented classification for metal transfer modes in GMA welding. Elsevier BV.
- Sexton, K., e Hattis, D. (2007). Assessing cumulative health risks from exposure to environmental mixtures—three fundamental questions. *Environ. Health Perspect.* 825 - 832.
- Shaikh, Z.A., e Smith, L.M. (1984). Biological indicators of cadmium exposure and toxicity. *Experientia* 40, 36 - 43.
- Shmitova, L.A. (1980). Content of hexavalent chromium in the biological substrates of pregnant women and women in the immediate post-natal period engaged in the manufacture of chromium compounds. *Gig Trud Prof Zabol* 2, 33 - 35.
- Smyth, L.T., Ruhf, R.C., Whitman, N.E., e Dugan, T. (1973). Clinical manganism and exposure to manganese in the production and processing of ferromanganese alloy. *J Occup Med* 15, 101 - 109.
- Spurgeon, D.J., Jones, O.A., Dorne, J.L., Svendsen, C., Swain, S., e Sturzenbaum, S.R. (2012). Systems toxicology approaches for understanding the joint effects of environmental chemical mixtures. *Sci. Total Environ* 408, 3725 - 3734.
- Street, J.A. (1990). *Pulsed Arc Welding*. 1a edição, Cambridge - England, Abington Publishing, 6 - 10.
- Sumino, K., Hayakawa, K., Shibata, T., e Kitamura, S. (1975). Heavy metals in normal Japanese tissues. *Arch Environ Health* 30, 487- 494.
- Sunderman, F.W.J., Hopfer, S.M., Sweeney, K.R., Marcus, A.H., Most, B.M., e Creason, J. (1989). Nickel absorption and kinetics in human volunteers. *Proc Soc Exp Biol Med* 191, 5 -11.
- Suzuki, Y., Homma, K., Minami, M., e Yoshikawa, H. (1984). Distribution of chromium in rats exposed to hexavalent chromium and trivalent chromium aerosols. *Ind Health* 22, 261 - 267.
- T. Senthil, K.T., Balasubramanian, V., e Sanavullah, M.Y. (2007). influences of pulsed current tungsten inert gas welding parameters on tensile properties of AA6061 aluminium alloy. *Materials & Design*, 28, 2080 – 2092.
- Teraoka, H. (1981). Distribution of 24 elements in the internal organs of normal males and the metallic workers in Japan. *Arch Environ Health* 36(4), 155 -165.
- Terasaki, H., e Simpson, S.W. (2005). Modelling of the GMAW system in free flight and short circuiting transfer. *10(11)*, 120 -124.
- Torjussen, W., e Andersen, I. (1979). Nickel concentrations in nasal mucosa, plasma and urine in active and retired nickel workers. *Ann Clin Lab Sci* 9, 289 - 298.

- Tzafestas, S.G., e Kyriannakis, E.J. (2000). Regulation of GMA welding thermal characteristics via a hierarchical MIMO predictive control scheme assuring stability. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 47(43), 668 - 678.
- UTP (2006). Consumíveis para soldadura Oxi-Acetilénica forte e branda. Bohler Thyssen Electro Portugal, Lda.
- Utter, M.F. (1976). The biochemistry of manganese. *Med Clin North Am* 60, 713 - 727.
- Uva, A.S. (1998). Alguns aspectos epidemiológicos acerca da influência dos factores profissionais na doença oncológica. *Jornal das Ciências Médicas CLII:3*, 132 - 133.
- Uva, A.S. (2002). Aspectos gerais de toxicologia para médicos do trabalho. Universidade Nova de Lisboa.
- Voitkevich, V. (1995). *Welding fumes: formation, properties and biological effects* (Cambridge, England Abington Publishing).
- Wang, F., Hou WK, H.S.J., Kannatey-Asibu1, E., Schultz1WW, e Wang, P.C. (2003). Modeling and analysis of metal transfer in gas metal arc welding. *Journal of Physics D (Applied Physics)*, 36,1143 - 1152.
- Yapp, D., Lawmon, J., e Castner, H. (2001). *Development of Lightweight Fume Extraction Welding Guns*. Edison Welding Institute.
- Yousefieh, M., Shamanian, M., e Saatchi, A. (2011). Optimization of the pulsed current gas tungsten arc welding (PCGTAW) parameters for corrosion resistance of super duplex stainless steel (UNS S32760) welds using the Taguchi method. *Journal of Alloys and Compounds* 509, 782 - 788.
- Zatta, P., Favarato, M., e Nicolini, M. (1993). Deposition of aluminum in brain tissues of rats exposed to inhalation of aluminum acetylacetonate. *NeuroReport* 4(9), 1119 -1122.