



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Segurança e Impactes Ambientais Associados ao uso de Explosivos em Pirotecnia**

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

**Autor**

**Sílvia Oliveira Trindade**

**Orientador**

**Professor Doutor Paulo Alexandre Lopes Figueiredo Coelho**

**Professor Doutor José Carlos Miranda Góis**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Julho, 2012**

## AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação representa o fim de uma etapa muito importante da minha vida. Neste espaço dedico os meus maiores agradecimentos àqueles que, de forma geral, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Em primeiro lugar expresso o meu apreço ao Professor Doutor José Carlos Miranda Góis, pela excelente orientação, incentivo e por toda a disponibilidade demonstrada ao longo do semestre.

Ao Professor Doutor Paulo Coelho pela cordialidade, disponibilidade e amizade com que sempre me recebeu.

Um agradecimento muito especial ao Jorge, por todo o carinho, paciência e apoio demonstrados ao longo de todos estes anos e por sempre acreditar em mim, foi sem dúvida muito importante.

Agradeço a todos os meus amigos, que de uma forma ou de outra me apoiaram e me incentivaram a nunca desistir dos meus objetivos.

E por fim, quero expressar o meu profundo e sentido agradecimento à minha família, em particular aos meus pais, pelo amor e dedicação e pelo enorme esforço que fizeram para chegar até aqui, tudo o que tenho e sou hoje a eles o devo. Ao meu irmão por todo o apoio, compreensão e por ter estado sempre lá quando precisei, um muito obrigado por acreditarem em mim.

## RESUMO

Nos últimos anos tem crescido uma necessidade ao nível da Europa de implementar políticas e criar projetos com o intuito de se estabelecerem condições para a qualificação dos profissionais de pirotecnia através do reconhecimento das suas competências, com o objetivo de contribuir para a mobilidades dos trabalhadores, aumentando a competitividade das empresas na Europa e no Mundo. O setor da pirotecnia apresenta graves lacunas no que diz respeito à formação, uma vez que o conhecimento adquirido resulta simplesmente de um conhecimento empírico transmitido ao longo de gerações. Por forma a contrariar esta tendência na Europa, a Diretiva 2007/23/CE veio obrigar a criação de vários cursos para a formação dos profissionais dedicados à realização de fogo-de-artifício e emprego de artigos de pirotecnia para teatro.

O risco de acidentes associados a esta atividade, muitas vezes por negligência ou falta de conhecimentos assim como o impacto que esta pode provocar no meio ambiente e na saúde pública tem sido objeto de estudo. A questão da exposição a concentrações elevadas de partículas durante os festivais de fogos-de-artifício tem implicações em muitos países do mundo onde as exposições de pirotecnia, muitas vezes duram várias horas/dias. Outro ponto crítico e não menos importante é o material utilizado para fazer os fogos, este é dificilmente reciclável pois as substâncias tóxicas utilizadas na sua composição dificultam o processo.

A presente dissertação faz uma análise dos acidentes ocorridos em oficinas de pirotecnia em Portugal e outros acidentes ocorridos um pouco por todo o mundo, com o objetivo de evidenciar as principais causas e consequências da sua ocorrência. São identificados os principais impactos associados aos festivais de fogos-de-artifício, tanto para o meio ambiente, fauna e flora como as implicações que pode ter para os seres humanos. Avalia-se ainda a formação profissional e o conteúdo programático existente em vários países, para justificar e desenvolver um modelo de formação profissional para o setor da pirotecnia em Portugal, sendo apresentada uma proposta.

Para suportar a formação é fundamental haver um manual técnico que servia de apoio a formadores e formandos. Um esboço desse manual com os conceitos básicos e a caracterização dos materiais mais comuns em pirotecnia é apresentado. É também importante para facilitar no futuro o estudo dos impactes ambientais associados à densificação do solo com explosivos a fim de mitigar o efeito dos sismos.

## ABSTRACT

In the past few years there has been a growing need for Europe to implement policies and create projects in order to establish terms for the qualification of pyrotechnic professionals through the acknowledgement of their skills, aiming to contribute to the mobility of workers, thereby increasing competitiveness among businesses throughout Europe as well as the rest of the world. The pyrotechnics sector has serious gaps in terms of training and education, since the acquisition of knowledge has basically come from the transmitting of empirical knowledge from generation to generation. To counteract this trend in Europe, the Directive 2007/23/CE brought forth the requirement to create various courses aimed at training professionals involved in the execution of fireworks and working with pyrotechnic articles in theatre.

The risk of accidents associated with this activity, often by neglect or lack of knowledge, not to mention its possible impact on the environment and public health, has been closely studied. The issue of exposure to high concentrations of particles during fireworks festivals has implications for many countries around world where pyrotechnic displays often last for several hours or even days. Another critical, and of equal importance, issue is the material used to make the fireworks, which is difficult to recycle due to the toxic substances used in its makeup.

This dissertation analyses accidents that have occurred in Portugal and in other parts of the world in order to highlight the main causes and consequences of their occurrence. It also identifies the main side effects related to the fireworks festivals for the environment, fauna and flora as well as the possible implications for human beings. It also evaluates the training program content and the context in several countries, to justify and develop a model of professional training for the pyrotechnics industry in Portugal, with a proposal.

In order for the training programme to be successful, a technical manual is essential to serve as a support for both the trainers and the trainees. An outline of this manual with basic concepts and a characterization of the most common materials used in pyrotechnics is also included. This can be used in future for the study of the environmental impacts associated with the densification of the soil with explosives in order to mitigate the effect of earthquakes.

---

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 1  |
| 1.2 Objetivos.....  | 3  |
| 1.3 Estrutura da Dissertação .....  | 3  |
| 2 ESTADO DA ARTE DA PIROTECNIA.....   | 5  |
| 2.1 Evolução histórica da pirotecnia .....  | 5  |
| 2.2 Análises dos acidentes em oficinas de pirotecnia em Portugal.....   | 6  |
| 2.2.1 Causas externas .....   | 7  |
| 2.2.2 Causas internas .....   | 7  |
| 2.3 Impactes ambientais dos fogos-de-artifício .....  | 12 |
| 2.3.1 Festival de “Diwali” na Índia .....   | 15 |
| 2.3.2 Efeito dos fogos-de-artifício na qualidade do ar ambiental em Malta .....   | 17 |
| 2.3.3 A poluição pela queima de fogos-de-artifício durante o festival de lanterna em Pequim .....                                       | 19 |
| 2.4 Resíduos do fabrico e emprego de artigos pirotécnicos .....   | 21 |
| 2.4.1 Avaliação das tecnologias para a eliminação de resíduos explosivos.....   | 22 |
| 2.4.1.1 Avaliação do impacto para a saúde, ambiente e segurança (IAEHS) para seis cenários alternativos de eliminação de munições ..... | 22 |
| 2.4.1.2 Qualidade para as emissões no ar .....  | 24 |
| 2.4.1.3 Qualidade para as emissões no solo.....   | 25 |
| 2.4.1.4 Atributos para a segurança e para os riscos ambientais decorrentes de acidentes.....  | 25 |
| 2.4.1.5 Resumo dos resultados das IAEHS.....  | 25 |
| 2.5 Águas residuais das oficinas de pirotecnia .....  | 27 |
| 3 FORMAÇÃO PROFISSIONAL .....   | 28 |
| 3.1 Formação profissional em Portugal.....  | 28 |
| 3.2 Formação Profissional fora de Portugal .....  | 31 |
| 3.2.1 Espanha.....  | 32 |
| 3.2.2 Estados Unidos da América.....  | 34 |
| 3.2.3 Noruega .....   | 34 |
| 3.2.4 Alemanha .....  | 35 |
| 3.2.5 França .....  | 38 |
| 3.2.6 Suíça .....   | 39 |
| 3.2.7 Reino Unido .....   | 40 |
| 3.2.8 Austrália .....   | 41 |
| 3.2.9 Canadá .....  | 42 |
| 3.3 Proposta de modelo de formação para o setor pirotécnico em Portugal .....   | 43 |
| 4 CONCEITOS BÁSICOS EM PIROTECNIA .....   | 47 |

---

---

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.1   | Introdução .....   | 47  |
| 4.2   | Termoquímica da combustão.....   | 48  |
| 4.2.1 | Combustão espontânea .....   | 48  |
| 4.2.2 | Reatividade química.....   | 50  |
| 4.3   | Ignição e propagação.....  | 56  |
| 4.4   | Produção de cor e luz .....  | 58  |
| 5     | REAGENTES USADOS EM PIROTECNIA .....   | 62  |
| 5.1   | Agentes oxidantes .....  | 62  |
| 5.1.1 | Nitrato de potássio ( $KNO_3$ ) .....  | 62  |
| 5.1.2 | Clorato de potássio ( $KClO_3$ ).....  | 62  |
| 5.1.3 | Perclorato de potássio ( $KClO_4$ ).....   | 63  |
| 5.2   | Combustíveis .....   | 64  |
| 5.2.1 | Metais .....   | 65  |
| 5.2.2 | Enxofre (S).....   | 67  |
| 6     | CONCLUSÕES .....   | 69  |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 70  |
|       | ANEXO A – ITENS DOS MÓDULOS DOS CURSOS “PIROTECNIA: MENOS RISCO MAIS<br>SEGURANÇA” ..... | A-1 |
|       | ANEXO B – EXTRATO DA DIRETIVA 2007/23/CE.....  | A-2 |
|       | ANEXO C – CONTEÚDO DE MANUAIS SOBRE PIROTECNIA .....                                     | A-3 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 – Perda de Membros (a) e queimaduras frequentes (b) em acidentes Pirotécnicos .....   | 7  |
| Figura 2.2 – Causas (em %) de acidentes ocorridos durante as várias operações fabris.....        | 8  |
| Figura 2.3 – Excedências médias elementares nos dias pré-Diwali, Diwali e pós-Diwali. ....       | 16 |
| Figura 2.4 – Média semanal e médias mensais associadas de concentrações de PM10 para Malta ..... | 18 |
| Figura 2.5 – Média semanal e médias mensais associadas de concentrações de PM10 para Gozo .....  | 18 |
| Figura 2.6 – Variações dos elementos nas 4 amostras .....  | 20 |
| Figura 3.1 – Número de horas atribuídos a cada módulo.....                                       | 38 |
| Figura 4.1 - Representação da energia de ativação e variação da energia livre de Gibbs.....      | 54 |
| Figura 4.2 - O efeito da temperatura sobre a taxa de reação .....                                | 55 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 2.1 – Análise resumida de acidentes em oficinas de pirotecnia em Portugal. ....   | 9  |
| Quadro 2.1 (continuação) – Análise resumida de acidentes em oficinas de pirotecnia em Portugal.....  | 10 |
| Quadro 2.2 – Análise resumida de acidentes em vários países no mundo .....   | 11 |
| Quadro 2.2 (continuação) – Análise resumida de acidentes em vários países no mundo. ....   | 12 |
| Quadro 2.3 – Concentrações de PM10 e espécies químicas ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) observadas para condições padrão, pré-Diwali, Diwali e pós-Diwali nos vários locais de estudo ..... | 16 |
| Quadro 2.4 – Concentrações em massa de PM2.5 e PM10, juntamente com as condições meteorológicas durante o período de amostragem.....   | 19 |
| Quadro 2.5 – Emissões para a atmosfera relacionadas com os cenários de eliminação de munições. ....  | 26 |
| Quadro 2.6 – Quantidade de resíduos sólidos e as pontuações da poluição no solo para as diferentes tecnologias .....   | 27 |
| Quadro 3.1 – Cursos que abordam matérias relacionadas com explosivos .....   | 28 |
| Quadro 3.2 – Módulos dos cursos para pirotécnicos, realizados entre 1998 e 2000.....   | 29 |
| Quadro 3.3 – Cursos de formação “Pirotecnia – Menos risco mais segurança”. .....   | 29 |
| Quadro 3.3 (continuação) – Cursos de formação “Pirotecnia – Menos risco mais segurança”. .....   | 30 |
| Quadro 3.4 – Cursos para a formação de técnicos com responsabilidades na montagem e disparo de espetáculos de pirotécnica de exterior.....   | 35 |
| Quadro 3.5 – Módulos do mestrado em propulsão pirotécnica.....   | 39 |
| Quadro 3.6 – Componente teórica e prática do curso.....  | 40 |
| Quadro 3.7 – Componentes teórico-práticas do curso de Gestão de Segurança em Fogos-de-artifício. ...   | 42 |
| Quadro 4.1 – Calor de reação de composições pirotécnicas.....  | 53 |
| Quadro 4.2 – Temperaturas de Tammann de oxidantes .....  | 57 |
| Quadro 4.3 – Substâncias mais utilizadas para a produção de cores pirotécnicas.....  | 60 |
| Quadro 5.1 – Temperaturas de ignição do clorato de potássio / misturas de combustível.....   | 63 |
| Quadro 5.2 – Propriedades dos combustíveis metálicos.....  | 66 |



## ABREVIATURAS

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial APIPE – Associação Portuguesa dos Industriais de Pirotecnia e Explosivos

Al – Alumínio

ANEPE – Associação Nacional de Empresas de Produtos Explosivos

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APIPE – Associação Portuguesa dos Industriais de Pirotecnia e Explosivos

AP3E – Associação Portuguesa de Estudos e Engenharia de Explosivos

ARIA – *Analyse, Recherche et information sur les Accidents*

ARTEMIS – *Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*

Ba – Bário

BC – Carbono Negro

BOE – *Boletim Oficial del Estado*

BPA – Associação Britânica de Pirotécnicos

Ca – Cálcio

Cd – Cádmió

CD – Detonação Fechada

CE – Carbono Elementar

Cl – Cloro

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

Cu – Cobre

DEM-FCTUC – Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

DL – Decreto-lei

ESSEEM – *European Shotfirer Standard Education for Enhanced Mobility*

EUExCert – *Certifying Expertise in European Explosives Sector*

EUEXNet – *European Explosives Network for Explosives Education and Certification of Skills*

EUSES – European Union System for the Evaluation of Substances

F – Fluor

FBC – Combustão em Leito Fluidizado

IAEHS – Avaliação do Impacto para a Saúde, Ambiente e Segurança

K – Potássio  
KNO<sub>3</sub> – Nitrato Potássio  
LEDAP – Laboratório de Energética e Detónica, Associação de Apoio  
LER – Lista Europeia de Resíduos  
Li – Lítio  
MCDA – Multicritérios de análise de Decisão  
MF – Forno Móvel  
MFS – Forno Móvel Especialmente Concebido  
Mg – Magnésio  
MME – Massa de Material Energético  
Mn – Magnésio  
Na – Sódio  
NEQ – Concentração Equivalente de Poluentes no Ar  
NFPA – *National Fire Protection Association*  
NO<sub>x</sub> – Óxidos de Azoto  
NO<sub>2</sub> – Dióxido de Azoto  
OB – Queima a Céu Aberto  
OD – Detonação a Céu Aberto MME – Massa de Material Energético  
Pb – Chumbo  
PEDIP – Programa Específico de Desenvolvimento da Industria Portuguesa  
PISA – *Program for International Student Assessment*  
PM<sub>10</sub> – Partículas em suspensão com diâmetro inferior a 10 micrómetros  
PM<sub>2,5</sub> – Partículas em suspensão com diâmetro inferior a 2,5 micrómetros  
Rb – Rubídio  
RK – Forno Rotativo  
Sb – Antimónio  
SFX – *Special Effects Explosive Safety Course.*  
SO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
Sr – Estrôncio  
TNT – Trinitrotolueno  
UC – Universidade de Coimbra  
Zn – Zinco

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e motivações

A aposta na formação e qualificação de profissionais com elevadas competências capazes de oferecer competitividade às empresas e catapultá-las para novos mercados tem sido um dos objetos das políticas de incentivo por parte do Parlamento Europeu. Contudo, existem ainda alguns setores, nomeadamente o da pirotecnia, em que o conhecimento adquirido provém apenas de conhecimento empírico transmitido ao longo de gerações. O baixo nível escolar destes profissionais em geral e a não existência de formação certificada tem levado a que a formação se realize apenas ao nível interno das empresas, acabando por não ser reconhecida por parte de outras empresas do setor, nem noutros países. Em Portugal a maioria dos trabalhadores deste setor possui apenas qualificações inferiores ao nível secundário (escolaridade mínima obrigatória até 2009, quando saiu a Lei n.º 85/2009 que estabelece o alargamento da escolaridade obrigatória para 12 anos), o que torna imprescindível a criação de entidades de formação e formadores capazes de facultar conhecimentos a estes profissionais (Lettmayr e Nehls, 2011).

As exigências mais apertadas relativas ao licenciamento das fábricas e oficinas de pirotecnia levaram, nos últimos anos, ao encerramento de vários estabelecimentos e à conversão da atividade noutros, bem como à transferência de empresas do sector público para o privado, por incapacidade financeira do Estado em promover as reformas tecnológicas necessárias e manter o investimento na investigação e desenvolvimento. A esta situação de redução do tecido empresarial, acresce os despedimentos e os pedidos de reforma antecipada por parte dos trabalhadores, levando assim à perda dos conhecimentos adquiridos pela prática que assim não serão transmitidos às gerações mais novas (Akhavan et al, 2007).

O facto de a pirotecnia ser uma atividade de risco que potencia a ocorrência de incêndios e explosões, e a conseqüente perda de meios humanos e materiais, assim como provoca impactes ambientais por vezes consideráveis, fazendo com que as populações contestem a localização dos estabelecimentos de fabrico e de espetáculos perto das zonas habitacionais. São frequentes os acidentes neste setor e é comum apontar erros humanos, falta de conhecimentos, negligência e falhas em termos de segurança pública. Tendo por objetivo a segurança dos trabalhadores e das populações na vizinhança dos estabelecimentos foi revisto em 2002 o Regulamento de Segurança

dos Estabelecimentos de Fabrico e de Armazenamento de Produtos Explosivos através da publicação do DL n° 139/02, de 17 Maio e mais tarde em 2005 foi imposta a caducidade e revisão de todos os alvarás e licenças de fabrico ou de armazenagem de produtos explosivos, com a publicação do DL n° 87/05, de 23 Maio, cujo objetivo era fazer cumprir o estipulado pelo DL 139/2002, de 17 de Maio, procurando assim promover a reestruturação no setor, através da introdução de normas aplicadas já a outras instalações industriais (MAI-PSI, 2007). Em termos ambientais, o DL n° 156/04, de 30 de Junho, que estabeleceu as medidas e ações a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Prevenção e Proteção da Floresta contra Incêndios, veio impor a proibição nos espaços rurais do “lançamento de foguetes, de balões com mecha acesa e qualquer tipo de fogo-de-artifício ou outros artefactos pirotécnicos ..., exceto quando não produzam recaída incandescente” no período crítico, correspondente aos meses de Julho, Agosto e Setembro devido ao elevado risco de incêndio nos espaços agrícolas e florestais. Sendo no Verão que normalmente se regista o “pico” da atividade pirotécnica, estas restrições têm sido vistas com apreensão por parte da Associação Portuguesa dos Industriais de Pirotecnia e Explosivos (APIPE), que teme pelo futuro dos fabricantes, armazenistas, revendedores e fogueteiros, devido aos efeitos que elas produzem na atividade económica deste setor (APIPE, 2012).

Para além do risco de incêndio que decorre do lançamento de fogo-de-artifício em locais florestais no Verão existe o problema dos resíduos e poluentes gerados pela atividade de fabrico e a realização de espetáculos. A matéria explosiva usada no fabrico de artigos pirotécnicos é produzida a partir de agentes oxidantes (*eg.* percloratos, cloratos e nitratos) e agentes combustíveis (*eg.* alumínio, magnésio, titânio, carvão e enxofre). Os efeitos de luz e cor são conseguidos através da combustão de aditivos específicos (*eg.* carbonatos) (MAOTDR, 2006). Na realização dos espetáculos pirotécnicos os gases e partículas produzidas contêm resíduos de metais pesados, compostos de enxofre e carvão e produtos tóxicos, constituindo por isso uma ameaça em termos de saúde pública, que se manifesta na fauna, flora e seres humanos. Do fabrico e emprego destas substâncias, se não houver a preocupação em cumprir com as regras de proteção ambiental, pode ocorrer a contaminação dos solos, dos recursos hídricos e do ar atmosférico por resíduos rejeitados do processo de fabrico ou abandonados após os espetáculos e por poluentes libertados durante o espetáculo (Environmental Issues, 2012).

Para combater a falta de conhecimentos dos profissionais deste sector têm-se desenvolvido na última década diversos projetos para a qualificação e certificação das competências dos profissionais no setor dos explosivos. A União Europeia, através do programa *Leonardo da Vinci*, tem apoiado alguns desses projetos (EUExCert I / II, EUEXNet e ESSEEM), cujos objetivos passam pelo harmonizar da formação profissional e o desenvolvimento de modelos de validação

e reconhecimento das competências, que conduzam à emissão de um certificado europeu, contribuindo assim para uma mais fácil mobilidade destes trabalhadores no espaço da União Europeia (Akhavan et al, 2007). Em Portugal o acompanhamento destes projetos tem sido feito pelo Laboratório de Energética e Detónica, Associação de Apoio (LEDAP), (que se dedica à investigação e desenvolvimento de materiais energéticos), que em colaboração com a Universidade de Coimbra (UC), tem dado o seu contributo para as mudanças que se exigem na formação e qualificação dos profissionais do sector dos explosivos em Portugal e na Europa (Góis, 2010). Devido à inexistência de programas formativos específicos e de documentos de carácter didático para a formação profissional destes trabalhadores, impõe-se a produção de informação técnica adaptada à realidade deste setor, com a finalidade de proporcionar os conhecimentos necessários que lhes permita elevar a segurança das operações no fabrico e emprego, e desenvolver novas composições e processos que permitam reduzir os impactes ambientais, e ao mesmo tempo lhes permita obter o reconhecimento da profissão ao nível nacional e europeu, contribuindo para melhorar a imagem da opinião pública relativamente a estes trabalhadores.

## **1.2 Objetivos**

A presente dissertação tem por objetivo discutir os princípios fundamentais relativamente à segurança das operações na atividade pirotecnia e os impactes ambientais associados. Esses princípios são transmitidos por manuais, cursos de formação e regulamentos, por isso os objetivos passam por discutir a formação profissional disponível em Portugal para os trabalhadores deste setor e compará-la com a de outros países dentro e fora da Europa, procurando reunir os conhecimentos fundamentais exigidos e os requisitos exigidos por lei.

A abordagem para o desenvolvimento do trabalho assentou numa revisão bibliográfica, em revistas da especialidade sobre os assuntos em causa, seguida de consultas junto de empresas fabricantes de artigos pirotécnicos e de empresas de “*design*” e realização de espetáculos de fogo-de-artifício, de modo a avaliar a forma como são tratadas estas questões pelos profissionais e responsáveis das empresas e para facilitar no futuro, o estudo de impactes ambientais associados à atividade de densificação do solo com explosivos para mitigar os efeitos dos sismos.

## **1.3 Estrutura da Dissertação**

A dissertação está estruturada em seis capítulos, divididos em duas partes principais. Na primeira, apresenta-se e discute-se os acidentes mais frequentes e os impactes associados à atividade. Na segunda parte explora-se em termos comparativos os modelos de formação e conteúdos dos cursos em vários países.

O capítulo 1 é a introdução onde se apresenta o enquadramento do tema, objetivos e metodologia a desenvolver. O capítulo 2 apresenta o estado da arte em termos de evolução da pirotecnia, impactes e as questões de segurança relacionados com a atividade. O capítulo 3 incide na pesquisa de cursos, formações, congressos já existentes em vários países nesta matéria, sendo apresentada uma possível proposta para Portugal.

O capítulo 4 consiste num esboço de um manual com os conceitos básicos e a caracterização dos materiais mais comuns usados em pirotecnia e o capítulo 5 fala dos regentes usados nesta atividade. Por fim o capítulo 6 apresenta uma breve conclusão sobre a problemática do setor da pirotecnia assim como a importância que esta dissertação pode ter para trabalhos futuros.

## 2 ESTADO DA ARTE DA PIROTECNIA

### 2.1 Evolução histórica da pirotecnia

A fabricação de artigos de pirotecnia surgiu com o aparecimento da pólvora negra por volta do século X, na China. A junção acidental, por um alquimista chinês, de salitre (nitrato de potássio), enxofre e carvão e posteriormente aquecido, esteve na origem da descoberta. A mistura, depois de seca, tornava-se um pó negro, que quando queimado formava uma chama e libertava imenso fumo. Este produto inicialmente designado de *huo yao* (fogo químico) ficou mais tarde conhecido como pólvora. Contudo, os chamados fogos-de-artifício começaram a ser produzidos muito antes - milhares de anos antes de Cristo - quando se descobriu que pedaços de bambus ainda verdes explodiam quando colocados em fogueiras, devido à formação de bolsas de ar e de seiva, resultantes do rápido crescimento da planta, que inchavam e explodiam quando aquecidas produzindo fortes ruídos. Mais de 2000 anos depois, descobriu-se que os bambus ocos recheados com a referida pólvora e lançados ao fogo produziam um ruído muito maior. Surgiram assim os primeiros fogos-de-artifício como ainda hoje os conhecemos (Góis, 2012).

Na Europa, a pirotecnia surgiu a partir do século XIII, baseando-se fundamentalmente em conhecimentos empíricos que passavam de geração para geração. Esta atividade esteve sempre relacionada com guerras e eventos festivos e está na origem do fabrico de material bélico e foguetes espaciais e nos fogos-de-artifício. Durante a Primeira Guerra Mundial desenvolveram-se diversos artefactos bélicos, como traçadores de tiro, sinalizadores, fumaças tóxicas e bombas incendiárias. Na Segunda Guerra Mundial verificou-se um avanço significativo na pirotecnia militar, principalmente ao nível dos foguetes, afastando-se definitivamente da pirotecnia civil, vocacionada para o fabrico de fogos de artifícios (Manual de Pirotecnia, 2012).

Ao longo dos anos houve uma evolução no que diz respeito às quantidades de cada mistura, assim como a escolha dos carvões e outros aditivos, no sentido de melhorar a qualidade da pólvora, de modo a produzir espetáculos de grande impacte audiovisual e a proporcionar um maior nível bélico dos artigos. As matérias-primas utilizadas no fabrico de artigos pirotécnicos provêm maioritariamente do setor agrícola e alimentar (*eg.* nitratos, carbonatos, carvão, enxofre, fécula de batata, gomas arábicas e dextrina). A matéria explosiva é produzida a partir de agentes oxidantes (*eg.* percloratos, cloratos e nitratos) e agentes combustíveis (alumínio, magnésio,

titânio, carvão e enxofre). Os efeitos de luz e cor observados são conseguidos através da combustão de aditivos específicos (carbonatos). Esta mistura é estabilizada por aglutinantes ou colas constituídas por féculas de batata, dextrina ou gomas. No fabrico de artigos pirotécnicos usam-se também diversos componentes inertes como papel, cartuchos cartonados, plásticos e alumínio em folha (MAOTDR, 2006). Deste modo genérico, podemos definir artigo pirotécnico como sendo: “mistura ou composição química de um agente oxidante e um combustível capaz de produzir uma reação exotérmica, autossustentável” (Manual de Pirotecnia, 2012). Entre os principais artigos pirotécnicos destacam-se os foguetes, as candelas, os vulcões, as balonas e as bombas.

## **2.2 Análises dos acidentes em oficinas de pirotecnia em Portugal**

Os explosivos são reconhecidos como substâncias muito perigosas constituindo um alto risco a sua manipulação. O número de operações com risco de explosão não controlada é elevado devido à exposição a diversos estímulos a que estes materiais são submetidos durante as várias etapas do ciclo de vida (Góis, 2010).

Os acidentes na atividade pirotécnica são bastante comuns e têm um grande impacto pelo número de mortos e feridos e também pelos danos materiais causados. A gravidade dos acidentes, muito pelo considerável aumento da quantidade de explosivos fabricados e armazenados nos estabelecimentos, levou a uma reestruturação das leis europeias e nacionais que regulam o setor, com a imposição de regras mais restritivas aos fabricantes e utilizadores finais, com o objetivo de estabelecer um controlo mais apertado na qualidade dos produtos e dos processos produtivos e impondo também exigências em termos da formação e responsabilidades das pessoas que empregam estes produtos de modo a melhorar a segurança e a reduzir os impactos ambientais decorrentes de acidentes (Góis, 2010).

Em 2000, o relatório apresentado pelo Ministro da Administração Interna sobre o Inventário às oficinas de pirotecnia e cartuchos de caça em Portugal fazia referência a 42 acidentes relacionados com fogos-de-artifício, entre 1995 e 2000, que causaram 33 mortos, 25 feridos e provocaram a destruição completa de 6 oficinas de pirotecnia. Apesar do elevado nível de destruição das unidades de fabrico e/ou de armazenagem, no exterior dos estabelecimentos apenas algumas janelas e telhas de habitações na vizinhança foram quebradas (RMAI, 2000).

Os tipos de causa de morte e ferimentos mais comuns são queimaduras produzidas por deflagração ou traumatismos provocados pela onda de choque, associada à detonação. A figura 2.1 mostra casos de ferimentos comuns em acidentes com artigos pirotécnicos. A análise aos



acidentes mostra que a maioria deles poderia ter sido evitada, ou as suas consequências minimizadas se tivessem sido adotadas as prescrições de segurança aplicáveis às circunstâncias operacionais.

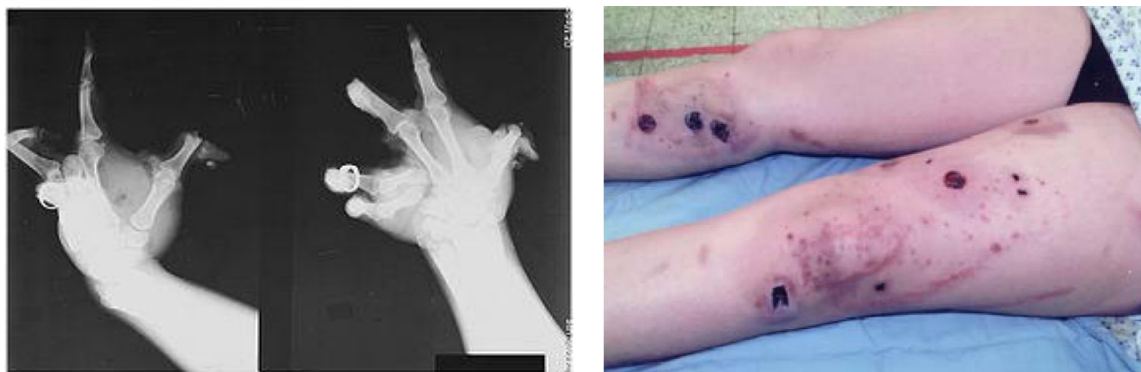


Figura 2.1 – Perda de Membros (a) e queimaduras frequentes (b) em acidentes Pirotécnicos (Wikipedia, 2012; Russ et al 2005)

Agrupando as causas de acidentes em oficinas de pirotecnia em externas e internas temos:

### 2.2.1 Causas externas

- A ocorrência frequente de incêndios nas matas na vizinhança do estabelecimento está na origem do lançamento de faúlhas ou do aquecimento da atmosfera envolvente;
- A entrada de estranhos para ações de furto em locais de armazenagem dentro do estabelecimento, em períodos de não laboração, é causa de grande número de vítimas, como foi o caso registado em 1992, na qual se registou cinco mortos e em 1995 em que cinco pessoas ficaram feridas (RMAI, 2000).

### 2.2.2 Causas internas

- O carregamento de canudos por calcamento - operação bastante frequente em oficinas de pirotecnia - está na origem de muitos incêndios. O incêndio ganha proporções significativas e pode ser transmitido a outras dependências de fabrico ou de armazenagem, quando na zona de fabrico existe uma grande quantidade de canudos calcados e/ou outros recipientes com pólvora, para além da que existe no alimentador. Nos casos em que o calcamento está na origem do incêndio, este é normalmente provocado pela fricção de peças metálicas com a pólvora na operação de calcamento, provocada por pequenos desalinhamentos entre as peças no momento de

batimento ou pela existência de eventuais impurezas nas matérias-primas utilizadas - mais sensíveis ao impacto. Noutros casos a origem do acidente com canudos surge durante a afinação da dimensão do furo de descarga dos gases gerados no interior, a qual nem sempre é efetuada com brocas metálicas anti-chispa (RMAI, 2000).

- Os acidentes com misturas de tiro, massas de cores e massas de bombetas têm sido os mais violentos e também os que estão na origem de maior número de mortos e de feridos graves. A sensibilidade da massa das bombetas está habitualmente ligada à existência de cloratos na sua composição, os quais são muito sensíveis a ações de fricção ou de impacto. A mistura que forma a massa das bombetas é extremamente fina, o que dá origem a suspensões de poeiras no ar e à geração de uma atmosfera potencialmente explosiva, bastando uma pequena fricção ou choque, para gerar energia suficiente para a ativação da atmosfera. Todos os acidentes que envolveram massas com cloratos, quer na fase de mistura, quer durante o enchimento das bombetas, provocaram a morte de todos os operários que participavam nas operações (RMAI, 2000).

- A elevada sensibilidade das massas de cores ao calor e à humidade contribui para o elevado número de acidentes com estas composições, os quais decorrem frequentemente por deficientes condições de controlo da temperatura durante a fase de secagem (RMAI, 2000). Também aqui a natureza e qualidade das matérias-primas empregues têm grande influência no risco da operação fabril. A figura 2.2 mostra a repartição percentual dos acidentes em função das causas que estiveram na sua origem.

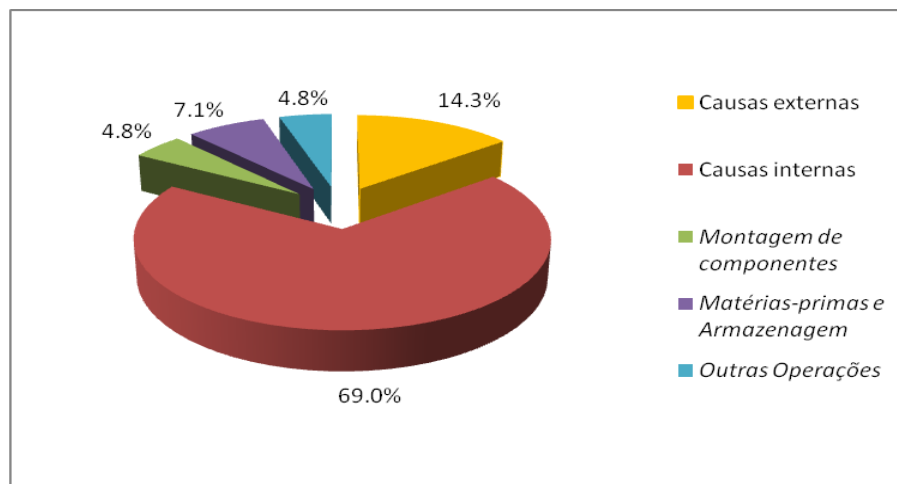


Figura 2.2 – Causas (em %) de acidentes ocorridos durante as várias operações fabris (adaptada de RMAI, 2000).

O quadro 2.1 resume as circunstâncias operacionais em que ocorreram alguns acidentes e as regras gerais de segurança que foram descoradas. Da análise à generalidade dos acidentes decorre que os maiores riscos associados ao fabrico de artigos pirotécnicos são:

- Insuficiente ou deficiente formação técnica dos gerentes técnicos e/ou dos operários;
- Não conformidade das instalações, com disposições regulamentares ligadas à proteção de pessoas e bens;
- Instalações fabris que, estando de acordo com os preceitos vigentes, não estão concebidas de forma a evitar ou mitigar a propagação de acidentes;
- Prática de procedimentos de risco, nomeadamente:
  - realização de operações fabris sem dispor de condições técnicas adequadas;
  - utilização de matérias-primas ou misturas, cujo emprego é reconhecidamente perigoso;
  - utilização de matérias-primas de qualidade incerta;
  - ausência generalizada de procedimentos de controlo de qualidade;
  - concentração dos edifícios fabris, facilitando a propagação de acidentes;
  - sobrelotação das unidades de fabrico ou de armazenagem em períodos de maior produção (Góis, 2005).

Quadro 2.1 – Análise resumida de acidentes em oficinas de pirotecnia em Portugal (RMAI, 2000).

| Circunstância operacional                   |   | Caraterização do acidente                   | Quantidade | %    | Diagnóstico de segurança                           |
|---|---|---|------------|------|--|
| Causas externas                             | Incêndio em mata próxima                              | Propagação do incêndio                      | 2          | 4,8  | Limpeza da área de segurança                       |
|   | Intervenção de estranhos                              | Explosão e incêndio.                        | 4          | 9,5  | Controlo de acessos                                |
|   |   |   | <b>6</b>   |      |  |
| Causas internas<br>(Fabrico de componentes) | Fabrico de pólvora                                    |   | 1          | 2,4  | Procedimentos de fabrico                           |
|   | Mistura de tiro, enchimento e finalização de bombetas | Deflagração provocada por choque ou fricção | 7          | 16,6 | Procedimentos de fabrico<br>Misturas com impurezas |
|   | Mistura de cores, secagem e enchimento de cores       | Reação espontânea, seguida de incêndio      | 12         | 28,5 | Seleção e qualidade de matérias-primas.            |

Quadro 2.1 (continuação) – Análise resumida de acidentes em oficinas de pirotecnia em Portugal (RMAI, 2000).

|                                      |   |   |           |     |                                     |
|--------------------------------------|---|---|-----------|-----|-------------------------------------|
|                                      | Calcamento de canudos;<br>Afinação de canudos       | Incêndio  | 3         | 7,1 | Excesso da lotação da matéria ativa |
|                                      |   |   | 3         | 7,1 |                                     |
|                                      | Carregamento de Candelas.<br>Acabamento de foguetes | Iniciação de deflagração por efeito de choque ou fricção, | 1         | 2,4 | Procedimentos de fabrico            |
|                                      |   |   | 2         | 4,8 | Compartimentação                    |
|                                      |   |   | <b>29</b> |     |                                     |
| <b>Montagem de componentes</b>       | Montagem de balonas.                                | Deflagração por choque ou fricção                         | 1         | 2,4 | Procedimentos de fabrico            |
|                                      | Montagem de foguetes.                               | produzido por peça metálica                               | 1         | 2,4 |                                     |
|                                      |   |   | <b>2</b>  |     |                                     |
| <b>Matérias-primas e Armazenagem</b> | Moagem de carvão                                    | Incêndio  | 1         | 2,4 | Procedimentos de fabrico            |
|                                      | Reação espontânea no armazém                        | Reação de Al e Mg.  | 1         | 2,4 | Regras de armazenagem               |
|                                      |   | Incêndio do carvão.                                       | 1         | 2,4 |                                     |
|                                      |   |   | <b>3</b>  |     |                                     |
| <b>Outras Operações</b>              | Operações de manutenção                             | Incêndio por fricção com ferramenta metálica              | 1         | 2,4 | Limpeza prévia do local             |
|                                      | Desmontagem de candela, utilizada num espetáculo    | Deflagração por choque ou fricção.                        | 1         | 2,4 | Procedimentos de desmantelamento    |
|                                      |   |   | <b>2</b>  |     |                                     |
| <b>Total</b>                         |   |   | <b>42</b> |     |                                     |

À semelhança de Portugal inúmeros acidentes relacionados com fogos-de-artifício têm ocorrido um pouco por todo o mundo. Alguns destes acidentes causados pela inexperiência dos trabalhadores, por negligência ou simplesmente por acidente, têm provocado a morte de muitas pessoas. A base de dados ARIA, explorada pelo Departamento de Desenvolvimento Sustentável, identificou alguns eventos com impacto na saúde pública, natureza, meio ambiente e segurança, fruto da atividade de fábricas, armazéns e locais de construção. No quadro 2.2 que se segue estão descritos alguns dos acidentes ocorridos durante a fabricação, montagem, armazenamento e manuseamento de material pirotécnico.

Quadro 2.2 – Análise resumida de acidentes em vários países no mundo (adaptado de ARIA, 2011).

| Circunstância Operacional            | Data/Local   | Incidente  |
|--------------------------------------|--|--|
| Fabricação, Montagem e Armazenamento | 1/10/2002- Nuevo Progreso, México                      | Uma violenta explosão numa fábrica de fogos-de-artifício clandestina, provoca a morte do proprietário e 12 pessoas na vizinhança ficaram feridas; Várias casas em redor ficam totalmente destruídas e outras danificadas |
|                                      | 18/12/2002- Tsukuba, Japão                             | Uma explosão numa fábrica de fogos-de-artifício fere 5 trabalhadores: 2 em estado crítico.   |
|                                      | 19/7/2005- Teggiano, Itália                            | Uma violenta explosão numa fábrica de produção de fogos-de-artifício provoca a morte a duas pessoas e outras 2 ficam gravemente feridas  |
|                                      | 21/10/2007- Chongqing, China                           | Uma explosão, de origem desconhecida, numa fábrica de fogo-de-artifício provoca a morte de 16 pessoas e 15 ficam feridas. A fábrica e algumas casas em redor ficaram totalmente destruídas.                              |
|                                      | 6/2/2008- Sant Egidio di Madonna Delle Macchie, Itália | Numa empresa familiar de produção de fogos-de-artifício, uma explosão provoca a morte de 4 pessoas e uma gravemente ferida. A fábrica ficou praticamente destruída.  |
|                                      | 26/3/2008- Emirats Arabes Unis, Dubai                  | Uma explosão seguida de um incêndio num armazém de fogos-de-artifício, situado numa zona industrial, propaga-se a outros armazéns em redor provocando a morte de 2 pessoas e outras 2 ficam feridas.                     |
|                                      | 25/12/2006- Ormoc, Filipinas                           | Um incêndio numa loja de produtos pirotécnicos provoca a morte de 23 pessoas e 9 ficam feridas   |

Quadro 2.2 (continuação) – Análise resumida de acidentes em vários países no mundo (adaptado de ARIA, 2011).

|              |                                 |  |
|--------------|---------------------------------|--|
| Manuseamento | 24/1/1998- Pequim, China        | O disparo de um foguete provoca a explosão de 4 veículos que continham foguetes e materiais pirotécnicos, 40 pessoas morreram e quase 100 ficaram feridas. |
|              | 27/7/2001- Villajoyosa, Espanha | Durante uma festa tradicional, um barril de pólvora explode acidentalmente, na qual 25 pessoas ficaram feridas sendo 2 de entre elas feridos graves.       |
|              | 8/11/2003- Japão                | Durante uma demonstração, uma explosão prematura de fogos-de-artifício provoca a morte de 2 pessoas e outras 2 ficam feridas.                              |

### 2.3 Impactes ambientais dos fogos-de-artifício

A exuberância dos espetáculos de fogo-de-artifício deve-se à enorme variedade de produtos químicos usados e duração do espetáculo. Um espetáculo pirotécnico com duração aproximada de 15 minutos pode libertar grandes quantidades de partículas de metais pesados, podendo contaminar os recursos hídricos, quando os espetáculos são realizados próximo de rios ou lagos (Les Feux D'artifice, 2012). Muitos dos compostos resultantes da queima são tóxicos para os seres humanos. Dependendo do efeito pretendido, os fogos-de-artifício produzem fumos, poeiras e outros produtos químicos que são considerados nocivos. O bário (Ba), usado para produzir a cor verde, é tóxico e radioativo. Os compostos de cobre (Cu), utilizados para produzir a cor azul, contêm dioxinas a que são associadas casos de cancro. O cádmio (Cd), lítio (Li), antimónio (Sb), rubídio (Rb), estrôncio (Sr), chumbo (Pb) e o nitrato de potássio ( $KNO_3$ ) também vulgarmente utilizados, são apontados como causadores de problemas respiratórios, entre outros (Environmental Issues, 2012). Os fumos da queima de carvão e de enxofre de fogos-de-artifício produzem partículas, que podem ficar alojadas nos pulmões, constituindo um perigo para as pessoas com asma ou sensibilidade química. A utilização de percloratos de potássio e de sódio no fabrico de artigos pirotécnicos introduziu um novo problema para o homem, já que em grandes quantidades limitam a capacidade da glândula tiroide humana capturar o iodo da corrente sanguínea, podendo conduzir ao hipotireoidismo. A tiroide precisa de iodo para fabricar hormonas que controlam uma variedade de funções corporais, pois na sua ausência podem desenvolver uma vasta gama de distúrbios (Mother Nature Network, 2012).

As festividades com fogos-de-artifício são traumáticas para os animais, cuja audição é mais apurada que a humana. Devido à ocorrência destes eventos, por vezes, cães fogem de casa percorrendo quilómetros de distância, acabando muitas vezes feridos ou mortos na estrada por atropelamento. Os gatos têm taquicardia, salivação, tremores, medo de morrer e escondem-se em locais minúsculos, outros fogem e nunca mais são encontrados. Num estudo efetuado o Dr. Ian Duncan, etólogo da Universidade de Guelph, demonstrou que no dia seguinte ao espetáculo de fogo-de-artifício as galinhas poedeiras diminuam a produção de ovos, havendo nalguns uma má formação. Muitos peixes acabam mortos após a ingestão de substâncias provenientes destes acontecimentos. Há ainda animais que pelo trauma mudam de comportamento (Mary e Frank, 2012). Embora as partículas tóxicas lançadas pelos fogos-de-artifício possam alterar as condições de vida de animais que vivem no meio aquático ou no solo, não existem estudos detalhados e comprovados que possam provar os perigos reais para o ecossistema. A extensão da contaminação ambiental pode ser feita através de um teste de inibição de crescimento de algas - processo usado para detetar e quantificar a toxicidade de uma substância for efeitos ambientais (Les Feux D'artifice, 2012).

De modo a dar uma imagem dos possíveis impactes ambientais associados ao fabrico e lançamento de artigos pirotécnicos são descritos esses impactes por tipo de material.

- **Estrôncio:**

O estrôncio é um metal que quando reage emite luz no comprimento de onda da cor vermelha, sendo extremamente reativo com o ar e com a água. Alguns compostos de estrôncio dissolvem-se em água, outros infiltram-se no solo em profundidade até às águas subterrâneas, tendo uma idade média de vida de 29 anos. Esta substância em elevadas porções pode afetar a saúde humana, danificando a medula óssea, provocando anemia e impedindo a correta coagulação do sangue, podendo ainda afetar a fauna através de defeitos congénitos (Mother Nature Network, 2012).

- **Alumínio:**

É uma matéria-prima comum em pirotecnia. Quando reage produz imenso calor e emite uma luz branca. Praticamente todos os alimentos, a água, o ar e o solo contêm uma certa quantidade de alumínio (os adultos através dos alimentos ingerem em média por dia 7 a 9 mg deste metal). Em elevados níveis pode afetar o cérebro e os pulmões, podendo até levar à doença de Alzheimer, embora ainda não tenha sido provada essa relação (Mother Nature Network, 2012).

- **Cobre:**

O cobre por si só não é considerado um composto de elevada toxicidade, contudo quando ligado a percloratos forma dioxinas. As dioxinas são substâncias químicas viciosas que só se formam como subprodutos indesejáveis de certas reações químicas, nomeadamente nos fogos-de-artifício de cor azul. O efeito mais notado na saúde devido à exposição a estas dioxinas é uma doença na pele, evidenciada por lesões graves com acne, principalmente no rosto e na parte superior do corpo. A Organização Mundial de Saúde identificou-o como sendo um carcinogéneo humano, interrompendo também a produção hormonal e o metabolismo da glicose (Mother Nature Network, 2012).

- **Bário:**

O bário é uma substância que se pode acumular nos peixes e noutros organismos aquáticos, e entrar assim na cadeia alimentar. Este metal surge em muitos compostos pirotécnicos. A sua reação química com materiais produtores de cloro faz com que emita luz verde. A ingestão de alimentos contaminados com bário pode causar problemas gastrointestinais e fraqueza muscular quando são excedidos os padrões de água potável da Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Os sintomas podem incluir vômitos, diarreia, dificuldade de respiração, alterações na pressão arterial, fraqueza muscular generalizada e câibras. Quando os níveis de bário são elevados pode levar a alterações no ritmo cardíaco, a paralisia ou mesmo à morte (Mother Nature Network, 2012).

- **Rubídio:**

Este metal passa ao estado líquido a uma temperatura de 104 °C, sendo bastante reativo com a água. A nível ambiental não causa grandes problemas, contudo pode causar irritação na pele, sendo moderadamente tóxico quando ingerido. Por reação emite luz de cor roxa (Mother Nature Network, 2012).

- **Cádmio:**

O cádmio é utilizado para produzir uma ampla gama de cores nos espetáculos pirotécnicos, e o resultado da sua exposição está associado a problemas cancerígenas. Respirar elevados níveis desta substância pode causar sérios danos nos pulmões. A exposição prolongada pode provocar problemas a nível renal, danos nos pulmões e fragilizar os ossos. Os animais e as plantas podem ser afetados através da sua cadeia alimentar (Mother Nature Network, 2012).

Nos últimos anos muitos estudos e testes foram realizados em vários países após a ocorrência de grandes eventos festivos envolvendo o uso intensivo de artigos pirotécnicos. Esses estudos



tiveram como principal objetivo analisar em tempo real os impactes causados no meio ambiente e na saúde pública. Em muitos países onde os espetáculos de pirotecnia duram vários dias e se prolongam por várias horas, a exposição a concentrações elevadas de partículas assume proporções alarmantes.

### **2.3.1 Festival de “Diwali” na Índia**

Durante o festival “Diwali” em Nova Deli, na Índia, foi feito um estudo num período de 24 h, tendo-se registado níveis extremamente elevados de  $PM_{10}$ , assim como concentrações elevadas de Ba, K, Mg, Al e CE. Estima-se que este evento contribuiu com 23 a 33% de  $PM_{10}$  para o meio ambiente, constatando-se que a exposição crónica à poluição de “Diwali” é susceptível de causar um aumento de pelo menos 2% no nível de perigo, embora à exposição de Al, Mn, Ba não estejam associadas doenças cancerígenas (Sayantan et al, 2010).

No ano de 2009, o festival de Diwali foi comemorado a 17 de Outubro. No dia 9 de Outubro e por um período de 24 h foram recolhidas as concentrações de  $PM_{10}$  com o objetivo de obter concentrações padrão para posteriormente serem comparadas com os dias 16 de Outubro (pré-Diwali), 17 de Outubro (Diwali) e 18 de Outubro (pós Diwali). Embora este festival seja festejado num único dia, as celebrações tendem a espalhar-se para os dias anteriores e posteriores sob a forma de queimas esporádicas de fogo-de-artifício. A Figura 2.3 mostra os resultados das excedências médias diárias nos dias 16, 17 e 18 (Sayantan et al, 2010).

As concentrações dos 20 elementos presentes com maior abundância neste estudo estão representadas no Quadro 2.3. Este quadro mostra que Deli apresenta grandes concentrações de metais na atmosfera provocadas por emissões industriais, circulação rodoviária entre outras, registadas antes do impacto das atividades de fogo-de-artifício. Contudo este evento veio contribuir significativamente para um aumento da degradação do ar, embora por um curto período de tempo (Sayantan et al, 2010).

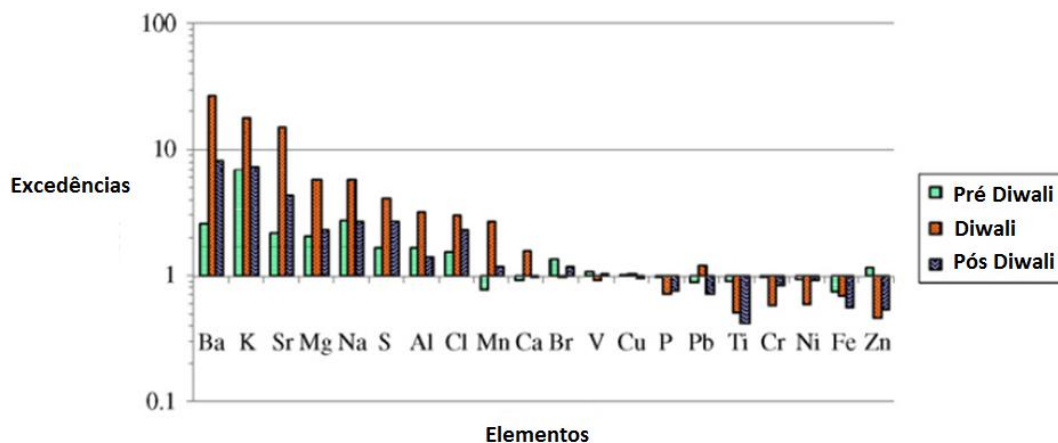


Figura 2.3 – Excedências médias elementares nos dias pré-Diwali, Diwali e pós-Diwali (Sayantan et al, 2010).

Quadro 2.3 – Concentrações de PM<sub>10</sub> e espécies químicas ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) observadas para condições padrão, pré-Diwali, Diwali e pós-Diwali nos vários locais de estudo (Sayantan et al, 2010).

| Espécies         | MV <sup>(a)</sup> |            |        |            | MP <sup>(b)</sup> |            |        |            | JNU <sup>(c)</sup> |            |        |            |
|------------------|-------------------|------------|--------|------------|-------------------|------------|--------|------------|--------------------|------------|--------|------------|
|                  | Condições Padrão  | Pré Diwali | Diwali | Pós Diwali | Condições Padrão  | Pré Diwali | Diwali | Pós Diwali | Condições Padrão   | Pré Diwali | Diwali | Pós Diwali |
| PM <sub>10</sub> | 273.5             | 420.5      | 587.7  | 380.2      | 300.4             | 432.3      | 616.8  | 424.8      | 159.1              | 175.3      | 317.2  | 214.4      |
| Na               | 2.34              | 7.07       | 15.74  | 7.54       | 2                 | 9.01       | 16.04  | 8.32       | 2.64               | 3.01       | 8.63   | 2.91       |
| K                | 2.55              | 21.37      | 57.29  | 25.05      | 1.79              | 25.71      | 63.39  | 26.04      | 3.41               | 6.83       | 19.66  | 6.2        |
| Ca               | 9.22              | 8.93       | 22.53  | 10.35      | 11.79             | 11.18      | 15.95  | 13.51      | 10.59              | 9.6        | 10.92  | 7.47       |
| Mg               | 3.95              | 7.27       | 26.84  | 8.99       | 4.83              | 10.43      | 27.83  | 13.86      | 2.32               | 5.27       | 9.22   | 2.69       |
| Al               | 10.84             | 20.57      | 47.87  | 16.15      | 15.92             | 26.59      | 51.58  | 24.04      | 9.67               | 12.79      | 15.87  | 11.19      |
| Ti               | 3.27              | 4.8        | 2.2    | 1.69       | 5.82              | 3.82       | 2.48   | 2.06       | 0.78               | 0.38       | 0.4    | 0.37       |
| Mn               | 0.26              | 0.22       | 1.09   | 0.5        | 0.35              | 0.27       | 0.95   | 0.37       | 0.43               | 0.31       | 0.74   | 0.36       |
| P                | 2.2               | 2.3        | 1.45   | 1.54       | 2.01              | 2.45       | 1.52   | 1.73       | 1.45               | 0.98       | 1.07   | 1          |
| Fe               | 7.89              | 10.43      | 7.05   | 7.62       | 13.49             | 3.73       | 4.91   | 5.44       | 6.01               | 6.2        | 6.81   | 2.46       |
| Cr               | 0.41              | 0.43       | 0.27   | 0.45       | 0.58              | 0.56       | 0.21   | 0.35       | 0.46               | 0.44       | 0.38   | 0.42       |
| Cu               | 0.48              | 0.43       | 0.52   | 0.42       | 0.62              | 0.68       | 0.54   | 0.57       | 0.47               | 0.49       | 0.58   | 0.51       |
| V                | 0.35              | 0.35       | 0.43   | 0.41       | 0.38              | 0.44       | 0.4    | 0.39       | 0.33               | 0.36       | 0.15   | 0.31       |
| Br               | 0.013             | 0.01       | 0.008  | 0.008      | 0.006             | 0.012      | 0.009  | 0.01       | 0.004              | 0.009      | 0.006  | 0.008      |
| Cl               | 2.05              | 2.94       | 6.3    | 6.14       | 3.24              | 4.76       | 6.09   | 6.9        | 0.76               | 1.58       | 5.74   | 0.9        |
| Ba               | 0.07              | 1.39       | 21.69  | 7.75       | 0.09              | 2.04       | 18.89  | 6.34       | 0.03               | 1.56       | 9.98   | 1.65       |
| Ni               | 0.11              | 0.1        | 0.1    | 0.13       | 0.15              | 0.15       | 0.11   | 0.12       | 0.11               | 0.1        | 0.02   | 0.09       |
| Pb               | 0.29              | 0.29       | 0.36   | 0.18       | 0.4               | 0.3        | 0.39   | 0.24       | 0.19               | 0.21       | 0.33   | 0.22       |
| S                | 15.54             | 23.85      | 54.55  | 41.74      | 10.75             | 26.53      | 63.89  | 46.41      | 12.31              | 14.15      | 41.09  | 16.41      |
| Sr               | 0.01              | 0.02       | 0.19   | 0.06       | 0.01              | 0.03       | 0.15   | 0.04       | 0.01               | 0.01       | 0.09   | 0.02       |
| Zn               | 1.38              | 1.65       | 0.95   | 1.07       | 1.99              | 2.36       | 0.85   | 0.97       | 1.96               | 2.16       | 0.67   | 0.86       |
| TC               | 30.11             | 71.42      | 115.54 | 98.39      | 39.46             | 75.82      | 117.87 | 134.52     | 25                 | 54.14      | 99.74  | 100.09     |
| EC               | 9.66              | 12.76      | 40.8   | 18.28      | 11.51             | 15.11      | 45     | 23.51      | 7.1                | 10.21      | 35.74  | 14.15      |
| OC               | 20.45             | 58.66      | 74.74  | 80.11      | 27.95             | 60.71      | 72.87  | 111.01     | 17.9               | 43.92      | 64     | 85.95      |

<sup>(a)</sup> Mayur Vihar; <sup>(b)</sup> Mithapur; <sup>(c)</sup> Jawaharlal Nehru University.

De um modo geral, a percepção das pessoas relativamente à poluição de Diwali é baseada na concentração de partículas poluentes atmosféricas como o SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, etc. É no entanto de elevada importância caracterizar marcadores específicos emitidos durante os fogos-de-artifício para obter

uma melhor compreensão do cenário atual. O presente estudo revela que o evento gera enormes quantidades de poluentes (metais, CE, etc) que representam um elevado risco para a saúde. Proibir tais festividades seria socialmente inaceitável, no entanto, o conhecimento adequado do cenário é vital para garantir que a população sensível possa tomar medidas preventivas (Sayantan et al, 2010).

### **2.3.2 Efeito dos fogos-de-artifício na qualidade do ar ambiental em Malta**

As festas religiosas em Malta decorrem durante o Verão, sendo 86 delas celebradas entre Junho e Outubro, cada uma envolvendo a queima de fogo-de-artifício durante um período de 3 dias ou mais por festival. Em 2005 foi avaliado o seu efeito na qualidade do ar, comparando  $PM_{10}$  e as concentrações de Al, Ba, Cu, Sr e Sb com materiais usados em composições pirotécnicas. As amostras de  $PM_{10}$  foram recolhidas a partir de dois locais: Malta (zona urbana) e Gozo (zona rural), na qual foram celebradas 59 festas no período de Julho e Agosto e 11 no período de Setembro e Outubro do mesmo ano (Renato e Alfred, 2010).

A amostragem foi realizada de forma contínua durante o período de Julho a Outubro de 2005 e novamente em 28 de Abril de 2006. A medição de Abril de 2006, realizada num período onde não ocorrem quaisquer festividades, serviu de medida padrão, diferindo deste modo de trabalhos realizados anteriormente, uma vez que pretendia avaliar o impacto causado a longo prazo ao invés de um impacto imediatamente após uma única exibição pirotécnica (Renato e Alfred, 2010).

As médias semanais assim como as suas médias mensais associadas para os valores de  $PM_{10}$  de Julho a Outubro de 2005 estão representadas na figura 2.4 e 2.5 sendo de realçar que as concentrações em Malta foram sempre superiores aos valores correspondentes em Gozo. Em ambos os locais as concentrações de  $PM_{10}$  decresceram de Julho a Outubro, embora de forma não linear com o número de ocorrências festivas: 32 em Julho, 27 em Agosto, 10 Setembro e 1 em Outubro (Renato e Alfred, 2010).

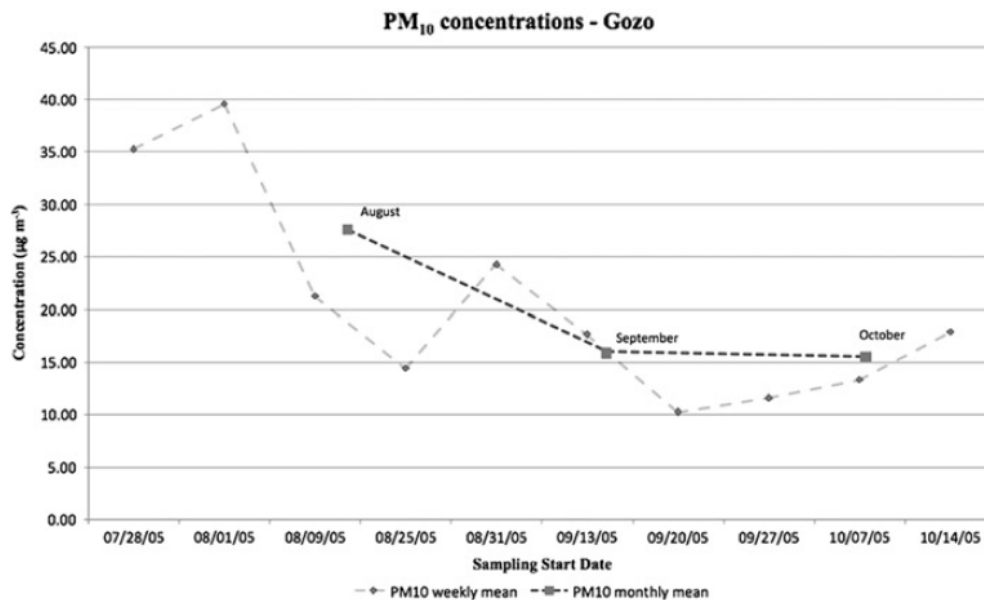


Figura 2.4 – Média semanal e médias mensais associadas de concentrações de PM10 para Malta (Renato e Alfred, 2010).

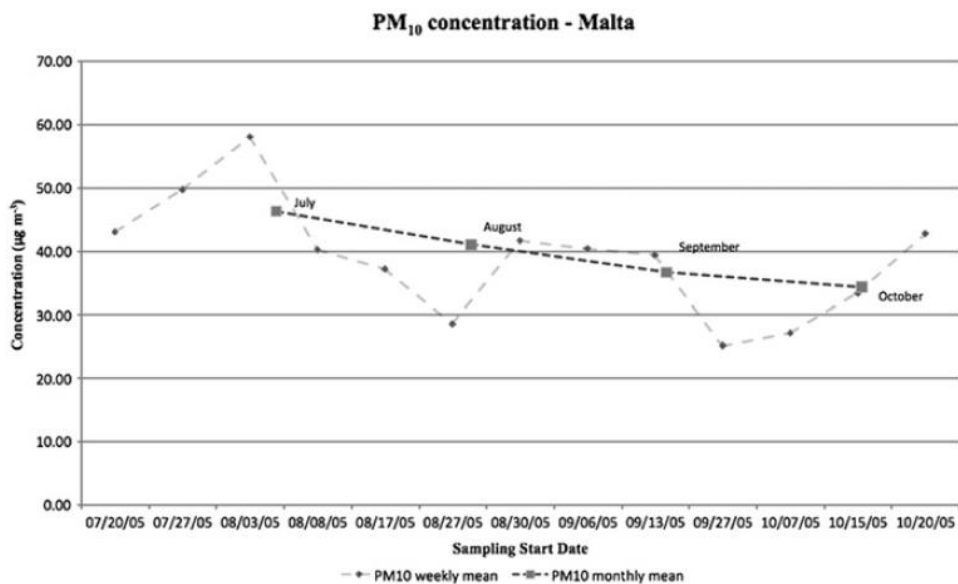


Figura 2.5 – Média semanal e médias mensais associadas de concentrações de PM10 para Gozo (Renato e Alfred, 2010).

As fortes correlações entre  $PM_{10}$  e Al, Ba, Cu, Sr e Sb em suspensão, estão associados a composições pirotécnicas, assim como a intensidade dos teores de metais de  $PM_{10}$  quando comparados com dados semelhantes relacionados com outros países, não deixando dúvida de que os fogos-de-artifícios estão a contribuir significativamente para a deterioração do ar atmosférico em Malta. Além disso os metais, em especial o bário e o antimónio que são de fácil inalação podem representar elevados riscos para a saúde (Renato e Alfred, 2010).

### 2.3.3 A poluição pela queima de fogos-de-artifício durante o festival de lanterna em Pequim

Os efeitos na qualidade do ar provenientes da queima de fogos-de-artifício em Pequim foram inicialmente avaliados a partir das concentrações de diversos poluentes no ar ( $SO_2$ ,  $N_2$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  e partículas com componentes químicas) durante o festival de lanternas em 2006 (Renato e Alfred, 2010). Durante o evento foram medidas as concentrações de várias espécies, a noite do festival (12 de Fevereiro, definida como exemplo # 1), o dia após (13 de Fevereiro, definida como exemplo # 2), a noite após (13 de Fevereiro, definida como exemplo # 3), e um dia normal (14-15 de Fevereiro, definida como exemplo # 4), Quadro 2.4 (Ying et al, 2006).

As variações diárias de  $SO_2$ ,  $NO_2$  e  $PM_{10}$  durante o período do festival de primavera em 2005 e 2006 são apresentados na Figura 2.6. Observa-se então uma clara elevação de  $SO_2$ ,  $NO_2$  e  $PM_{10}$  nestes dois dias em 2006 e pequenas alterações dos mesmos em 2005. As concentrações de  $SO_2$ ,  $NO_2$ , e níveis de  $PM_{10}$  mostraram um aumento até 57 %, 25 %, e 183 %, respetivamente, no dia do festival da lanterna em comparação com o dia anterior em 2006. Grande parte das concentrações de  $PM_{10}$  passou o dobro do limite máximo permitido ( $150 \mu g.m^{-3}$ ) (Ying et al, 2006).

Quadro 2.4 – Concentrações em massa de  $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$ , juntamente com as condições meteorológicas durante o período de amostragem (Ying et al, 2006).

|            |                                   | $PM_{2.5}$<br>( $\mu g m^{-3}$ ) | $PM_{10}$<br>( $\mu g m^{-3}$ ) | Temp.<br>( $^{\circ}C$ ) | Ponto de orvalho<br>( $^{\circ}C$ ) | Humidade<br>relativa<br>(%) | Velocidade<br>do vento<br>( $m s^{-1}$ ) | Visibilidade<br>(km) | Profundidade<br>(m) | Condição  |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--|----------------------|---------------------|-----------|
| Exemplo #1 | Feb 12,<br>19:54–Feb 13,<br>07:45 | 184.3                            | 466.2                           | -2.23                    | -4.00                               | 88                          | 1.69                                     | 1.81                 | 250                 | Nevoeiro  |
| Exemplo #2 | Feb 13,<br>07:54–Feb 13,<br>19:50 | 142.5                            | 406.9                           | 2.00                     | -0.58                               | 83                          | 1.67                                     | 1.33                 | 253                 | Nevoeiro  |
| Exemplo #3 | Feb 13,<br>19:50–Feb 14,<br>07:50 | 137.8                            | 394.9                           | 0.33                     | -2.25                               | 85                          | 3.08                                     | 1.69                 | 257                 | Neblina   |
| Exemplo #4 | Feb 14,<br>07:52–Feb 15,<br>07:52 | 26.1                             | 85.6                            | 4.38                     | -5.71                               | 55                          | 3.08                                     | 7.58                 | 509                 | Soalheiro |

Na figura 2.6 estão representadas as variações das espécies medidas em PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>, durante o Festival das Lanternas

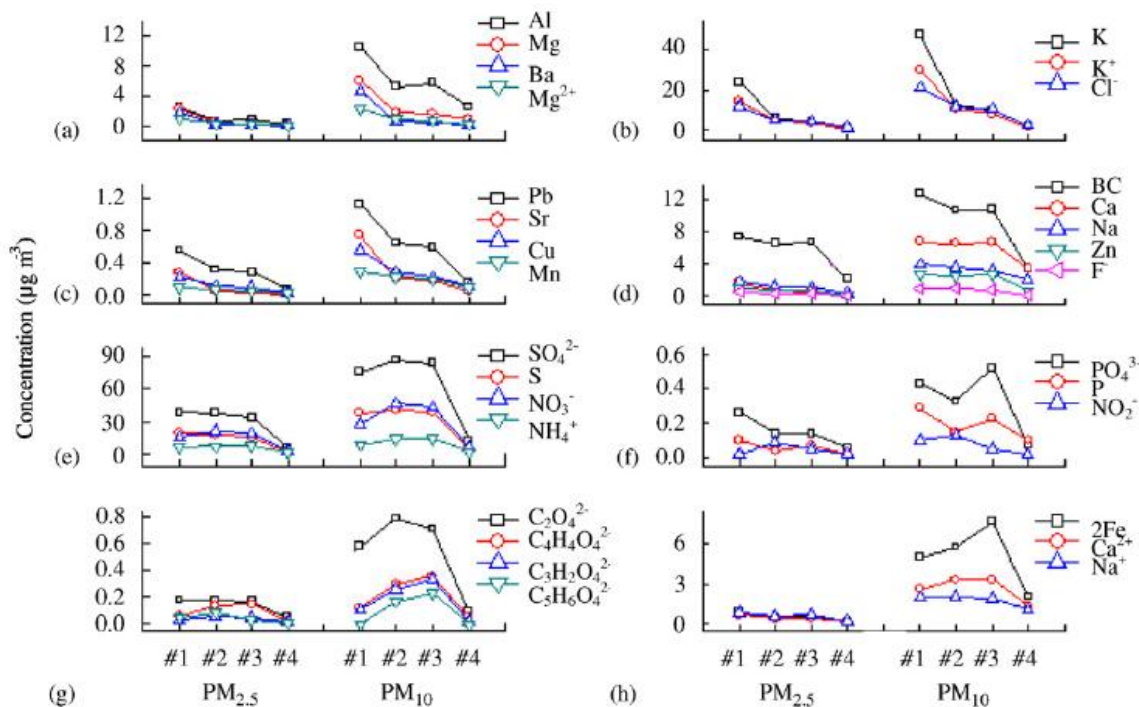


Figura 2.6 – Variações dos elementos nas 4 amostras (Ying et al, 2006).

As figuras 2.6 (a), (b), (c) mostram as variações de Al, Mg, Ba,  $Mg^{2+}$ , K,  $K^+$ ,  $Cl^-$ , Pb, Sr, Cu e Mn. Estes componentes atingiram um pico elevado na noite de queima do fogo-de-artifício, apresentando posteriormente um rápido decréscimo, o que sugere uma contribuição fraca de outras fontes locais (Ying et al, 2006).

Relativamente à figura 2.6 (d) mostra variações de  $F^-$ , Zn, Na, Ca e BC. As concentrações destes componentes na noite do evento pirotécnico foram moderadamente mais elevadas do que em dias normais, no entanto diferem das espécies analisadas nas figuras anteriores uma vez que só exibiu um ligeiro decréscimo no dia seguinte, sugerindo que as emissões locais também podem contribuir para a acumulação destas espécies na atmosfera (Ying et al, 2006).

Nas figuras 2.6 (e), (f), (g) e (h) observou-se que as concentrações atingiram o pico após a noite da queima do fogo de artifício, chegando, em alguns casos, as PM<sub>10</sub> a atingir concentrações 23 % maiores do que num dia normal. Este fenómeno indica que uma quantidade significativa de tais espécies pode resultar de formações secundárias. A queima de combustíveis não metálicos como

o carvão, o enxofre e o fosforo, geralmente utilizados na queima de fogos, podem emitir grandes quantidades de gases poluentes como o CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, entre outros (Ying et al, 2006).

Este estudo permite constatar que os componentes primários de Ba, K, Sr, Cl<sup>-</sup>, Pb e Mg assim como os componentes secundários de C<sub>5</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>, C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>, C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>, C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, apresentaram uma concentração cinco vezes superiores, e as PM<sub>2.5</sub> e as PM<sub>10</sub> subiram mais de 6 e 4 vezes respetivamente, relativamente a outros dias normais. Verificou-se também que mais de 90 % do total de aerossóis minerais, 98 % de Pb, 43 % de carbono total, 28% de Zn, 8 % de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e 3 % de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> em PM<sub>2.5</sub> provinham das emissões de fogos-de-artifício ocorridos na noite do evento (Ying et al, 2006).

#### **2.4 Resíduos do fabrico e emprego de artigos pirotécnicos**

A maior parte dos resíduos produzidos nesta atividade são essencialmente resíduos urbanos ou equiparados tais como, embalagens de cartão ou plástico, paletes de madeira ou desperdícios de produto não conforme. Os produtos explosivos e as matérias-primas que se encontrem deteriorados, não oferecendo garantia de estabilidade ou não se apresentando em boas condições de conservação, e que tenham ficado incapazes para utilização ou para ser economicamente recuperados, assim como resíduos resultantes da produção diária, devem ser eliminados nas instalações da empresa por combustão, detonação ou por via química, segundo o estipulado nos artigos 38º e 39º do DL nº139/2002, de 17 de Maio, que aprova o Regulamento de Segurança dos Estabelecimentos de Fabrico e Armazenagem de Produtos Explosivos (MAOTDR, 2006).

O DL nº 178/2006 de 5 de Setembro estabelece as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos, e coloca o produtor dos resíduos como responsável pela sua gestão, incluindo a recolha, transporte, tratamento adequado e destino final. Contudo muitas vezes existe dificuldade em encontrar operadores de gestão para determinado tipo de resíduos, nomeadamente os resíduos de explosivos (APIPE, 2007).

Sobre a gestão das embalagens de matérias-primas utilizadas no fabrico de artigos pirotécnicos, importa referir que estas podem conter ou estar contaminadas por resíduos de alumínio, perclorato de potássio, nitrato de potássio, enxofre, clorato de bário e nitrato de bário – matérias vulgarmente usadas na produção de fogos-de-artifício. A estas embalagens que contêm ou estão contaminadas por resíduos de substâncias perigosas é-lhes atribuído o código LER 15 01 10\*, (APIPE, 2007). Para este tipo de resíduos a entidade responsável pela recolha e tratamento é a Auto-Vila. O facto de muitas vezes não se conhecer a dimensão da perigosidade dos resíduos

envolvidos leva a que muitas vezes não sejam tomadas as medidas mais adequadas a uma correta gestão dos resíduos, impedindo a contaminação de outros resíduos não perigosos.

Após os espetáculos pirotécnicos inúmeros resíduos ficam nos solos, nomeadamente cascos de balonas, embalagens de baterias, embalagens de candelas entre outras, sendo-lhes atribuído o código LER 16 04 02\* relativo a resíduos de fogo-de-artifício. Em Portugal não existe nenhum operador de gestão de resíduos licenciados para a gestão de resíduos com este código LER, o que leva a que nem sempre sejam adotadas as melhores práticas (APIPE, 2007). A APA remete para o DL n° 139/2002 de 17 Maio a gestão dos resíduos do fabrico e emprego de explosivos, o qual estabelece que a eliminação pode ser feita por combustão ou detonação em campos de ensaios livres de fendas ou pedras e com área suficiente e com uma localização que impeça qualquer dano para além da distância de segurança correspondente a edifícios habitados, fixada no mesmo diploma. A eliminação também pode ser feita por via química, sendo que em qualquer dos casos devem ser utilizadas pequenas frações em cada operação.

#### **2.4.1 Avaliação das tecnologias para a eliminação de resíduos explosivos**

Tal como já foi referido anteriormente há um interesse cada vez maior por parte da comunidade para que a eliminação dos resíduos explosivos e para que a desmilitarização das munições sejam efetuadas de forma a reduzir os seus efeitos sobre o ambiente e a baixar os riscos de acidente associados. Como reconhecimento da necessidade de tecnologias ambientalmente aceitáveis e seguras para a eliminação dos resíduos explosivos e munições, a Comissão Europeia apoiou um projeto multinacional com o objetivo de desenvolver e avaliar tais tecnologias (Nijs e Frank, 2001).

##### **2.4.1.1 Avaliação do impacto para a saúde, ambiente e segurança (IAEHS) para seis cenários alternativos de eliminação de munições**

A seleção da melhor técnica de eliminação é controversa no que diz respeito ao meio ambiente, custos e capacidade, sendo que a comparação desses aspetos exige multi-critérios de análise de decisão (MCDA). Foi feita uma Avaliação do Impacto para a Saúde, Ambiente e Segurança (IAEHS) de forma a determinar os prós e contras para seis cenários alternativos para eliminação de munições, dando especial atenção aos aspetos relacionados com o meio ambiente (Nijs e Frank, 2001).



A seleção dos cenários assentou nas tecnologias que foram objeto de estudo detalhado durante o projeto, incluindo os "cenários de referência" de queima a céu aberto (OB) e a detonação a céu aberto (OD) (Nijs e Frank, 2001).

- Queima a céu aberto (OB)

Os propulsores, mas também grandes quantidades de explosivos e pirotécnicos são queimados no solo. No caso dos explosivos e/ou pirotécnicos utiliza-se um combustível auxiliar.

- Detonação a céu aberto (OD)

Elevadas quantidades de explosivos e todo o tipo de munições até ao máximo de 15 kg de material energético e/ou pirotécnicos são detonados, na maioria dos casos cobertos com meio metro de solo.

- Detonação fechada (CD)

Explosivos de elevada massa (eg. 2,4,6-trinitrotolueno (TNT) ou pentrite) e pequenas quantidades de munições, como minas anti-pessoal, com uma massa de material energético da ordem de unidades de kg, e cartuchos pirotécnicos, são detonados numa esfera metálica, resistente, com um diâmetro na ordem de 1-2 m.

- Combustão em leito fluidizado (FBC)

Esta técnica é aplicável a explosivos de elevada massa volúmica como é o caso TNT que foram transferidos para suspensões estáveis à base de água. Estas suspensões podem ser produzidas quando se usam lavagens de alta pressão para remover o TNT a partir da munição. Uma variação deste cenário é a injeção adicional de ureia no bordo livre do forno, a fim de reduzir a emissão de NO<sub>2</sub>.

- Forno rotativo (RK)

Esta técnica pode ser usada em suspensões de explosivos de elevada massa volúmica à base de água ou em propulsores como a nitro-celulose (NC). Uma variação deste cenário é a mistura de aditivos de forma a reduzir a emissão de NO<sub>2</sub>.

- Forno móvel (MF)

Os fornos móveis especialmente concebidos (MFS) são aplicáveis aos explosivos de elevada massa volúmica e a pequenas munições.

O objetivo dos IAEHS é analisar os impactos ambientais de ruído e emissões para o ar, água, solo e avaliar o risco de perigos para a saúde e segurança dos trabalhadores bem como para o público, incluindo perigos durante o transporte e carregamento. O IAEHS abrange as seguintes atividades relacionadas com a eliminação de munições:

- Transporte;
- Preparação e pré-tratamento;
- Enxugamento (muitas vezes no mesmo processo que a preparação e pré-tratamento);
- Processamento (tratamento, reciclagem e tratamento de resíduos);
- Limpeza dos fluxos dos resíduos;

Eliminação e descarga de resíduos no meio ambiente.

#### **2.4.1.2 Qualidade para as emissões no ar**

Todas as tecnologias selecionadas envolvem combustão ou detonação, portanto, as preocupações ambientais centraram-se nas emissões dos poluentes atmosféricos. Durante os estudos experimentais, investigaram-se 12 poluentes do ar, não sendo identificadas emissões relevantes para a diminuição do ozono e para o efeito de estufa. A combustão leva à emissão de dióxido de carbono, devido ao teor de carbono da generalidade dos explosivos, mas comparando este tipo de poluição com a utilização de combustíveis fósseis em todo o mundo, esta não é considerada uma grande preocupação em relação à eliminação de munições. O mesmo raciocínio se aplica à nitrificação, acidificação e oxidantes fotoquímicos, todos os problemas importantes à grande escala espacial (regional, nacional ou global) (Nijs e Frank, 2001).

A maior parte dos 12 poluentes investigados são de interesse devido à toxicidade humana e ambiental. Além disso, à exceção da amónia, todos os poluentes relevantes para a acidificação, nitrificação e os oxidantes fotoquímicos desempenham um papel importante em relação à toxicidade. Criou-se portanto, um conjunto único de atributos relacionados com a pontuação da qualidade do ar, dando ênfase aos aspetos de toxicidade e impacto de escala local (Nijs e Frank, 2001).

Foi feita uma comparação direta entre a toxicidade e os riscos ambientais relacionados com diferentes substâncias, utilizando técnicas como EUSES<sup>1</sup>. Seguiu-se uma abordagem mais

---

<sup>1</sup> EUSES – (European Union System for the Evaluation of Substances): é a ferramenta preferencial de modelação para as avaliações de risco de substâncias novas e existentes, apresentada em 1995 pela União Europeia (UE) e aprovado pelos Estados-Membros da EU.

pragmática usando as avaliações de toxicidade disponíveis e as normas de emissão. O NO<sub>2</sub> foi escolhido como substância "referência", pois as emissões de NO<sub>2</sub> têm sido uma grande preocupação devido ao elevado teor de azoto sob a forma de grupos nitro em explosivos e as emissões de óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) serem elevadas (Nijs e Frank, 2001).

#### **2.4.1.3 Qualidade para as emissões no solo**

Os potenciais problemas de poluição do solo são identificados da seguinte forma:

- A queima a céu aberto (OB) / detonação a céu aberto (OD) leva à deposição de detritos diretamente sobre o solo;
- Todos os resíduos de queima precisam de ser depositados num local de resíduos (cinzas, escórias).

Estes resíduos podem ser considerados como resíduos tóxicos devido às dioxinas. A massa total dos resíduos sólidos por kg de massa de material energético (MME) será um atributo de pontuação útil. A maioria dos processos de incineração irá gerar quantidades comparáveis de resíduos não queimados, dependendo da eficiência do processo. No entanto, alguns processos (OB e OD) conduzirão à propagação descontrolada e deposição dos resíduos não queimados na área circundante, enquanto noutros casos os resíduos são recolhidos e depositados sob condições controladas (aterro controlado, estabilizado ou imobilizado e reutilizado). A deposição descontrolada será considerada 10-100 vezes mais perigosa do que a deposição controlada (Nijs e Frank, 2001).

#### **2.4.1.4 Atributos para a segurança e para os riscos ambientais decorrentes de acidentes**

A análise de perigos resultou em quatro conjuntos de dados que podem ser utilizados como referências. Os pontos de risco relativo foram obtidos a partir do número de riscos graves identificados para: (1) lesão aguda ou fatalidade; (2) efeitos na saúde e (3) impacto ambiental, ponderado com a mão-de-obra necessária por kg de MME/kg desperdiçado. O quarto conjunto é o risco total de acidentes estimado para uma fatalidade ou lesão, que inclui também o risco relacionado com o transporte (Nijs e Frank, 2001).

#### **2.4.1.5 Resumo dos resultados das IAEHS**

- Transporte

O Quadro 2.5 descreve os requisitos de transporte para as diferentes tecnologias, apontando como principal impacto ambiental do transporte a poluição do ar.

- Preparação, pré-tratamento e redução

O impacto ambiental da preparação, pré-tratamento e/ou redução é limitado. A OB, OD e CD requerem preparações manuais. A lavagem e a preparação de lamas de TNT associada à FBC usa um circuito fechado de circulação de água. Uma parte da água é utilizada na suspensão, não sendo produzidas águas residuais. Os filtros para limpar a água circulante devem ser considerados como resíduos perigosos e ser eliminados por incineração num incinerador convencional de resíduos perigosos. A quantidade deste fluxo de resíduos é insignificante em comparação com, por exemplo, a quantidade de cinzas (cinzas volantes) produzida em FBC. A lavagem e a preparação de suspensões de TNT utiliza uma instalação fixa com uma área da ordem de 100 m<sup>2</sup>, que será incluída como um indicador de impacto sobre o património natural e cultural (Nijs e Frank, 2001).

Quadro 2.5 – Emissões para a atmosfera relacionadas com os cenários de eliminação de munições (adaptado de Nijs e Frank, 2001).

| Cenário                       | Requisitos de transporte  | Emissões de transporte em g de NEQ por kg de MME |
|-------------------------------|---|--|
| Queima a céu aberto           | A munição é transportada desde o local de armazenamento até ao sítio de queima, à distância típica de 80 km. Massa da embalagem, dos materiais, etc, terão a mesma massa que a MME (1 kg de MME requer 0,04 km MME de veículo).   | 4,3  |
| Detonação a céu aberto        | O mesmo que para a queima a céu aberto.   | 4,3  |
| Detonação fechada             | A detonação fechada é realizada num local específico, ou seja, não requer transporte substancial. Os produtos residuais devem ser transportados para um incinerador para resíduos perigosos numa distância de 335 km. Espera-se que o CD gere 0,1 kg de resíduos por kg de MME. Isto significa que cada kg de MME requer 0,008 km de veículo.                                   | 0,9  |
| Combustão em leito fluidizado | A lavagem decorre num depósito de munições. As suspensões (50% MME) são transportadas para a central de FBC, a uma distância de 335 km. Os produtos residuais, principalmente as cinzas, devem ser depositados num aterro a cerca de 20 km do incinerador. A produção de cinzas é de cerca de 0,027 kg por kg de MME. Isto significa que 1 kg de MME requer 0,17 km do veículo. | 18,4   |
| Forno rotativo                | O mesmo que para a FBC.   | 18,4   |
| Forno móvel                   | O mesmo que para a detonação fechada.   | 0,9  |

- A poluição do solo

Todos os processos de incineração conduzem a alguns resíduos sólidos que precisam de ser eliminados. Estes são geralmente eliminados num aterro controlado, apesar de alguns resíduos poderem ser utilizados no fabrico de materiais de construção (asfalto, cimento). As cinzas e outras partículas de fumaça também são o principal portador de hidrocarbonetos poliaromáticos. A OB e a OD levam à deposição destes sólidos nas proximidades da queima ou do local da detonação. Esta disposição não controlada pode muito bem ser considerado como o mais importante impacto ambiental negativo da OB e da OD. A eliminação não controlada é segundo o modelo de IAEHS considerada cerca de uma centena de vezes mais grave do que a eliminação controlada (Nijs e Frank, 2001).

Os resíduos dos produtos finais constituem cerca de 5% de MME. O Quadro 2.6 apresenta os resíduos sólidos e as pontuações da poluição do solo para as diferentes tecnologias.

Quadro 2.6 – Quantidade de resíduos sólidos e as pontuações da poluição no solo para as diferentes tecnologias (adaptado de Nijs e Frank, 2001).

|                                  | Total de resíduos sólidos por quilograma<br>MEM (kg) | Descontrolado/Controlado<br>Disposição | Pontuação |
|----------------------------------|--|--|-----------|
| Abrir queima                     | 0,36 (US-EPA)  | Descontrolado                          | 36        |
| Detonação aberta                 | 0,13 (US-EPA)  | Descontrolado                          | 13        |
| Detonação fechada                | 0,05 (estimativa)                                    | Controlado                             | 0,05      |
| Combustão em leito<br>fluidizado | 0,027 (resultado do teste)                           | Controlado                             | 0,027     |
| Forno rotativo                   | 0,02 (estimado para NC-lamas)                        | Controlado                             | 0,02      |
| Forno móvel                      | 0,05 (estimativa)                                    | Controlado                             | 0,05      |

## 2.5 Águas residuais das oficinas de pirotecnia

Durante os processos produtivos a água é utilizada como auxiliar na alimentação de redes de incêndio, no processo de climatização de paióis, lavagem de equipamentos e pavimentos, sendo posteriormente rejeitada para fossas sépticas. Estas águas residuais de lavagem constituem um problema pela contaminação com inúmeras matérias-primas utilizadas nos vários processos produtivos como nitratos, emulsionantes entre outros produtos - químicos nocivos para o ambiente. É então necessário precaver o seu armazenamento, em condições adequadas de captação, canalização e confinamento sendo posteriormente encaminhadas para um destino final adequado ou sujeitas a um tratamento específico com um controlo adequado dos parâmetros de qualidade característicos do efluente antes de ser rejeitado (MAOTDR, 2006).

## 3 FORMAÇÃO PROFISSIONAL

### 3.1 Formação profissional em Portugal

A formação de profissionais na área da pirotecnia em Portugal é essencialmente feita a nível interno das empresas, não existindo um quadro formativo nacional para estes trabalhadores. Ao nível do ensino superior, civil e militar existem alguns cursos de engenharia com uma ou duas disciplinas no máximo (com duração entre 45-90 horas) relacionadas com os explosivos. No Quadro 3.1 são apresentadas as designações de alguns desses cursos.

Quadro 3.1 – Cursos que abordam matérias relacionadas com explosivos (Góis, 2010).

|                   |  |
|-------------------|--|
| Ensino Superior   | Licenciatura (3 anos) / Mestrado (2 anos) em Engenharia Geológica e de Minas                   |
|                   | Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente (2 anos)                                       |
|                   | Curso sobre explosivos para responsáveis técnicos de pedreiras e obras de escavação (50 horas) |
| Escola Militar    | Mestrado em Engenharia Militar (5 anos)  |
|                   | Escola Naval - Licenciatura (3 anos) / Mestrado (2 anos)                                       |
| Escola da Polícia | Curso de Forças Especiais da Polícia (6-9 meses)   |

Para os profissionais da área da pirotecnia foram realizados no passado alguns cursos de curta duração. Apoiada pelo programa PEDIP II, entre 1998 e 2000, a Associação Portuguesa de Estudos e Engenharia de Explosivos (AP3E), com a colaboração da APIPE, organizou vários cursos e seminários dirigidos para grupos profissionais específicos no sector da pirotecnia no âmbito do projeto designado “Pirotecnia: menos riscos mais segurança”. Esses cursos tiveram por população-alvo três grupos de profissionais na área da pirotecnia: responsáveis técnicos, operadores de oficina e operadores de espetáculos (Quadro 3.2) (Trindade, 2009).

Quadro 3.2 –Módulos dos cursos para pirotécnicos, realizados entre 1998 e 2000 (Trindade, 2009).

| <b>Curso 1 - Responsáveis Técnicos</b>                                |
|---|
| Módulo 1 – Layout Fabril (3 Horas)                                    |
| Módulo 2 – Controle e segurança de pessoas e bens materiais (3 Horas) |
| Módulo 3 – Estrutura e gestão de empresas (4 Horas)                   |
| Módulo 4 – Tratamento de resíduos e ensaios (2 Horas)                 |

| <b>Curso 2 - Operadores de Oficina</b>  |
|---|
| Módulo 1 – Registo e armazenagem de matérias-primas e produtos finais (3 Horas) |
| Módulo 2 – Procedimentos de trabalho e regras de segurança (3 Horas)            |
| Módulo 3 – Princípios de química e materiais (4 Horas)                          |
| Módulo 4 – Procedimentos e operações em caso de acidente (2 Horas)              |

| <b>Curso 3 – Operadores de Espetáculos</b>                                 |
|--|
| Módulo 1 – Licenças e sinalização do local (3 Horas)                       |
| Módulo 2 – Carga, transporte e descarga dos artigos pirotécnicos (3 Horas) |
| Módulo 3 – Preparação e montagem de artigos pirotécnicos (2 Horas)         |
| Módulo 4 – Princípios de física e eletricidade (4 Horas)                   |

No anexo A são detalhados os temas mais relevantes abordados nesses cursos em termos da segurança na armazenagem e no fabrico de artigos pirotécnicos. No âmbito do mesmo projeto foram organizados cursos específicos para os operadores de oficina, cujas tarefas profissionais se desenvolvem ao nível dos processos de fabrico, controlo de qualidade e armazenagem. O Quadro 3.3 descreve os conteúdos desses cursos (Trindade, 2009).

Quadro 3.3 – Cursos de formação “Pirotecnia – Menos risco mais segurança”.

| <b>Legislação, higiene e segurança</b>                                     |
|--|
| Gestão da segurança  |
| Filosofia da segurança   |
| Programa de segurança  |
| Avaliação e controle, auditorias de segurança, plano de emergência interno |

Quadro 3.3 (continuação) – Cursos de formação “Pirotecnica – Menos risco mais segurança”.

| <b>Acondicionamento de matérias-primas e produtos acabados</b>  |
|---|
| Matérias-primas   |
| Consultas   |
| Ensaios   |
| Aquisição e qualificação  |
| Embalagem   |
| Produtos acabados   |
| Tipo de embalagens  |
| Regras a obedecer   |
| Aprovação de embalagens   |
| Embalagens para acondicionamento de fogo-de-artifício com vista a ser transportada por via rodoviária |

| <b>Sistemas de proteção e controle na conceção e aperfeiçoamento de uma oficina pirotécnica</b> |
|---|
| Projeto de equipamento  |
| Controle  |
| Pressão hidráulica  |
| Ar comprimido   |
| Descargas electrostáticas   |

| <b>Técnicas e metodologias de fabrico. Regras de segurança e funcionalidade no processo de fabrico</b> |
|--|
| Considerações  |
| Equipamentos usados em pirotecnia  |
| Prensagem  |
| Granulação   |
| Secagem artificial   |
| Sensibilidade à iniciação  |
| Energia de ativação  |
| Teste de sensibilidade   |
| Misturas perigosas. Considerações gerais   |

Ainda no âmbito do projeto realizou-se em 2000 em Coimbra um Seminário Internacional de Pirotecnica, que contou com a participação de especialistas estrangeiros da Alemanha, Espanha e Canadá.

Em 2006, organizado pela APIPE, realizou-se em Lisboa um Congresso Internacional sobre Pirotecnica, onde foram discutidos temas como a “Segurança no lançamento de pirotécnicos”, o



“Transporte de explosivos e pirotecnia” e a “Classificação e catalogação de artigos pirotécnicos” entre outros.

Em 2007, organizado pelo LEDAP, a Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) e o Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (DEM-FCTUC), realizou-se em Coimbra um Workshop sobre a “Formação em Produtos Explosivos em Portugal”, Este Workshop, de dois dias, abordou os diferentes tipos de formação, as metodologias de ensino e as qualificações e competências pretendidas para os formandos (Trindade, 2009).

Em 2008, organizado pela ADAI, realizou-se em Coimbra as Jornadas de Pirotecnia sobre a Diretiva Europeia 2007/23/CE, que veio fixar as regras para a livre circulação de artigos de pirotecnia no mercado interno, garantindo simultaneamente um elevado nível de proteção da saúde humana e da segurança pública e a defesa e a segurança dos consumidores, e tendo em conta os aspetos relevantes relacionados com a proteção ambiental. Esta Diretiva veio exigir uma formação técnica sólida aos profissionais do sector da pirotecnia envolvidos com fogos-de-artifício ao ar livre e fogos-de-artifício para teatro (Diretiva 2007/23/CE). A referida Diretiva está transposta pelo DL nº 34/2010 de 15 de Abril.

Em 2010, com a colaboração da ANEPE, realizou-se no Porto durante cinco dias o 12.º Simpósio Internacional de Fogos-de-Artifício, que reuniu cerca de 340 especialistas, de 40 países, onde se discutiu as mais recentes desenvolvimentos técnico-científicos na área dos fogos-de-artifício (Simpósio Internacional de Pirotecnia, 2012).

Em 2011, organizado pelo LEDAP e a ADAI, realizou-se em Lisboa a 2ª Conferência Internacional sobre Educação e Certificação de Competências no Sector dos Explosivos. Esta conferência visou a partilha de conhecimento e de experiências de diversos países em termos de formação e certificação tendo por objetivo contribuir para a harmonização da formação e qualificação dos profissionais deste sector a nível europeu. A conferência reuniu 50 especialistas, de 19 países (EUExCert, 2011).

### **3.2 Formação Profissional fora de Portugal**

A formação profissional tem sido uma prioridade em muitos países para proporcionar uma melhor qualificação dos profissionais deste setor, possibilitando assim um maior reconhecimento da atividade e uma maior competitividade de mercado. A nível da Europa, a Diretiva 2007/23/CE

veio obrigar à criação de vários cursos para a formação dos profissionais dedicados à realização de fogo-de-artifício ao ar livre ao emprego de artigos de pirotecnia em teatros.

### 3.2.1 Espanha

Em Espanha, a formação dada aos profissionais do setor é feita em função do posto de trabalho e das competências exigidas. A formação está organizada em duas áreas:

- Sistema de Gestão da Qualidade:
  - Política da Qualidade, segundo o Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA);
  - Conhecimento da documentação do sistema de gestão de acordo com a norma UNE-EN ISO 9001.
  
- Segurança e prevenção de riscos de trabalho (em conformidade com o artigo 19 da Lei 31/1995, 8 de Novembro de Prevenção de Riscos de Trabalho), em que são abordados temas como:
  - Regulamento de regime interno;
  - Política de prevenção;
  - Circular informativa;
  - Riscos gerais da indústria pirotécnica;
  - Riscos específicos do local de trabalho;
  - Plano de emergência.

Para a montagem e disparo de espetáculos pirotécnicos é necessário ter experiência e formação para obter o cartão de especialista (instrução técnica complementar nº 8.01 do Real Decreto 563/2010 de 7 de Maio BOE 8/5/2010, páginas 40949 a 40964) (BOE, 2010).

Para responder aos conhecimentos exigidos pelo Real Decreto 563/2010 de 7 de Maio são disponibilizados cursos sobre o Regulamento de fogos-de-artifício e cartuchos, com o seguinte conteúdo programático (Academia Pinto, 2012):

#### Título I: Planificação preliminar

Capítulo I: Disposições gerais

Capítulo II: Categorização

Capítulo III: Catalogação

Capítulo IV: CE de artigos de pirotecnia

Título II: Oficinas

Capítulo I: Disposições gerais

Capítulo II: Oficinas pirotecnia

Capítulo III: Oficinas carregamento fábrica cartucho

Título III: Depósitos

Capítulo I: Disposições gerais

Capítulo II: Os depósitos de produtos acabados

Capítulo III: Depósitos associados oficinas auxiliares de pirotecnia e cartuchos

Capítulo IV: Depósitos especiais

Título IV: Embalagens

Capítulo I: Regras gerais

Capítulo II: Rotulagem

Título V: Vendas e disponibilidade

Capítulo I: Requisitos gerais de fogos-de-artifício

Capítulo II: Vendas e disponibilização ao público de artigos de pirotecnia e cartuchos.

Capítulo III: Pontos de venda e prestação pública de artigos de pirotecnia.

Capítulo IV: Venda e disponibilizados para a fábrica de cartucho público

Título VI: Controle de mercado

Capítulo I: Disposições gerais

Capítulo II: Pirotecnia

Capítulo III: Cartuchos

Título VII: O uso de fogos-de-artifício

Título VIII: Importação, exportação, trânsito e transferência

Capítulo I: Regras gerais

Capítulo II: Importação

Capítulo III: Exportação

Capítulo IV: Comércio

Capítulo V: Transferência

**Título IX: Transporte**

Capítulo I: Requisitos gerais

Capítulo II: Guia de circulação de cartuchos metálicos

Capítulo III: Os transportes rodoviários

Capítulo IV: Transporte ferroviário

Capítulo V: Transporte marítimo, fluvial e em reservatórios.

Capítulo VI: O transporte aéreo

**Título X: Penalidades**

Capítulo I: Infrações e sanções

Capítulo II: Procedimento de sanções.

**3.2.2 Estados Unidos da América**

Nos Estados Unidos da América (EUA), tal como em Portugal, não existe formação nem cursos universitários específicos para a formação de profissionais na área da pirotecnia, apenas existe formação teórica e prática ao nível interno das empresas.

Relativamente à formação teórica, todas as empresas seguem as normas para espetáculos pirotécnicos da Associação Nacional de Proteção contra Incêndios, chamada “National Fire Protection Association” (NFPA), sendo as normas NFPA 1123 Code for Fireworks Display e NFPA 1126 Standard for the Use of Pyrotechnics Before a Proximate Audience, as mais utilizadas (NFPA, 2012). Em termos de formação prática esta é feita por um profissional mais experiente que vai ensinando passo a passo todo o processo de funcionamento de um espetáculo pirotécnico, sendo posteriormente emitido um certificado de técnico em pirotecnia de acordo com a licença da empresa onde foi formado.

**3.2.3 Noruega**

Na Noruega existem dois tipos de cursos para os profissionais de pirotecnia e estão diretamente relacionados com as exigências impostas pela Diretiva 2007/23/CE:

- Fogo de Artifício: este curso tem a duração de três dias (24 horas no total), no fim do qual os formandos são submetidos a um exame escrito. Além disso, devem participar em 10 modalidades com fogos-de-artifícios, sendo responsáveis por alguns deles antes do curso ser concluído.

- Fogos de artifícios teatrais: estes cursos abrangem os artigos designados por T1 e T2 (Anexo B) e duram três dias, no fim do qual os formandos devem realizar um exame escrito.

### 3.2.4 Alemanha

Na Alemanha as operações com explosivos e artigos pirotécnicos são regidas pela lei alemã sobre materiais explosivos. As empresas que pretendem realizar operações de detonação ou utilizar material pirotécnico necessitam de uma licença que é emitida pelo Estado e é válida por todo o país.

A qualificação técnica é feita principalmente por instituições privadas. Estas terão de demonstrar a sua capacidade para a realização dos cursos relativamente ao conteúdo, aos intervenientes e à organização. Os conteúdos programáticos estão descritos num currículo legal, apresentando uma quantidade mínima de horas a lecionar atendendo às necessidades.

Todos os conhecimentos básicos e avançados adquiridos terminam com uma prova escrita e oral, havendo em muitos casos um teste prático, realizado pela instituição em cooperação com a autoridade do Estado. Aos estagiários aprovados é-lhes emitido um certificado autenticando as qualificações adquiridas válidas no país.

O Quadro 3.4 mostra os conteúdos programáticos dos cursos básicos e avançado.

Quadro 3.4 – Cursos para a formação de técnicos com responsabilidades na montagem e disparo de espetáculos de pirotecnia de exterior.

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Cursos de conhecimento básico para:</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de fogo-de-artifício (utilização de artigos pirotécnicos ao ar livre);</li> <li>- Tratamento de artigos de pirotecnia para efeitos técnicos (por exemplo para o uso em veículos (<i>airbag</i>, pré tensores do cinto de segurança), sistemas de extinção de incêndios, aeronaves, objetos de voo espaciais);</li> <li>- Utilização de artigos pirotécnicos em palcos e cenários semelhantes (pirotecnia de interior);</li> <li>- Produção de pirotecnia.</li> </ul> |
| <p><b>Cursos de conhecimento avançado para:</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de substâncias explosivas usadas para produções cinematográficas e televisivas (curso de SFX).</li> </ul>  |

Para os profissionais especializados no disparo de fogo-de-artifício são disponibilizados cursos com uma duração mínima de 5 dias, repartidas por 6 aulas de 45 minutos cada. O conteúdo programático do curso é constituído por:

- Conhecimentos avançados sobre a realização de espetáculos ao ar livre;
- Conhecimentos avançados em:
  - Cargas pirotécnicas e pólvora;
  - Artigos de pirotecnia;
  - Objetos de ignição.
- Métodos de ignição:
  - Ignição elétrica;
  - Ignição manual.
- Base jurídica:
  - Lei alemã sobre materiais explosivos;
  - Lei de segurança industrial;
  - Regulamento sobre produtos explosivos;
  - Lei federativa de controlo de emissões;
  - Lei sobre as armas – munição pirotécnica;
  - Lei criminal e contraordenações.
- Composição estrutura e finalidade de cargas pirotécnicas, artigos pirotécnicos, materiais de ignição, munições e auxiliares pirotécnicos:
- Definições e aspetos gerais;
- Artigos de pirotecnia e munições pirotécnicas:
  - Estrutura;
  - Função e perigos.
- Material de ignição:
  - Estrutura e função;
  - Materiais pirotécnicos de ignição;
  - Ignição elétrica;
  - Perigos e características específicas;
  - Aplicação de materiais de ignição.
- Materiais e sistemas de disparo;
- Conformidade do material de queima (vantagens e desvantagens);
- Aplicação de material de queima;
- Aplicação dos artigos pirotécnicos, encargos de pirotecnia e munições pirotécnicas:
  - Carregamento;
  - Conexão;

- Disponibilização do local de queima;
- Organização.
- Projeção de fogo-de-artifício:
  - Planeamento e organização;
  - Estrutura, organização, planificação do tempo do ciclo de ignição e instrução.
- Local de queima (local para iniciar o fogo de artifício):
  - Locais especiais de queima;
  - Barcos;
  - Telhados;
  - Pontes.
- Definição de distâncias de segurança, incluindo:
  - Vento;
  - Rotação;
  - Instalação;
  - Teto;
  - Diâmetro bomba (calibre) e diâmetro e comprimento para disparar morteiros.
- Aspectos de segurança:
  - Avaliação do perigo;
  - Limitar áreas de fogo-de-artifício;
  - Medidas de proteção individuais;
  - Prevenção contra incêndios.
- Influência das condições atmosféricas;
- Procedimentos após disparo do fogo-de-artifício:
  - Pesquisa de insucessos (falha de ignição);
  - Medidas em caso de falha de ignição e eliminação de fracassos.
- Exercícios práticos:
  - Estrutura de um fogo-de-artifício;
  - Construção de sistemas de inflamação;
  - Utilização de artigos pirotécnicos para uma queima de fogos.

Na Alemanha existem atualmente oito instituições de formação que oferecem estes cursos. É também de realçar que a licença pessoal obtida pela formação é válida por 5 anos, sendo necessário frequentar um curso de atualização de conhecimento para manter a sua validade.

### 3.2.5 França

Em França não existe formação específica para o setor da pirotecnia, a formação é feita através de um curto estágio interno na empresa. Após o estágio são então emitidos dois certificados de qualificação, de nível C3 e C4, sendo o certificado C4 validado pela Prefeitura (Pyrotechnie.org, 2012). O candidato deverá participar em dois espetáculos pirotécnicos dirigidos por um profissional mais experiente, devendo as sessões de formação terem uma duração mínima de cinco dias.

O conteúdo programático deve cobrir os seguintes temas:

- Conhecimento de fogo-de-artifício, produtos e acessórios;
- Condições implementadas;
- Regulamentação legal de segurança;
- Apresentação de montagem;
- Preparação e organização do terreno;
- Proteção em caso de chuva;
- Disparo em condições reais de espetáculo.

O certificado deve ser atualizado regularmente junto das câmaras.

A École Nationale Supérieure de Techniques Avancées de Bretagne (ENSTA-Bretagne) dispõe de um mestrado na área de propulsão pirotécnica com uma duração de dois semestres: o primeiro de formação aplicada, onde são abordados temas sobre os princípios fundamentais de pirotecnia e da propulsão (parte teórica), domínio de conhecimento e por fim aplicações (integração em diversos sistemas mecânicos) (ENSTA Bretagne, 2012). A Figura 3.1 mostra a repartição de horas por áreas.

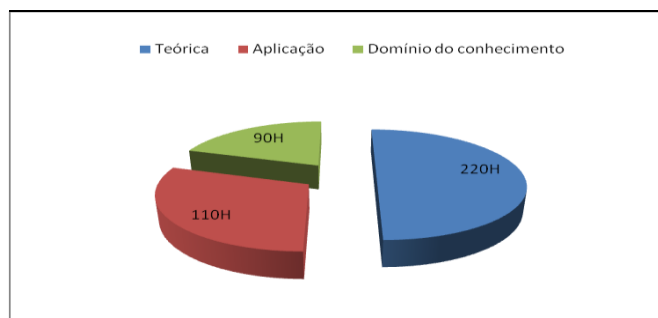


Figura 3.1 – Número de horas atribuídos a cada módulo.



O segundo semestre do mestrado consiste num projeto de conclusão de curso em meio profissional ou universitário, podendo ser em França ou noutro país. O mestrado está dividido em 5 módulos de aproximadamente 60 h cada (Quadro 3.6).

Quadro 3.5 – Módulos do mestrado em propulsão pirotécnica (adaptado de ENSTA Bretagne, 2012).

|                                   | <b>Disciplinas</b>                       | <b>Carga horária</b> |
|-----------------------------------|--|----------------------|
| Segurança e sistemas pirotécnicos | Derivados nitrados                       | 7,5h                 |
|                                   | Propulsores                              | 5h                   |
|                                   | Balística interna                        | 10h                  |
|                                   | Munições aeroterrestres                  | 5h                   |
|                                   | Conceito <i>Murat</i>                    | 2,5h                 |
|                                   | Iniciadores                              | 3,75h                |
|                                   | Composições de pirotecnia                | 7,5h                 |
|                                   | Normas de segurança em pirotecnia        | 15h                  |
| Propulsão                         | Lançadores e cadeias pirotécnicas        | 7,5h                 |
|                                   | Misseis                                  | 7,5h                 |
|                                   | Propulsores                              | 7,5h                 |
|                                   | Autopropulsão                            | 15h                  |
|                                   | Pré-dimensionamento de propulsores       | 15h                  |
|                                   | Segurança de dispositivos de alimentação | 3,75h                |
| Dinâmicas explícitas              | Cálculos dinâmicos explícitos            | 23,75h               |
|                                   | Leis de comportamento                    | 6,25h                |
|                                   | Explosões submarinas                     | 11,25h               |
|                                   | Terminal balística                       | 11,25h               |
| Choque e detonação                | Detonação na fase gasosa                 | 15h                  |
|                                   | Ondas de choque em fase condensada       | 20h                  |
|                                   | Formulação de explosivos                 | 6,25h                |
|                                   | Detonação em fase condensada             | 10h                  |
|                                   | Estruturas resistentes                   | 5h                   |
| Combustão                         | Teoria da combustão                      | 33,75h               |
|                                   | Combustão heterogénea                    | 15h                  |
|                                   | Termoquímica                             | 7,5h                 |

### 3.2.6 Suíça

Na Suíça, a Federação dos Bombeiros Sapadores, em colaboração com a Associação Suíça de Profissionais do setor da Pirotecnia (ASDAP) e o instituto suíço para a coordenação, dispõe de

um curso para profissionais ligados à venda de material pirotécnico, com o objetivo de evitar a ocorrência de acidentes por parte de quem compra este tipo de material. O curso está organizado em dois módulos, um de componente teórica e outro de componente prática (Quadro 3.6).

Quadro 3.6 – Componente teórica e prática do curso (adaptado de ASDAP e SKF, 2011).

| <b>Componente Teórica</b>  |  |
|----------------------------|--|
| Conhecimento da legislação | Lei de ordem federal<br>Regulamentos cantonais<br>Requisitos especiais<br>Classificação de artigos de pirotecnia                     |
| Pirotecnia                 | História<br>Tecnologia, pólvora e composições pirotécnicas<br>Procedimentos de fabrico de fogo-de-artifício<br>Acessórios de disparo |
| Segurança                  | Condições de implementação de um fogo-de-artifício<br>Distâncias de segurança  |
| Perigo                     | Risco de acidente<br>Incidentes de disparo e falhas  |
| <b>Componente Prática</b>  |  |
| Produtos                   | Manipulação dos produtos de mercado (bombas, foguetes, baterias)   |
|                            | Fogo de engrenagem e acessórios pirotécnicos   |

### 3.2.7 Reino Unido

A Associação Britânica de Pirotécnicos (BPA) é o órgão que representa a maioria das empresas de pirotecnia no Reino Unido. Esta associação está empenhada em manter altos padrões entre os seus membros, cujas atividades incluem a fabricação, importação, venda, transporte, treino e disparo de fogo-de-artifício.

A BPA criou um programa de treino que atualmente conta com mais de 1700 membros registados. Este programa está desenvolvido e adaptado à legislação, sendo baseado num conhecimento sólido dos riscos e cobre os seguintes pontos:

- Tipos de fogo-de-artifício;
- Efeitos de fogo-de-artifício;
- Transporte de fogo-de-artifício;
- Técnicas de armamento;

- Projeto do local;
- Métodos de disparo;
- Considerações de precipitação;
- Eliminação.

Além da frequência dos cursos cada candidato é obrigado a manter um livro de registo, onde descreve todos os trabalhos realizados, de forma a ser possível verificar a experiência prática obtida, complementando assim a formação teórica. O curso está disponível em dois níveis:

- Nível 1: para os assistentes de operadores com pouca experiência em locais de exibição;
- Nível 2: para os operadores seniores que já passaram o nível 1, apresentando deste modo mais experiência.

### **3.2.8 Austrália**

Na Austrália a necessidade de formação dos profissionais da atividade pirotecnia surgiu com a ocorrência de um grave acidente, durante um espetáculo de fogo-de-artifício, que resultou numa vítima mortal e vários feridos graves. Este incidente levou a implementação de novos requisitos de licenciamento de espetáculos, que passou a exigir a frequência de um curso de gestão de segurança na montagem e disparo de fogo-de-artifício (DMP-EF, 2012).

O certificado em Gestão de Segurança em Fogos-de-artifício é composto por 9 unidades curriculares. Os participantes que completarem satisfatoriamente todas as unidades receberão um certificado a fim de completarem o curso. A declaração de realização é posteriormente emitida após serem demonstradas as competências em unidades individuais. O total de horas nominais do curso é de 325 horas. O Quadro 3.8 mostra o programa e carga horária do curso.

Segundo o Queensland Explosives Act 1999, os profissionais que procuram uma licença de operador de fogo-de-artifício só precisam completar com sucesso as unidades FSH01A, FSH02A e BSZ404A (120 horas nominais). Relativamente aos que procuram uma licença como contratantes de fogo-de-artifício, estes devem ter exercido a profissão de operador de fogo-de-artifício durante 3 anos, assegurando o número mínimo de exibições anualmente e concluir com êxito a unidade 03A FSH (40 horas) –(QLD - NRM 2003).

Quadro 3.7 – Componentes teórico-práticas do curso de Gestão de Segurança em Fogos-de-artifício.

| Certificado nível 4 – Gestão segura na prática de fogos-de-artifício |  |             |                |
|--|--|-------------|----------------|
| Código da Disciplina   | Título da Disciplina   | Nº de Horas | Pré-requisitos |
| CUEDES1A   | Desenvolvimento de projeto   | 60          |                |
| CUEDES2A   | Apresentação e negociação de projeto   | 25          |                |
| CUEDES3A   | Administração da realização de projeto   | 20          |                |
| CUSADM09A  | Exigências legais e administrativas – Noções   | 20          |                |
| THTPPD08B  | Planear e desenvolver propostas de eventos e ofertas   | 40          |                |
| BSZ404A  | Treino de pequenos grupos  | 30          |                |
| FSH01A   | Identificação e gestão dos requisitos a nível da saúde em exposições exteriores de fogo-de-artifício | 20          |                |
| FSH02A   | Operar uma exposição exterior de fogo-de-artifício   | 70          | FSH01A         |
| FSH03A   | Planear uma exposição exterior de fogo-de-artifício  | 40          | FSH02A         |
|  |  | 325         |                |

### 3.2.9 Canadá

No Canadá existem três tipos de certificados para profissionais do setor da pirotecnia (Fireworks – NRC 2012):

- Para o consumidor (classe 7.2.1), orientado para o público em geral, para o uso de artigos pirotécnicos de baixa perigosidade;
- Para profissionais de fogo-de-artifício (classe 7.2.2), orientado para habilitar a operar com artigos pirotécnicos de alta perigosidade;
- Para profissionais dedicados a produzir efeitos especiais (classe 7.2.5).

Relativamente ao segundo curso, os profissionais precisam ter participado em pelo menos três espetáculos pirotécnicos ao longo dos cinco anos posteriores à data de início do curso. Quanto ao certificado para pirotécnico de efeitos especiais (pirotécnico sénior), o candidato deve ter exercido a profissão durante pelo menos dois anos, e enviar um currículo e uma carta de recomendação do seu supervisor, que garante que este pode usar com segurança todos os artigos de fogo-de-artifício.

### 3.3 Proposta de modelo de formação para o setor pirotécnico em Portugal

Com a transposição da Diretiva 2007/23/CE, pelo DL n° 34/2010 de 15 de Abril, os fabricantes, importadores e distribuidores em Portugal só podem vender ou disponibilizar:

- a) Fogos-de -artifício da categoria 4 (fogos-de-artifício que apresentam um risco elevado);
  - b) Artigos de pirotecnia da categoria P2 e artigos de pirotecnia para teatro da categoria T2,
- a pessoas com conhecimentos especializados. Esta exigência de segurança está centrada na proteção da saúde humana e defesa dos consumidores, mas é igualmente necessário que todos os intervenientes no processo de fabrico, armazenagem, design, transporte e emprego dos mais diversos artigos obtenham um certificado que os habilite a desempenhar as operações em segurança sem colocar em perigo o meio ambiente.

Os manuais sobre pirotecnia e fogos-de-artifício (Anexo C), de um modo geral, não abordam as questões relativas à segurança no emprego de artigos pirotécnicos, procuram antes transmitir conhecimentos sobre os mecanismos que governam as reações químicas e os seus efeitos relacionando-os com as características das matérias-primas. Alguns livros descrevem as características das matérias-primas e outros fazem-no relativamente aos artigos pirotécnicos mais comuns.

Em Portugal o setor da pirotecnia ao nível dos fabricantes, importadores e distribuidores está vocacionado para a pirotecnia civil e na generalidade para a produção e emprego de fogos-de-artifício. Assim, a criação de um modelo de curso básico, comum a todos os profissionais da pirotecnia, permitirá responder às necessidades de formação da maioria dos profissionais, justificando-se um curso avançado, com uma ou mais especializações, para os profissionais que queiram explorar áreas de mercado menos tradicionais em Portugal, como são o emprego no cinema, teatro e nos dispositivos de segurança de aeronaves, veículos e barcos.

#### **Curso básico**

A *Componente teórica* do curso inclui:

- **Base jurídica:**
  - Regulamentos sobre produtos explosivos;
  - Regulamentos sobre licenciamento e segurança industrial;
  - Regulamentação de controlo de emissões;
  - Regulamentação sobre gestão de resíduos;

- Regulamentação sobre segurança, higiene e saúde no trabalho;
- Código penal Português.
- **Higiene e Segurança:**
  - Avaliação e prevenção de riscos;
  - Regras básicas de segurança;
  - Medidas de proteção individuais;
  - Prevenção contra incêndios;
  - Primeiros socorros e procedimentos de emergência.
- **Conceitos básicos:**
  - Princípios químicos;
  - Ignição e propagação da reação química;
  - Matérias-primas comuns em composições pirotécnicas
  - Composições pirotécnicas a evitar;
  - Artigos pirotécnicos *versus* altos explosivos.
- **Transporte**
  - Classificação dos artigos pirotécnicos;
  - Classes de transporte de mercadorias perigosas;
  - Rotulagem;
  - Compatibilidade de artigos pirotécnicos;
  - Requisitos dos veículos de transporte e formação dos condutores;
  - Situações especiais e procedimentos de emergência.
- **Fabrico e armazenagem**
  - Pessoal autorizado nos locais;
  - Dispositivos de armazenagem e licenças;
  - Compatibilidade de matérias-primas e artigos pirotécnicos em termos de armazenagem;
  - Inspeção das matérias-primas e dos equipamentos e ferramentas;
  - Procedimentos de segurança no fabrico;
  - Processos de secagem e de mistura;
  - Procedimentos de segurança na montagem;
  - Equipamentos de medida e controlo;
  - Limpeza e tratamento e eliminação de resíduos.

- **Montagem e disparo de fogos-de-artifício**
  - Perímetro de segurança e pessoal autorizado;
  - Disposição e inspeção dos artigos pirotécnicos e acessórios de disparo;
  - Instruções do fabricante;
  - Procedimentos de segurança na montagem e disparo;
  - Relatório de falhas;
  - Procedimentos de segurança no desmantelamento e limpeza;
  - Notificação de acidentes ou incidentes.

A *Componente prática* do curso inclui:

- Manipulação de matérias-primas comuns no fabrico de fogos-de-artifício;
- Preparação das matérias-primas e fabrico de algumas composições pirotécnicas;
- Preparação e montagem do sistema de ignição num artigo pirotécnico;
- Disparo de artigo pirotécnico.

### **Cursos avançados**

#### Especialização em fogos-de-artifício ao ar livre

- Famílias de artigos pirotécnicos;
- Habilitação do pessoal e licenças;
- Técnicas de fixação e montagem;
- Métodos de ignição e sincronização;
- Disposição dos artigos no local de disparo;
- Influência das condições atmosféricas;
- Distâncias de segurança;
- Diagnóstico de falhas;
- Desmantelamento e limpeza.

#### Especialização em efeitos pirotécnicos em teatro

- Artigos pirotécnicos de interior;
- Habilitação de pessoal e licenças;
- Métodos de ignição e sincronização;
- Perigos e características específicas do local;
- Planeamento e organização;
- Risco de incêndio;

- Distâncias de segurança;
- Sistemas de desenfumagem;
- Desmantelamento e limpeza.

*Componente Prática dos cursos avançados*

- Manipulação de artigos pirotécnicos (bombas, foguetes, balonas, baterias);
- Estrutura de um fogo-de-artifício;
- Montagem de sistemas de inflamação;
- Preparação e verificação da cadeia de disparo.



## 4 CONCEITOS BÁSICOS EM PIROTECNIA

### 4.1 Introdução

Para o fabrico de artigos pirotécnicos é necessário compreender os processos que regem as diversas operações de fabrico, bem como os mecanismos que controlam a decomposição das diferentes composições. Não basta saber quais os efeitos sonoros e/ou visuais da mistura de várias substâncias, é fundamental perceber quais os fenómenos físico-químicos necessários para gerar esses efeitos. Por exemplo, quando se aproxima um fósforo aceso de uma mistura de salitre, enxofre e carvão esta irá explodir, é necessário perceber o porquê desse fenómeno (John, 1985).

A decomposição de uma composição pirotécnica pode ocorrer por: oxidação lenta, combustão, deflagração ou detonação. A oxidação lenta é um processo geralmente produzido por fungos e bactérias auxiliados pela humidade e pelo calor, que decorre sem criar aumento de temperatura, como é o caso da oxidação do ferro (ferrugem) ou com o papel, quando fica amarelecido. Por sua vez a combustão é um processo muito mais rápido, com velocidade de propagação inferior a 1 metro por segundo (m/s). São exemplo de combustão, a combustão de madeira ou do papel, onde a energia gerada pela reação é dissipada, indo parte para o ambiente e outra para manter a reação em cadeia, ativando a mistura combustível-comburente. A deflagração corresponde a uma reação em que a velocidade de propagação é superior a 1 m/s, mas inferior a 500 m/s. O fenómeno surge associado a uma elevação da pressão para valores compreendidos entre 1 e 10 vezes a pressão inicial. A deflagração está associada a uma forte libertação de calor. A deflagração da pólvora, de misturas de vapores de líquidos inflamáveis ou de pós combustíveis são alguns casos de deflagração. A detonação corresponde a uma reação que se propaga em regime supersónico e está associado à geração de ondas de choque que podem atingir até 100 vezes ou mais a pressão inicial. Ocorre com explosivos industriais, e em circunstâncias especiais, com mistura de gases e vapores em espaços confinados. É frequente ouvir-se falar de explosão para descrever uma reação violenta. O termo pode ser aplicado genericamente aos fenómenos que geram elevada pressão e produzem efeitos destrutivos. É frequente ouvir-se falar em explosão nuclear, explosão de gás, explosão de poeiras (John, 1985).

As reações químicas só ocorrem sob certas condições. Por exemplo, quando se misturam num recipiente uma parte de oxigénio e duas de hidrogénio gasoso à temperatura normal nada acontece, contudo se se produzir uma faísca nessa mistura, ocorre uma explosão e forma-se água. Este princípio aplica-se a praticamente todas as misturas pirotécnicas (John, 1985).

O manuseamento de substâncias pirotécnicas não é uma operação totalmente segura, apesar de muitos profissionais nunca terem sofrido um único acidente. É impossível prever todos os casos de descuido ou fatores que podem conduzir ao acidente.

São necessários locais específicos para a realização de misturas sensíveis. Os utensílios utilizados na produção destas misturas não devem ser utilizados para a fabricação de outras. Uma suave fricção pode iniciar a queima de misturas que contenham metais finamente divididos (George, 1947).

O método recomendado para a redução de acidentes graves passa por manter a menor quantidade possível de composições nos locais de trabalho. Qualquer chama constitui uma fonte de perigo, para a qual um pirotécnico deve manter uma constante vigilância. Esta é geralmente causada quando ferramentas de aço atingem um conjunto de compostos inflamáveis. As peças de latão e madeira também podem produzir atrito capaz de provocar uma ignição (George, 1947).

## **4.2 Termoquímica da combustão**

### **4.2.1 Combustão espontânea**

O clorato de potássio é uma das substâncias usadas em pirotécnicas mais associada a acidentes por explosão espontânea. Tal deve-se ao facto do seu componente ácido ser instável e facilmente decomposto. Por conseguinte, um ligeiro aumento de temperatura é suficiente para provocar uma explosão. A tendência de clorato de potássio para explodir é muito forte na presença de enxofre, sulfuretos e sulfatos. Por esta razão, composições contendo cloratos e sulfatos devem ser evitadas (John, 1985).

Os metais finamente divididos reagem facilmente com o oxigénio, sendo por vezes essa reação bastante violenta como caso do alumínio e zinco. O alumínio e o cloreto de potássio podem ser submetidos a fricções violentas, ou até explodir sem razão aparente, causando acidentes. Uma faísca elétrica provocada durante a peneiração pode ser suficiente para provocar uma explosão.

Para misturas de nitrato de bário, salitre, enxofre e alumínio não há relatos de acidentes. Os nitratos de bário e estrôncio, assim como os percloratos de alumínio e potássio são misturas seguras, mesmo quando combinadas com enxofre e borracha. Contudo, quando os nitratos de bário e estrôncio são misturados com clorato de potássio e goma-laca ou outras gomas formam misturas sensíveis, e que agravadas se se adicionar carvão em pó; por isso deve ser evitada qualquer fricção com estas misturas. A mistura pó de alumínio, clorato de potássio, nitrato de bário e goma laca ou outras fontes de carbono está classificada como perigosa. Os cloratos nunca devem ser misturados com sais de amônio, pois esta combinação resulta frequentemente em combustão espontânea (John, 1985).

O permanganato de potássio e as misturas de bicromato devem ser manuseados com muito cuidado, especialmente quando misturadas com metais em pó. Já misturas de ácido pícrico e cloratos só por si são muito sensíveis. As composições que contêm clorato de potássio e fósforo nunca devem ser misturadas a não ser debaixo de água. O fósforo amarelo não deve ser removido da água durante muito tempo e deve ser manuseado de modo a evitar a fricção ou proximidade de materiais combustíveis (*eg.* madeira, papel) (John, 1985).

No que diz respeito ao fósforo vermelho, aqueles que o utilizam nunca devem entrar em oficinas onde se fabriquem fogos-de-artifício, pois pequenos grãos desta substância na roupa são suficientes para causar um acidente quando entram em contacto com outras substâncias. Os fulminatos de mercúrio e prata só devem ser manuseados por pessoas familiarizadas com as suas propriedades. Quando se experimentam novas substâncias devem usar-se as menores quantidades possíveis do componente químico até que a segurança total da mistura esteja assegurada. Antes de usar quantidades consideráveis de uma nova composição estas devem ser submetidas a testes exaustivos, tais como a fricção, impacto, calor, humidade e subsequente secagem. É importante saber ou medir a temperatura do ponto de inflamação. Nos testes de cores, o pirotécnico não deve olhar imediatamente para a cor quando esta é produzida, pois esta pode afetar temporariamente o nervo ótico. É aconselhável a visualização da cor a uma distância de cerca de 100 metros para uma correta avaliação (George, 1947).

A espontaneidade da reação é determinada pela variação da energia livre de Gibbs,  $\Delta G$ . A condição para que uma reação possa ser espontânea é de que os produtos da reação tenham uma menor energia livre do que os reagentes, ou seja a variação da energia livre de Gibbs,  $\Delta G$ , seja um valor negativo (John, 1985).

A variação da energia livre de Gibbs de uma reação a temperatura constante pode ser dada por:

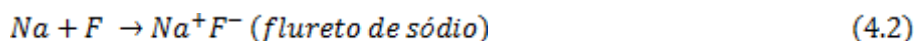
$$\Delta G = G(\text{produtos}) - G(\text{reagentes}) = \Delta H - T\Delta S \quad (4.1)$$

Sendo  $\Delta H$  a variação de entalpia e  $\Delta S$  a variação de entropia. Para que uma reação seja espontânea é desejável que  $\Delta H$  seja negativa, correspondendo à libertação de calor pela reação, i.e. seja um processo exotérmico. Um valor positivo de  $\Delta S$  corresponde ao aumento da desordem do sistema quando a reação ocorre. Como regra geral  $S(\text{sólido}) < S(\text{líquido}) < S(\text{gás})$ , um processo que faça passar os reagentes do estado sólido a gás é favorável do ponto de vista da variação de entropia (John, 1985).

#### 4.2.2 Reatividade química

A reatividade química é determinada pela tendência de cada elemento químico em ganhar ou perder elétrons. Os elétrons movimentam-se em orbitais em torno do núcleo do átomo. As orbitais mais próximas do núcleo apresentam comparativamente níveis de energia superiores às que ficam mais afastadas, daí que o preenchimento por camadas de elétrons se faça da camada mais interior para a mais exterior. A estabilidade do átomo está associada as camadas totalmente ocupadas por elétrons. Entre os elementos com camadas totalmente ocupadas estão o hélio (nº atômico 2), néon (nº atômico 10), o argônio (nº atômico 18), e o criptônio (nº atômico 36). Estes elementos pertencem todos ao grupo dos chamados gases inertes (John, 1985).

Outros elementos têm tendência a trocar elétrons com outros átomos, ganhando ou perdendo elétrons, formando íons negativos ou positivos respetivamente. Por exemplo, o sódio (Na, nº atômico 11) perde um elétron para formar o íon sódio ( $\text{Na}^+$ ), com 10 elétrons. Pela perda de um elétron, o sódio adquire o mesmo número de elétrons que o gás inerte néon, e torna-se uma espécie química muito estável. O flúor (F, nº atômico 9) adquire um elétron adicional tornando-se o íon fluoreto,  $\text{F}^-$ , com 10 elétrons, tornando-se extremamente estável. Outros elementos têm tendências similares para ganhar ou perder elétrons de forma a adquirirem as configurações do gás inerte, tornando-se íons positivos ou negativos. Assim, se uma ligação une um elétron dador (como o átomo de sódio) e um elétron recetor (como átomo de flúor), espera-se que a reação química ocorra. Transferem-se elétrons e produz-se um composto iónico (fluoreto de sódio, NaF).



Uma cadeia sólida tridimensional dos íons sódio e fluor é criada quando cada átomo de sódio fica rodeado por íons fluoreto, e cada ião fluoreto por sua vez fica rodeado por íons de sódio. Outro aspeto importante desta reação é o facto de se libertar energia quando o produto se forma. Esta libertação de energia esta associada à formação do produto e é importante para aplicações pirotécnicas (John, 1985).

Além da formação dos íons por transferência de eletrões, os átomos podem também partilhar eletrões com outros átomos como forma de adquirirem orbitais completas. A partilha de eletrões entre dois átomos é chamada de ligação covalente. Estas ligações aumentam a estabilidade da interação com os eletrões partilhados com ambos os núcleos positivos. Os núcleos estarão separados por uma determinada distância chamada distância de ligação, a qual maximiza as atrações núcleo-eletrão que ocorrem na repulsão núcleo-núcleo. A molécula é uma espécie neutra de dois ou mais átomos que estão unidos por ligações covalentes (John, 1985).

O elemento carbono (C) praticamente só participa em ligações covalentes, com outros átomos de carbono ou com outros elementos (H, O e N). A presença de compostos com carbono em todas as formas vivas faz com que química dos compostos de carbono seja conhecida como a química orgânica. Muitos dos explosivos são compostos orgânicos, como é o caso do TNT, com a fórmula molecular  $C_7H_5N_3O_6$ . Podemos encontrar também compostos orgânicos como combustível em misturas pirotécnicas (John, 1985).

- **Reação de oxidação redução**

A maioria de reações químicas envolve a transferência de um ou mais eletrões de uma espécie para outra. Este processo designa-se por transferência de eletrão ou reação de oxidação-redução, em que as espécies passam por uma perda de eletrões (oxidada), enquanto que as espécies que os adquirem são reduzidas. As reações de misturas pirotécnicas pertencem a este tipo de reação química. A determinação da perda ou ganho eletrões durante a reação química pode ser feita através da determinação dos “nº de oxidação” dos átomos dos reagentes ou produtos que variam (John, 1985).

Observando as diversas alterações do número de oxidação que ocorrem enquanto a reação decorre, pode observar-se que o potássio e o oxigénio são invariáveis passando sem alteração de reagentes para produtos. O magnésio no entanto passa o seu número de oxidação de 0 para +2, o que corresponde a uma perda de 2 eletrões por átomo (há uma perda de eletrões, ou este é oxidado). O perclorato de potássio sofre uma variação do número de oxidação de +7 para -1, ou

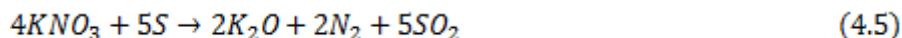
seja há um ganho de 8 elétrons por átomo (este fica reduzido). Numa reação de oxidação em equilíbrio, os elétrons perdidos são os mesmos que os elétrons ganhos; no entanto 4 átomos de magnésio (cada um perdendo 2 elétrons) são necessários para reduzir um átomo de perclorato de potássio de +7 (como o  $\text{ClO}_4^-$ ) para -1 (como o  $\text{Cl}^-$ ). Sendo a equação representada por:



De forma similar, a equação para a reação entre o nitrato de potássio e o enxofre pode ser determinada se soubermos que os produtos são o óxido de potássio, o dióxido de enxofre e azoto:



Mais uma vez, a análise dos números de oxidação relevam que o potássio e o oxigénio não se alteram, com valores de +1 e -1, respetivamente, em ambos os lados da equação. O azoto varia de um valor de +5 no ião nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) para 0 na forma elementar ( $\text{N}_2$ ). Nesta reação o enxofre é oxidado e o azoto é reduzido. Para representar a equação são necessários 4 átomos de azoto, ganhando cada um 5 elétrons, e 5 átomos de enxofre perdendo cada um 4 elétrons. Isto resulta num ganho de 20 elétrons e numa perda de 20 elétrons (está equilibrada). A equação de balanço é a seguinte:



A razão entre a massa do nitrato de potássio e a correspondente de enxofre para a equação (estequiométrica) será  $4 * (101,1) = 404,4$  g (4 moles) de  $\text{KNO}_3$  e  $5 * (32,1) = 160,5$  g (5 moles) de enxofre. Isto equivale a 72 % de  $\text{KNO}_3$  e 28 % de S por unidade de massa. A disponibilidade para fazer o balanço das equações de oxidação-redução pode ser bastante útil em trabalhos quando se pretende determinar a relação de massas ótima (John, 1985).

- **Eletroquímica**

Os elementos químicos são apresentados na ordem decrescente de tendência de ganho de elétrons e são descritos como meias reações na direção de redução:



Todas as outras espécies são medidas em relação a esta reação, espécies menos redutíveis que apresentam valores negativos. Espécies com potências negativas devem ser melhor dadores de elétrons, e uma combinação de um bom dador de elétrons com um bom recetor de elétrons deve

produzir uma pilha de elevada voltagem. Tal combinação constitui um potencial apropriado para formar uma composição pirotécnica (John, 1985).

- **Calor de reação**

O calor de reação ( $\Delta H$ ) representa o calor associado à formação de um composto químico a partir dos seus elementos constituintes. Por exemplo, para a reação



$\Delta H = -400,5$  kcal/mol de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Significa que a reação de 2 moles de Al com  $\text{O}_2$  para formar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  liberta 400,5 kcal. Para a reação contrária i.e. transformar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em Al e  $\text{O}_2$  seria necessário fornecer ao sistema igual 400,5 kcal.

O calor da reação pode ser expresso pela equação:

$$\Delta H = \sum \Delta H_f(\text{produtos}) - \sum \Delta H_f(\text{reagentes}) \quad (4.8)$$

Representando  $\sum \Delta H_f$  o somatório das entalpias de formação dos diferentes compostos, quer sejam reagentes ou produtos. O quadro 4.1 mostra o calor de reação de alguns reagentes usados em pirotécnica (John, 1985).

Quadro 4.1 – Calor de reação de composições pirotécnicas (adaptado de John, 1985).

| Reagentes (% mássica)          |    | $\Delta H$ (kcal/g) |
|--------------------------------|----|---------------------|
| KClO <sub>4</sub>              | 60 | 2,24                |
| Mg                             | 40 |                     |
| NaNO <sub>3</sub>              | 60 | 2,00                |
| Al                             | 40 |                     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 75 | 0,96                |
| Al                             | 25 |                     |
| KNO <sub>3</sub>               | 75 | 0,66                |
| C                              | 15 |                     |
| S                              | 10 |                     |
| KClO <sub>3</sub>              | 57 | 0,61                |
| SrCO <sub>3</sub>              | 25 |                     |
| Goma laca                      | 18 |                     |
| KClO <sub>3</sub>              | 35 | 0,38                |
| Lactose                        | 25 |                     |
| Corante vermelho               | 40 |                     |

- **Velocidade da reação química**

Embora espontaneidade de uma reação química, dada pela variação da energia livre de Gibbs dê indicação da aptidão para a reação, é importante saber a velocidade com que esta ocorre. Por exemplo, a reação da madeira com o oxigênio tem um valor de  $\Delta G$  muito negativo e por isso apresenta uma elevada espontaneidade, mas os reagentes são relativamente estáveis quando misturados à temperatura ambiente.



A explicação assenta noutro conceito energético conhecido como energia de ativação,  $E_a$ . Este termo representa a quantidade de energia mínima necessária para iniciar a reação à temperatura de 25 °C, ou seja elevar os reagentes a um alto estado de excitação, que permita iniciar a reação. A figura 4.1 ilustra esse processo (John, 1985).

A formação dos produtos a partir dos reagentes é um processo gradual em que as ligações dos reagentes são quebradas em paralelo com a formação das ligações dos produtos.

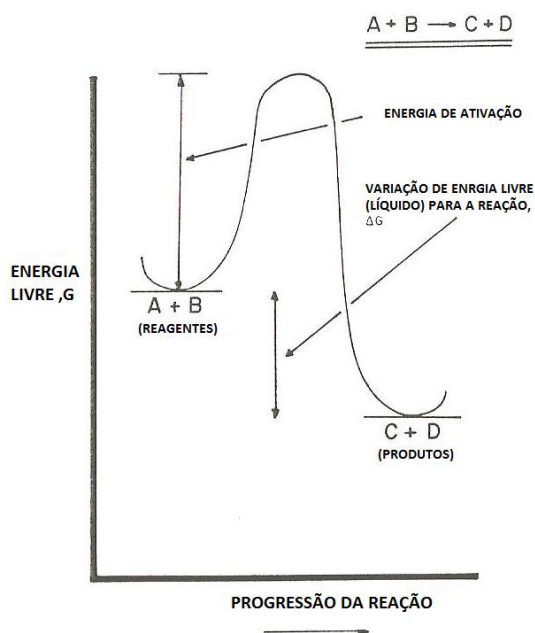


Figura 4.1 - Representação da energia de ativação e variação da energia livre de Gibbs (adaptado de John, 1985).



A velocidade da reação química é determinada pelo valor da energia mínima de ativação e sua relação com a temperatura. A equação que descreve a relação entre a velocidade da reação e a taxa entre a energia mínima de ativação e a temperatura, ( $E_a/RT$ ), é conhecida como a equação de Arrhenius:

$$K = Ae^{-E_a/RT} \quad (4.10)$$

$K$  – Taxa de reação a uma temperatura  $T$ ;

$A$  – Constante independente da temperatura para uma determinada reação, designada como fator pré-exponencial;

$E_a$  – Energia mínima de ativação da reação;

$R$  – Constante universal dos gases perfeitos;

$T$  – Temperatura (em Kelvin).

Aplicando o logaritmo neperiano à equação 4.10 obtém-se:

$$\ln k = \ln A - E_a/RT \quad (4.11)$$

Se a taxa de reação for medida para diferentes temperaturas e se se representar o valor de  $\ln k$  em função de  $1/T$  obtém-se um reta de declive  $-E_a/R$ , permitindo assim calcular o valor da  $E_a$ .

A temperatura provoca o aumento da velocidade da reação de uma forma exponencial (Figura 4.2).

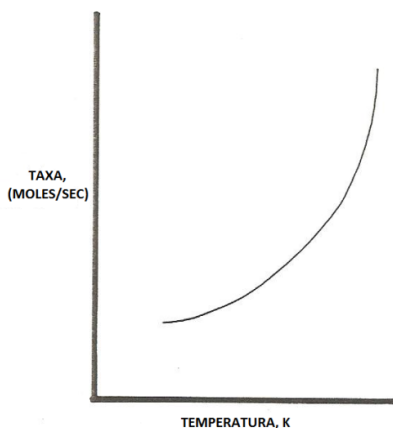


Figura 4.2 - O efeito da temperatura sobre a taxa de reação (adaptado de John, 1985).

Em pirotecnia, o segredo para maximizar a velocidade de reação para uma determinada composição pirotécnica pode ser resumido numa única palavra – homogeneidade. O aumento do grau de intimidade de uma mistura de elevada energia deve conduzir a um aumento da reatividade. Em geral, a reatividade refere-se à velocidade de decomposição – em gramas ou moles por segundo. Se não transferir calor suficiente para a mistura pirotécnica, a combustão não se propaga e o dispositivo não irá reagir na sua totalidade (John, 1985).

### **4.3 Ignição e propagação**

É necessário que uma composição inflame e arda facilmente, produzindo os efeitos desejados, mas que permaneça relativamente estável durante a fabricação e armazenamento. Para que a combustão ocorra é necessário que uma parte da mistura seja aquecida até à sua temperatura de ignição, definida como a temperatura mínima necessária para começar a propagação da própria reação. Após a ignição, a reação continua o seu caminho, na ausência de qualquer incremento adicional de energia (John, 1985).

A aplicação do estímulo de ignição (como uma faísca ou chama) inicia uma complexa sequência de eventos na composição. Os componentes sólidos podem sofrer transições de fase cristalina, fusão, ebulição e decomposição. Podem formar-se fases líquidas e de vapor, e pode eventualmente ocorrer uma reação química na superfície quando a energia é aplicada inferior ou igual à energia de ativação (John, 1985).

Numa reação química normal, todo o sistema está à mesma temperatura e as moléculas reagem aleatoriamente no interior do recipiente. Segundo Tammann a difusão das espécies dentro da rede cristalina é de extrema importância para a reatividade da mistura, atribuindo à relação entre a temperatura do sólido e o ponto de fusão do sólido, definida por  $\alpha$  um fator preponderante. Para Tammann a difusão de espécies dentro da rede cristalina poderá ser significativa para um valor  $\alpha=0,5$ . Nesta condição, um sólido tem aproximadamente 70 % dos graus de liberdade presentes no ponto de fusão e a difusão dentro da rede cristalina torna-se possível. Assim, a temperatura a que a difusão se torna possível é também a temperatura a que a reação química entre o oxidante e combustível reativo se torna possível. Do ponto de vista da segurança este é um ponto importante – significa que uma reação pode existir a temperaturas surpreendentemente baixas, nomeadamente quando o enxofre (temperatura de fusão igual a 119 °C) e combustíveis orgânicos estão presentes (John, 1985).

Existem vários exemplos em que este princípio é evidente. Na mistura nitrato de potássio/enxofre forma-se líquido quando se atinge a temperatura de fusão do enxofre – 119 °C. Apesar de alguns anéis do enxofre se terem fragmentado a reação com o nitrato de potássio não ocorre com taxa suficiente para produzir a ignição antes de se atingir a temperatura de fusão do nitrato de potássio - 334 °C. A mistura íntima dá-se quando as duas espécies se encontram no estado líquido e a ignição ocorre a uma temperatura ligeiramente acima da temperatura de fusão. Muito embora alguma reação entre as duas espécies possa ocorrer abaixo da temperatura de fusão do nitrato de potássio a baixa geração de calor atribuída à oxidação do enxofre combinada com a decomposição endotérmica do nitrato de potássio não permite que haja ignição enquanto as duas espécies não estiverem ambas no estado líquido. Contudo na mistura clorato de potássio/enxofre, observa-se um resultado diferente. O enxofre funde a 119 °C e começa a fragmentar acima dos 140 °C, mas por volta dos 200 °C ocorre uma reação altamente exotérmica correspondente à ignição da composição. O clorato de potássio tem um ponto de fusão de 356 °C, e a sua combustão ocorre muito abaixo do ponto de fusão do oxidante (John, 1985).

O quadro 4.2 mostra as temperaturas de Tammann de alguns oxidantes comuns. As baixas temperaturas exibidas para o clorato de potássio e para o nitrato de potássio podem também explicar o elevado número de combustões acidentais misteriosas que aconteceram com composições com estes materiais.

Quadro 4.2 – Temperaturas de Tammann de oxidantes (adaptado de John, 1985).

| Oxidante               | Formula                            | Ponto de fusão °C | Ponto de fusão ° K | Temperatura de Tammann, ° C |
|------------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|
| Nitrato de sódio       | NaNO <sub>3</sub>                  | 307               | 580                | 17                          |
| Nitrato de potássio    | KNO <sub>3</sub>                   | 334               | 607                | 31                          |
| Clorato de potássio    | KClO <sub>3</sub>                  | 356               | 629                | 42                          |
| Nitrato de estrôncio   | Sr (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 570               | 843                | 149                         |
| Nitrato de bário       | Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 592               | 865                | 160                         |
| Perclorato de potássio | KClO <sub>4</sub>                  | 610               | 883                | 168                         |
| Levar cromato          | PbCrO <sub>4</sub>                 | 844               | 1117               | 286                         |
| Óxido de ferro         | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 1565              | 1838               | 646                         |

A facilidade de ignição depende também do tamanho da partícula e da área de superfície dos ingredientes. Este fator é especialmente importante para combustíveis metálicos com pontos de fusão maiores que o oxidante ou comparáveis a este. Alguns metais – incluindo o alumínio, o magnésio, o titânio, e o zircônio – podem ser relativamente perigosos quando presentes em

partículas de pequeno tamanho (na gama dos 1-5  $\mu\text{m}$ ). Partículas finas como estas podem inflamar espontaneamente com o ar, e são relativamente sensíveis a descargas estáticas. Pequenos grãos podem reagir mais depressa do que grãos de maiores dimensões devido à sua elevada área de superfície por grama. Tanto a ignição como a velocidade de combustão podem ser afetadas por variações na temperatura externa; o efeito pode ser mais pronunciado em composições de baixa exotermicidade e pequena temperatura de chama (John, 1985).

Em termos de propagação da reação, os combustíveis metálicos tendem a aumentar a velocidade de combustão. A presença de baixos pontos de fusão, combustíveis voláteis (enxofre por exemplo), tende a retardar a velocidade de combustão. A presença de humidade pode retardar significativamente a velocidade de combustão através da absorção substancial de quantidades de calor de vaporização (John, 1985).

#### **4.4 Produção de cor e luz**

Para a emissão de luz branca é necessário uma mistura que arda a altas temperaturas e crie uma quantidade substancial de átomos excitados ou moléculas no estado de vapor juntamente com o sólido incandescente ou com partículas líquidas. As partículas incandescentes emitem numa vasta gama de comprimentos de onda na região do visível do espectro eletromagnético, sendo perceptível ao observador a luz branca. Os átomos de sódio no estado de vapor, excitados por elevadas temperaturas de chama, são a principal fonte de luz em composições de chama de misturas nitrato de sódio/magnésio/ligantes orgânicos (John, 1985).

Os combustíveis de magnésio ou alumínio estão presentes na maioria das composições de luz branca. Estes metais desenvolvem um calor substancial após a oxidação e o elevado ponto de fusão do óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) e dos produtos de reação do óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) são bons emissores de luz para reações de elevadas temperaturas como as que podem ser encontradas quando se usam estes combustíveis. Os metais titânio e zircónio também são bons combustíveis para composições de luz branca (John, 1985).

O nitrato de bário e nitrato de sódio podem ser usados para produzir luz branca. O nitrato de sódio como é muito higroscópico exige extremo cuidado na armazenagem e preparação das misturas que integra (John, 1985).

Em termos de combustíveis para produção de luz branca o magnésio, alumínio e titânico são os elementos mais usados.

Para as composições de cor importa escolher um oxidante que tenha um comportamento exotérmico, como é o caso do clorato de potássio ( $\text{KClO}_3$ ). Contudo, misturas de sais de clorato e perclorato com combustíveis metálicos são muito inflamáveis para uso em composições comerciais. Por seu lado, os nitratos têm uma decomposição endotérmica e a sua reação gera menos calor, o que coloca menos risco de ignição acidental (George, 1947).

Para produzir pirotecnia de cor é necessário:

- Produzir uma mistura que queime com uma velocidade razoável e gera um intenso calor;
- Adicionar sais de elementos nos quais predominam espectros das cores desejadas.

Os compostos para gerar calor são essencialmente substâncias que libertem um oxigénio quando inflamam na presença de substâncias com carbono (George, 1947).

Fontes de oxigénio livre:

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| - Clorato de potássio    | - Nitrato de bário     |
| - Perclorato de potássio | - Nitrato de estrôncio |
| - Nitrato de potássio    | - Clorato de sódio.    |
| - Nitrato de sódio       |                        |

Fontes de carbono:

- |                  |            |
|------------------|------------|
| - Carvão vegetal | - Vaselina |
| - Goma-laca      | - Dextrina |
| - Asfalto        | - Açúcar   |
| - Resinas        | - Farinha  |

Existem ainda substâncias que, quando adicionadas a composições pirotécnicas de cor aumentam a afinidade dos constituintes, ou geram mais calor, melhorando deste modo a qualidade das cores, *e.g.*: enxofre e ácido pícrico (George, 1947).

O quadro 4.3 mostra algumas das substâncias são geralmente mais usadas para a produção de cores pirotécnicas (George, 1947):

Quadro 4.3 – Substâncias mais utilizadas para a produção de cores pirotécnicas (adaptado de George, 1947).

|                |   |
|----------------|---|
| Vermelho       | Nitrato de estrôncio                            |
|                | Carbonato de estrôncio                          |
|                | Sais de lítio (raramente utilizados)            |
| Cor-de-rosa    | Carbonato de cálcio                             |
|                | Sulfato de cálcio                               |
|                | Oxalato de cálcio                               |
| Verde          | Nitrato de bário                                |
|                | Clorato de bário                                |
|                | Ácido bórico e sais de tálio (raramente usados) |
| Azul           | Carbonato de cobre                              |
|                | Arsenito de cobre                               |
|                | Sulfato de cobre                                |
|                | Sulfureto de cobre                              |
|                | Óxido de cobre negro                            |
|                | Oxalato de cobre                                |
|                | Cobre e cloreto de amônio                       |
|                | Cobre e sulfato de amônio                       |
| Amarelo        | Oxalato de sódio                                |
|                | Bicarbonato de sódio                            |
|                | Antimoniato de sódio                            |
|                | Nitrato de sódio                                |
|                | Perclorato de sódio                             |
| Cor-de-laranja | Estrôncio e sais de sódio                       |
| Púrpura        | Estrôncio e compostos de cobre com calomelano   |

A produção de fumo negro pode obscurecer o efeito das cores e a afetar a qualidade do espetáculo de fogo-de-artifício. A combustão incompleta de um combustível orgânico pode produzir uma chama negra (devida à presença de carbono nos produtos). Materiais como o naftaleno ( $C_{10}H_8$ ) e o antraceno ( $C_{14}H_{10}$ ) – sólidos voláteis com muitos carbonos na sua composição – não são aconselháveis por produzem imensa fuligem (John, 1985).

A geração de fumos coloridos por volatilização de um corante orgânico é bastante usada em espetáculos musicais. Para produzir uma composição de chama colorida: a partir de corantes:

- A mistura deve produzir calor suficiente para vaporizar o corante, bem como produzir um volume de gás suficiente para dispersar o corante no espaço vizinho;

- A mistura deve reagir a baixas temperaturas e continuar suavemente a combustão a baixas temperaturas. Se a temperatura for demasiado elevada, as moléculas de corante decompõem e a qualidade da cor bem como a qualidade de fumo irá deteriorar-se. Os combustíveis metálicos não são usados em misturas de fumo coloridos, por causa da elevada temperatura de reação que produzem;
- Apesar da baixa temperatura de ignição necessária a mistura de fumo deve ser estável durante o fabrico e armazenamento na gama das temperaturas ambiente.
- As moléculas que criam o fumo colorido devem ter baixa toxicidade.

## 5 REAGENTES USADOS EM PIROTECNIA

### 5.1 Agentes oxidantes

#### 5.1.1 Nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ )

O nitrato de potássio (salitre) continua a ser o oxidante mais usado em pirotecnia. É um material de baixo custo, pouco higroscópico, com baixo ponto de fusão (334 °C) e um elevado teor de oxigénio (39,6 %), o que favorece a combustão em diversas misturas (John, 1985).

A sua reação é fortemente endotérmica, com um valor de  $\Delta H$  de +75,5 kcal/mol, o que permite atingir elevadas velocidades de combustão. É misturado normalmente com carvão e metais que funcionam como combustíveis (John, 1985).

O seu uso em composições com chama colorida é limitado, principalmente devido às baixas temperaturas de reação. O magnésio pode ser adicionado para aumentar a temperatura (e também a intensidade da luz), mas a intensidade da cor diminui pela emissão de fuligem devido à formação de óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) sólido. Em termos de segurança, o nitrato de potássio é bastante estável não explodindo por si próprio (John, 1985).

#### 5.1.2 Clorato de potássio ( $\text{KClO}_3$ )

O clorato de potássio,  $\text{KClO}_3$  foi no passado um dos oxidantes mais usados, mas que pela sua elevada sensibilidade química, que esteve na origem de muitos acidentes graves, é hoje desaconselhável em pirotecnia. Composições de clorato de potássio estão relativamente ligados a combustões acidentais, especialmente quando o enxofre está presente. Os elevados perigos das misturas de  $\text{KClO}_3$  foram gradualmente reconhecidas no séc. XIX, tendo a Inglaterra proibido todas as composições de clorato/enxofre em 1894. As indústrias dos EUA têm reduzido significativamente o seu uso, bem como a conjugação com o perclorato de potássio - menos sensível em muitas fórmulas. O perclorato de potássio é um dos produtos propostos em alternativa à sua substituição por ser quimicamente mais instável. É um material cristalino de cor branca e baixa higroscopicidade, com 39,2 % de oxigénio em massa (John, 1985).



Vários fatores contribuem para a instabilidade das composições que contêm clorato de potássio. O baixo ponto de fusão (356 °C) e a baixa temperatura de decomposição do oxidante. Após fusão, o  $KClO_3$  decompõe-se de acordo com a equação:



A reação é relativamente vigorosa e torna-se violenta a temperaturas acima dos 500 °C. A reação de decomposição do clorato de potássio é exotérmica, com um valor do calor de reação de aproximadamente -10.6 kcal/mol. Apesar da maior parte dos oxidantes necessitarem de calor para a sua decomposição, o clorato de potássio dissocia-se em KCl e  $O_2$  com a libertação de calor (John, 1985).

Conforme já referido o clorato de potássio é particularmente sensível quando misturado com enxofre - combustível com um baixo ponto de fusão (119 °C). No quadro 5.1 são apresentados valores da temperatura de ignição de várias misturas contendo clorato de potássio (John, 1985).

Quadro 5.1 – Temperaturas de ignição do clorato de potássio / misturas de combustível (adaptado de John, 1985).

| Combustível                   | Temperatura de ignição da mistura estequiométrica<br>°C |
|-------------------------------|---|
| Lactose, $C_{12}H_{22}O_{11}$ | 195   |
| Enxofre                       | 220   |
| Goma laca                     | 250   |
| Carvão vegetal                | 335   |
| Pó de magnésio                | 540   |
| Pó de alumínio                | 785   |
| Grafite                       | 890   |

É extremamente importante que o  $KClO_3$  usado na fabricação de composições pirotécnicas seja o mais puro possível, e que todas as precauções possíveis sejam tomadas no armazenamento e na manutenção para prevenir contaminações de material. As impurezas afetam negativamente a estabilidade química (John, 1985).

### 5.1.3 Perclorato de potássio ( $KClO_4$ )

Este material tem substituído gradualmente o clorato de potássio ( $KClO_3$ ) como principal oxidante nas composições pirotécnicas. A sua segurança é muito superior à do clorato de

potássio, contudo deve ser usado com precaução. As misturas de perclorato, especialmente com combustíveis metálicos como o alumínio, podem ter propriedades explosivas, nomeadamente quando estão presentes em grandes quantidades e quando estão confinadas (John, 1985).

O perclorato de potássio é um material cristalino branco, não higroscópico com um ponto de fusão de 610 °C, consideravelmente superior ao ponto de ebulição de 356 °C do KClO<sub>3</sub>. A altas temperaturas sofre decomposição formando cloreto de potássio e oxigénio.



Esta reação tem um fraco valor exotérmico -0,68 kcal/mol e produz substancial oxigénio. O balanço de oxigénio do KClO<sub>4</sub> é de 46,2 %.

Por causa do seu elevado ponto de fusão e da decomposição menos exotérmica, o perclorato de potássio produz misturas que são menos sensíveis ao calor, à fricção e ao impacto comparativamente com as constituídas com KClO<sub>3</sub>. O perclorato de potássio pode ser usado para produzir chamas coloridas (vermelho quando combinado com nitrato de estrôncio), sons (com alumínio, em misturas de sinais luminosos e sons), e luz (em misturas com sinais luminosos com magnésio) (John, 1985).

## 5.2 Combustíveis

Além do oxidante, as misturas pirotécnicas devem conter um combustível que seja um dador de eletrões e que reaja com o oxigénio para produzir calor. O efeito pirotécnico desejado deverá ser cuidadosamente considerado quando se escolhe o combustível para emparelhar com o oxidante. Tanto a temperatura da chama que irá ser produzida, como a natureza dos produtos de reação são fatores importantes. Os requisitos para as principais categorias de artigos pirotécnicos são (John, 1985):

- Propulsores: é necessária uma combinação que produza um grande volume de gás de baixa massa molecular, a elevadas temperaturas, e a grande velocidade de combustão. O carvão vegetal e os compostos orgânicos são frequentemente selecionados para estas composições por causa dos produtos gasosos formados na sua combustão.
- Composições de iluminação: é obrigatória uma reação de elevada temperatura para conseguir emissões de luz intensa, como a presença de espécies emitindo luz forte na

chama. O magnésio é geralmente encontrado nessas misturas, devido ao intenso calor gerado. A produção de partículas de óxido de magnésio incandescentes na chama ajuda na obtenção alta intensidade luminosa. O sódio presente sob a forma de vapor na chama é um forte emissor de luz.

- Composições de chama colorida: uma reação de elevada temperatura produz uma alta intensidade de luz, mas a qualidade da cor depende dos emissores presentes na chama. O magnésio é por vezes adicionado a misturas de chama colorida para permitir obter intensidades mais elevadas, mas a qualidade da cor pode ser danificada devido à elevada emissão de partículas de MgO. Os combustíveis orgânicos (goma vermelha, dextrina, etc.) estão presentes na maior parte das misturas usadas na indústria de fogo-de-artifício.
- Composições de fumos coloridos: é necessário haver uma evolução do gás para haver dispersão das partículas de fumo. Não são desejadas temperaturas elevadas porque poderá ocorrer a decomposição das moléculas orgânicas de coloração. Nestas misturas não estão presentes metais. Os combustíveis que geram pouco calor como o sulfato e os açúcares são geralmente aplicados.
- Composição de combustão: partículas sólidas quentes ou líquidas são desejáveis na combustão e nas composições de iniciação para garantir a transferência de calor suficiente para iniciar a carga principal. Os combustíveis que produzem essencialmente produtos gasosos não são normalmente usados. Um bom combustível reagirá com o oxigénio para formar compostos estáveis, gerando calor substancial. A força das ligações metal-oxigénio nos produtos de reação conta para as excelentes propriedades do combustível de muitos elementos metálicos.

Pode-se usar uma grande variedade de materiais como combustível. A escolha do material dependerá de diversos fatores – a quantidade de calor necessário, a velocidade requerida pela reação, o custo dos materiais, a estabilidade do combustível e do par combustível/oxidante, e a quantidade de produtos gasosos desejáveis. Os combustíveis podem ser divididos em três categorias principais: metais, elementos não metálicos e compostos orgânicos.

### **5.2.1 Metais**

Um bom combustível metálico resiste à oxidação do ar e à humidade, gera muito calor por unidade de massa, e pode ser adquirido a um custo moderado, em partículas de tamanho pequeno.

O alumínio e o magnésio são os materiais mais usados. O titânio, o zircônio e o tungstênio também são usados, especialmente em aplicações militares.

Os metais alcalinos e alcalino-terrosos – como o sódio, o potássio, o bário e o cálcio – poderiam ser excelentes combustíveis de elevada energia, mas, à exceção do magnésio, são extremamente reativos com a humidade e o oxigénio atmosférico. O sódio metálico, por exemplo, reage violentamente com a água e deve ser guardado num líquido orgânico inerte, como o xileno, para minimizar a decomposição (John, 1985).

Um material pode ser inicialmente selecionado para ser usado em composições pirotécnicas, através da verificação do seu potencial de redução. Um material facilmente oxidável deverá ter um valor muito negativo, o que significa que tem uma tendência muito reduzida para ganhar eletrões e uma tendência significativa para os perder. Bons combustíveis metálicos devem ser relativamente leves e produzir elevado calor quando oxidados. O Quadro 5.2 mostra alguns dos combustíveis metálicos mais comuns e as suas propriedades (John, 1985).

Quadro 5.2 – Propriedades dos combustíveis metálicos (adaptado de John, 1985).

| Elemento    | Símbolo | Massa atómica | Ponto de fusão °C | Ponto de ebulição °C | Calor de combustão kcal/g | Produto de combustão               | Gramas de combustível consumido por gramas de O <sub>2</sub> . |
|-------------|---------|---------------|-------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| Alumínio    | Al      | 27,0          | 660               | 2467                 | 7,4                       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 1,12   |
| Ferro       | Fe      | 55,8          | 1535              | 2750                 | 1,8                       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 2,32   |
| Magnésio    | Mg      | 24,3          | 649               | 1107                 | 5,9                       | MgO                                | 1,52   |
| “Magnálio ” | Mg/Al   | -             | 460               | -                    | -                         | MgO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,32   |
| Titânio     | Ti      | 47,9          | 1660              | 3287                 | 4,7                       | TiO <sub>2</sub>                   | 1,50   |
| Tungstênio  | W       | 183,8         | 3410              | 5660                 | 1,1                       | WO <sub>3</sub>                    | 3,83   |
| Zinco       | Zn      | 65,4          | 420               | 907                  | 1,3                       | ZnO                                | 4,09   |
| Zircônio    | Zr      | 91,2          | 1852              | 4377                 | 2,9                       | ZrO <sub>2</sub>                   | 2,85   |

O combustível metálico mais usado é provavelmente o alumínio, com o magnésio logo a seguir. O magnésio é de armazenamento estável, está disponível em diversas formas e tamanhos de partículas e pode ser usado para atingir diversos efeitos. O alumínio tem um ponto de fusão de 660 °C e um ponto de ebulição de aproximadamente 2500 °C. O seu calor de combustão é de 7,4 kcal/g. É disponibilizado na forma de flocos e atomizado, sendo a variedade atomizada em forma de partículas esferoidais. O alumínio atomizado é bastante mais reativo do que o material em flocos, sendo usado em composições para uso militar. Os flocos grandes, designados por

“farrapos”, são muito usados pelas indústrias de fogo-de-artifício para produzir faíscas brancas brilhantes (John, 1985).

As superfícies do alumínio são facilmente oxidadas pelo oxigénio no ar, formando-se pequenas superfícies de revestimento de óxido de alumínio ( $\text{AlO}_2$ ) que protegem a superfície do metal de nova oxidação. Este facto faz com que o alumínio possa ser armazenado durante longos períodos com pequenas perdas de reatividade devida à oxidação do ar. Os metais que formam um revestimento solto durante a exposição ao ar – por exemplo o ferro – não fornecem esta superfície de proteção, podendo ocorrer decomposições extensas durante o armazenamento, a menos que sejam tomadas as devidas precauções (John, 1985).

As composições feitas com alumínio tendem a ser mais estáveis, excetuo se tiverem com humidade e as misturas tiverem um oxidante de nitrato.

### **5.2.2 Enxofre (S)**

O enxofre tem um ponto de fusão particularmente baixo (119 °C). É um combustível muito pobre em termos de calor gerado, mas tem outra função muito importante nas composições pirotécnicas - pode agir como material inflamável ou como iniciador do fogo. O enxofre permite a ocorrência de reações exotérmicas a baixas temperaturas com diversos oxidantes, e o calor gerado pode ser usado para desencadear outras reações de elevada energia com melhores combustíveis. O baixo ponto de fusão permite uma fase líquida, a baixa temperatura, que auxilia o processo de combustão. A presença de enxofre, mesmo em pequenas percentagens, pode afetar dramaticamente a temperatura de inflamabilidade e de combustão de misturas de elevada energia (John, 1985).

A operação de fabricação de uma composição pirotécnica pode ser dividida em várias fases:

- Preparação individual dos componentes: os materiais que vão ser usados no processo de fabricação devem estar secos, em pó ou esmagados de forma a adquirir um tamanho de partícula adequado, ou devem ser peneirados para separar as partículas grandes ou os objetos estranhos. Os oxidantes nunca devem ser processados com os mesmos equipamentos que os combustíveis, nem devem ser armazenados na mesma área antes de serem utilizados. Todos os materiais devem ser devidamente rotulados.
- Preparação das composições: quanto mais homogénea for a solução, maior é a sua reatividade. Com partículas de tamanho reduzido e idênticas consegue-se maximizar a

reatividade, no entanto é necessário um maior cuidado já que a probabilidade de ocorrerem combustões acidentais durante a fabricação e armazenamento aumenta. Torna-se assim necessária a existência de um compromisso, o material deverá reagir satisfatoriamente mas deverá ser relativamente seguro para ser trabalhado. Atinge-se este compromisso através de precauções específicas de tamanho da partícula, pureza do material de partida e procedimentos seguros.

- Granulação: após a mistura, as pólvoras são geralmente granuladas, usando uma pequena percentagem de ligantes no processo. A composição é tratada com água ou com um líquido orgânico (como o álcool), e depois trabalhada com um crivo de malha larga. Obtêm-se assim os grãos da composição misturada, que irão manter a homogeneidade da composição melhor do que a da pólvora solta. Sem o passo da granulação alguns materiais poderiam segregar durante o transporte e armazenamento. O material granulado é depois seco num local isolado e está pronto a seguir para as fases finais.
- Carregamento: um operador, que trabalha com uma quantidade mínima de pólvora, vai colocar a composição em tubos, ou produzir grânulos que irão ser usados posteriormente.
- Ensaios: a avaliação contínua de cada lote acabado é importante para garantir um desempenho adequado. Podem obter-se diferenças significativas no desempenho devido a pequenas variações no tamanho da partícula ou na pureza dos materiais de partida, e a avaliação regular é a única forma de ter a certeza da qualidade do material produzido.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi efetuado o levantamento e análise de acidentes ocorridos em fábricas de pirotecnia, tanto em Portugal como em vários outros países do mundo, bem como alguns dos impactes significativos que esta atividade pode provocar na saúde pública e no meio ambiente. Foi também efetuado o levantamento da formação profissional para este setor em Portugal, de forma a poder compará-la com a de outros países dentro e fora da Europa.

Relativamente aos acidentes ocorridos, verifica-se que a grande maioria deve-se a erros humanos, negligência ou até mesmo falta de conhecimentos por parte de alguns dos profissionais e que poderiam ter sido evitadas se se tivessem adotado as prescrições de segurança necessárias às circunstâncias operacionais.

Os impactes que esta atividade provoca no meio ambiente ainda são muitos questionados por vários cientistas. As substâncias utilizadas neste tipo de espetáculos são sem dúvida substâncias perigosas que aumentam significativamente as suas concentrações durante os espetáculos de fogos-de-artifício, tornando-se nocivos tanto para o ser vivo como para o meio envolvente. No entanto, não existem estudos detalhados e comprovados que possam provar os perigos reais que podem ocorrer no ecossistema.

Portugal apresenta graves lacunas no que diz respeito à formação qualificada dos profissionais do setor da pirotecnia. A formação certificada e harmonizada assume particular importância no processo de certificação de competências quando os profissionais procuram emprego noutros países. Face a esta realidade é proposto um modelo de formação profissional que permitirá responder às necessidades de formação, para que no futuro estes trabalhadores tenham uma maior mobilidade oferecendo uma maior competitividade face a outros mercados.

Para terminar estas conclusões são deixadas algumas ideias e sugestões para trabalhos futuros. É importante a análise bibliográfica efetuada pois pode facilitar a que no futuro se crie legislação adequada ao setor e que sirva de incentivo ao estudo dos impactes ambientais associados a outros tipos de explosivos a fim de mitigar o efeito dos sismos por exemplo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akhavan, J. & Wallace, I. and Nilsson, E. & Wallin, H. (2007). “European explosives qualifications”.

APIPE (2007). “Formação e Ambiente – Dificuldades vs. Que Soluções?” Workshop Formação em Produtos Explosivos em Portugal, Coimbra. Associação Portuguesa dos Industriais de Pirotecnia e Explosivos.

ARIA (2011) “Accidents impliquant des feux d'artifices à l'étranger”. Ministère du Développement Durable, Direction Générale de la Prévention des Risques, Services des Risques Technologiques, BARPI.

ASDAP e SKF, (2011). Cours pour le personnel de vente d'articles de feux d'artifice. La Fédération suisse des sapeurs-pompiers, en collaboration avec l'Association suisse des artificiers professionnels (ASDAP) et le Bureau suisse pour la coordination de la pyrotechnie (SKF).

BOE (2010). Disposiciones Generales Ministerio de la Presidencia. Boletim Oficial del Estado.

Diretiva 2007/23/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Maio de 2007, relativa à colocação no mercado de artigos de pirotecnia.

EUExCert - EUExCert and EUEXNet Projects, (2011). “2<sup>nd</sup> International Conference on Explosive Education and Certification off Skills”.

George W. Weingart, (1947). “Pyrotechnics”, Chemical Publishing Company, Inc., New York.

Góis, J. (2005). “Segurança em instalações de fabrico e armazenagem de matérias pirotécnicas em Portugal”, 1º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade; Instituto Superior Técnico – Lisboa.

Góis, J. (2010). “European qualification framework in the explosives sector”, 12th International Symposium on Fireworks. Porto/Gaia, Portugal, October 11-15.



Góis, J. (2010). “Analysis of explosives accidents in Portugal over the period 2005-2007”, 12<sup>th</sup> International Symposium on Fireworks. Porto/Gaia, Portugal, October 11-15.

Góis, J. (2012). “Química dos Explosivos” – capítulo do livro “ A Química na Sociedade“, Edições Gradiva (no prelo).

John Conkling (1985). Chemistry of Pyrotechnics, Marcel Dekker, Inc., New York.

Lettmayr, C., Nehls, H. (2011). “Lifelong guidance across Europe: reviewing policy progress and future prospects”.

MAI-PSI (2007). “Instruções sobre a utilização de artigos pirotécnicos”. Ministério da Administração Interna- Polícia de Segurança Interna.

MAOTDR (2006). “Sector dos explosivos em Portugal”. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Nijs Jan Duijm, Frank Markert (2001). “Assessment of technologies for disposing explosive waste”, Journal of Hazardous Materials A90 (137–153).

QLD - NRM (2003) - Certificate IV in the Safe Management of Fireworks Displays, Queensland Government Department of Natural Resources and Mines.

Renato Camilleri, Alfred J. Vella (2010). “Effect of fireworks on ambient air quality in Malta”, Atmospheric Environment 44 (4521-4527).

RMAI (2000) “Estudo de inventariação das atividades fabris de pirotecnia e cartuchos de caça”, Portugal. Relatório do Ministério da Administração Interna.

Russ Howell, Health Services Manager, Kettering B. C. (2005). “Incident at fireworks display Wicksteed Park, Kettering, November 2005”.

Sayantan Sarkar, Pandit S. Khillare, Darpa S. Jyethi, Amreen Hasan, Musarrat Parween (2010). “Chemical speciation of respirable suspended particulate matter during a major firework festival in India”, Journal of Hazardous Materials 184 (321-330).

Trindade, L. (2009). “Análise de riscos no fabrico e emprego de produtos explosivos”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Ying Wang, Guoshun Zhuanga, Chang Xua, Zhisheng Ana (2006). “The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing”, Atmospheric Environment 41 (417–431).

**Sites da Internet:**

Academia Pinto, (2012)

<http://www.academiapinto.es/curso-a-distancia/indexcurso-a-distancia.html>

APIPE, (2012) <http://www.apipe.org/imprensa.html>.

DMP-EF, (2012) <http://www.dmp.wa.gov.au/6684.aspx>

ENSTA Bretagne, (2012) <http://www.ensta-bretagne.fr/index.php/mastere-specialise-pyrotechnie-et-propulsion/>

Environmental Issues, (2012)

<http://environment.about.com/od/healthenvironment/a/toxicfireworks.html>

Fireworks – NRC, (2012) <http://www.nrcan.gc.ca/minerals-metals/explosives/3818>

Les Feux D’artifice, (2012) <http://feux-artifices-tpe.e-monsite.com/pages/problemes-lies-aux-feux-d-artifices/impact-environnemental.html>

Manual de Pirotecnia, (2012) <http://student.dei.uc.pt/~peter/manual/pag2.html>

Mother Nature Network, (2012) <http://www.mnn.com/earth-matters/translating-uncle-sam/stories/are-fireworks-bad-for-the-environment>

NFPA, (2012) [http://www.nfpa.org/catalog/product.asp?pid=112310&cookie\\_test=1](http://www.nfpa.org/catalog/product.asp?pid=112310&cookie_test=1)

Pyrotechnie.org, (2012) <http://www.pyrotechnie.org/7-definition-303.html>

Simpósio Internacional de Pirotecnia, (2012)

<http://www.cm-porto.pt/gen.pl?p=stories&op=view&fokey=cmp.stories/15287>

The Mary T. and Frank L. Hoffman Family Foundation, (2012)

<http://www.all-creatures.org/oagl/art-fireworks.html>

Wikipédia, (2012) [http://pt.wikipedia.org/wiki/Fogos\\_de\\_artif%C3%ADcio](http://pt.wikipedia.org/wiki/Fogos_de_artif%C3%ADcio)

## ANEXO A – ITENS DOS MÓDULOS DOS CURSOS “PIROTECNIA: MENOS RISCO MAIS SEGURANÇA”

| Conceitos gerais e terminologia                                  |
|--|
| Conceitos gerais   |
| Combustível e oxidante   |
| Reação de combustão  |
| Riqueza e velocidade de reação                                   |
| Grandezas termodinâmicas de base                                 |
| Iniciação  |
| Iniciação – transição inflamação - combustão                     |
| Inflamação homogénea e heterogénea                               |
| Energia de inflamação  |
| Espessura de extinção  |
| Explosão   |
| Onda de reação   |
| Regime de propagação da onda de reação – celeridade e velocidade |
| Deflagração e detonação  |
| Manual de pirotecnia e cursos de especialização                  |
| Acondicionamento de matérias-primas e produtos acabados          |
| Princípios químicos  |
| Matérias-primas para composições pirotécnicas                    |
| Acondicionamento de matérias-primas e produtos acabados          |
| Procedimentos a seguir para uma boa armazenagem                  |
| Controlo da qualidade  |
| Seleção de matérias-primas                                       |
| Caracterização de matérias-primas                                |
| Legislação, higiene e segurança                                  |
| Quadro legal da atividade pirotécnica                            |
| Análise e avaliação do risco                                     |
| A instalação pirotécnica   |
| O produto, a produção e o mercado                                |
| A higiene e segurança no trabalho                                |
| Técnicas e metodologias de fabrico                               |
| Princípios gerais sobre pirotecnia                               |
| Regras básicas de segurança                                      |
| Conhecimento de matérias-primas                                  |
| Processamento de materiais pirotécnicos                          |
| Relação de composições pirotécnicas a evitar                     |
| Organização de um processo de fabrico e controlo                 |
| Processos de fabrico e controlo                                  |
| Como elaborar  |
| Porquê? Folhas e métodos de fabrico                              |
| Porquê? Folhas e métodos de controlo                             |
| Porquê? Instruções particulares de segurança                     |
| Localização da informação  |
| Orçamento técnico  |

## ANEXO B – EXTRATO DA DIRETIVA 2007/23/CE

### DIRETIVA 2007/23/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 23 de Maio de 2007 relativa à colocação no mercado de artigos de pirotecnia

#### Artigo 1.º

##### Objetivos e âmbito de aplicação

1. A presente diretiva define regras para a realização da livre circulação de artigos de pirotecnia no mercado interno, garantindo simultaneamente um elevado nível de proteção da saúde humana e da segurança pública e a defesa e a segurança dos consumidores, e tendo em conta os aspetos relevantes relacionados com a proteção ambiental.
2. A presente diretiva estabelece os requisitos essenciais de segurança que os artigos de pirotecnia devem satisfazer tendo em vista a sua colocação no mercado.
3. A presente diretiva aplica-se aos artigos de pirotecnia tal como definidos nos n.os 1 a 5 do artigo 2.º
4. A presente diretiva não é aplicável a:
  - a) Artigos de pirotecnia destinados a ser utilizados para fins não comerciais, em conformidade com a legislação nacional, pelas forças armadas, pela polícia ou pelos bombeiros;
  - b) Equipamento abrangido pela Diretiva 96/98/CE;
  - c) Artigos de pirotecnia destinados a ser utilizados na indústria aeroespacial;
- d) Dispositivos de perfuração concebidos especialmente para brinquedos abrangidos pela Diretiva 88/378/CEE do Conselho, de 3 de Maio de 1988, relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes à segurança dos brinquedos (4);
- e) Explosivos abrangidos pela Diretiva 93/15/CEE;
- f) Munições, na aceção de projéteis, cargas propulsoras e foguetes de sinalização, utilizadas em armas de fogo portáteis, outras armas e artilharia.

#### Artigo 2.º

##### Definições

Para efeitos da presente diretiva entende-se por:

1. «Artigo de pirotecnia», qualquer artigo que contenha substâncias explosivas ou uma mistura explosiva de substâncias concebido para produzir um efeito calorífico, luminoso, sonoro, gasoso ou fumígeno ou uma combinação destes efeitos, devido a reações químicas exotérmicas autossustentadas;
2. «Colocação no mercado», a primeira disponibilização no mercado comunitário, a título gratuito ou oneroso, de um produto individual tendo em vista a sua distribuição e/ou utilização. Os fogos-de-artifício produzidos por um fabricante para uso próprio e que tenham sido aprovados por um Estado-Membro para utilização no seu território não se consideram colocados no mercado;
3. «Fogo-de-artifício», um artigo de pirotecnia destinado a ser utilizado para fins de entretenimento;
4. «Artigo de pirotecnia para teatro», um artigo de pirotecnia concebido para utilização em palco interior ou exterior, incluindo produções de cinema ou televisão, ou para utilizações idênticas;
5. «Artigo de pirotecnia para veículos», um componente de dispositivo de segurança em veículos que contenha substâncias pirotécnicas utilizadas para ativar este ou outros dispositivos;
6. «Fabricante», uma pessoa singular ou coletiva que conceba e/ou fabrique ou mande conceber e fabricar um artigo de pirotecnia abrangido pela

presente diretiva com vista à sua colocação no mercado com o seu próprio nome ou marca comercial;

7. «Importador», qualquer pessoa singular ou coletiva estabelecida na Comunidade que disponibilize pela primeira vez no mercado comunitário um artigo de pirotecnia proveniente de um país terceiro no âmbito da sua atividade profissional;
8. «Distribuidor», qualquer pessoa singular ou coletiva da cadeia da oferta que disponibilize um artigo de pirotecnia no mercado no âmbito da sua atividade profissional;
9. «Norma harmonizada», uma norma europeia aprovada por um organismo de normalização europeu mediante mandato da Comissão nos termos da Diretiva 98/34/CE, sem carácter obrigatório;
10. «Pessoa com conhecimentos especializados», uma pessoa autorizada por um Estado-Membro a manipular e/ou utilizar no seu território fogos-de-artifício da categoria 4, artigos de pirotecnia para teatro da categoria T2 e/ou outros artigos de pirotecnia da categoria P2, tal como definidos no artigo 3.º

#### Artigo 3.º

##### Classificação

1. Os artigos de pirotecnia devem ser classificados pelo fabricante de acordo com o tipo de utilização, a finalidade e o nível de risco, incluindo o nível sonoro, respetivos. Os organismos notificados a que se refere o artigo 10.º devem confirmar a classificação como parte dos procedimentos de avaliação da conformidade nos termos do artigo 9.º

A classificação é feita do seguinte modo:

##### a) Fogos-de-artifício

Categoria 1: fogos-de-artifício que apresentam um risco muito baixo e um nível sonoro insignificante e que se destinam a ser utilizados em áreas confinadas, incluindo os fogos-de-artifício que se destinam a ser utilizados no interior de edifícios residenciais,

Categoria 2: fogos-de-artifício que apresentam um risco baixo e um nível sonoro baixo e que se destinam a ser utilizados em áreas exteriores confinadas,

Categoria 3: fogos-de-artifício que apresentam um risco médio, que se destinam a ser utilizados em grandes áreas exteriores abertas e cujo nível sonoro não é prejudicial para a saúde humana,

Categoria 4: fogos-de-artifício que apresentam um risco elevado, que se destinam a ser utilizados exclusivamente por pessoas com conhecimentos especializados (comumente conhecidos por «fogos-de-artifício para utilização profissional») e cujo nível sonoro não é prejudicial para a saúde humana;

##### b) Artigos de pirotecnia para teatro

Categoria T1: artigos de pirotecnia para utilização em palco que apresentam um risco baixo,

Categoria T2: artigos de pirotecnia para utilização em palco que se destinam a ser utilizados exclusivamente por pessoas com conhecimentos especializados;

##### c) Outros artigos de pirotecnia

Categoria P1: artigos de pirotecnia, com exclusão dos fogos-de-artifício e dos artigos de pirotecnia para teatro, que apresentam um risco baixo,

Categoria P2: artigos de pirotecnia, com exclusão dos fogos-de-artifício e dos artigos de pirotecnia para teatro, que se destinam a ser manipulados ou utilizados exclusivamente por pessoas com conhecimentos especializados.

2. Os Estados-Membros informam a Comissão dos procedimentos que utilizem para a identificação e autorização das pessoas com conhecimentos especializados.

#### Artigo 4.o

##### Obrigações do fabricante, do importador e do distribuidor

1. Os fabricantes devem assegurar que os artigos de pirotecnia colocados no mercado satisfaçam os requisitos essenciais de segurança estabelecidos no anexo I.

2. Se o fabricante não estiver estabelecido na Comunidade, o importador dos artigos de pirotecnia deve assegurar que o fabricante cumpriu as obrigações que lhe incumbem nos termos da presente diretiva ou assumir ele próprio essas obrigações.

A responsabilidade do importador pode ser acionada pelas autoridades e pelos organismos da Comunidade no que respeita a essas obrigações.

3. Os distribuidores devem agir com a devida precaução, em conformidade com a legislação comunitária. Devem, nomeadamente, verificar se o artigo de pirotecnia ostenta a marcação ou marcações de conformidade exigidas e se é acompanhado dos documentos necessários.

4. Os fabricantes de artigos de pirotecnia devem:

a) Apresentar o artigo de pirotecnia a um organismo notificado a que se refere o artigo 10.o, que realiza a avaliação da conformidade nos termos do artigo 9.o; e

b) Afixar a marcação «CE» e apor o rótulo no artigo de pirotecnia nos termos do artigo 11.o, e dos artigos 12.o ou

13.o

#### Artigo 5.o

##### Colocação no mercado

1. Os Estados-Membros devem tomar todas as medidas adequadas para assegurar que os artigos de pirotecnia só possam ser colocados no mercado se satisfizerem os requisitos da presente diretiva, ostentarem a marcação «CE» e respeitarem as obrigações relacionadas com a avaliação de conformidade.

2. Os Estados-Membros devem tomar todas as medidas adequadas para assegurar que os artigos de pirotecnia não ostentem indevidamente a marcação «CE».

#### Artigo 6.o

##### Livre circulação

1. Os Estados-Membros não podem proibir, restringir ou entravar a colocação no mercado de artigos de pirotecnia que satisfaçam os requisitos da presente diretiva.

2. As disposições da presente diretiva não podem excluir as medidas adotadas por um Estado-Membro, justificadas por razões de ordem pública, de segurança pública ou de proteção ambiental, destinadas a proibir ou restringir a posse, a utilização e/ou a venda ao grande público de fogos-de-artifício das categorias 2 e 3, de artigos de pirotecnia para teatro e de outros artigos de pirotecnia.

3. Os Estados-Membros não podem impedir, por ocasião de feiras, exposições e demonstrações para fins de comercialização de artigos de pirotecnia, a exibição e a utilização de artigos de pirotecnia que não sejam conformes com a presente diretiva, desde que um sinal visível indique claramente o nome e a data da feira, exposição ou demonstração em causa, a não conformidade e a não disponibilidade para venda desses artigos enquanto não forem postos em conformidade pelo fabricante, se o fabricante estiver estabelecido na Comunidade, ou pelo importador. Por ocasião desses eventos, devem ser tomadas as medidas de segurança adequadas, respeitando todos os requisitos estabelecidos pelas autoridades competentes do Estado-Membro em questão.

4. Os Estados-Membros não podem impedir a livre circulação e utilização de artigos de pirotecnia fabricados para fins de investigação, desenvolvimento e ensaio que não sejam conformes com as disposições da presente diretiva,

desde que um sinal visível indique claramente a não conformidade e a não disponibilidade para venda desses artigos para fins que não sejam de investigação, desenvolvimento e ensaio.

#### Artigo 7.o

##### Limites de idade

1. Os artigos de pirotecnia não podem ser vendidos nem disponibilizados de qualquer outra forma a consumidores abaixo dos seguintes limites de idade:

a) Fogos-de-artifício:

Categoria 1: 12 anos,

Categoria 2: 16 anos,

Categoria 3: 18 anos;

b) Outros artigos de pirotecnia e artigos de pirotecnia para teatro:

Categorias T1 e P1: 18 anos.

2. Os Estados-Membros podem aumentar os limites de idade indicados no n.o 1 sempre que isso se justifique por razões de ordem pública ou de segurança pública. Os Estados-Membros podem igualmente baixar os limites de idade para pessoas que tenham seguido ou estejam a seguir uma formação profissional específica.

3. Os fabricantes, importadores e distribuidores não podem vender ou disponibilizar de qualquer outra forma os seguintes artigos de pirotecnia, exceto a pessoas com conhecimentos especializados:

a) Fogos-de-artifício da categoria 4;

b) Artigos de pirotecnia da categoria P2 e artigos de pirotecnia para teatro da categoria T2.

...

#### ANEXO I

##### Requisitos essenciais de segurança

1. Todos os artigos de pirotecnia devem atingir os níveis de desempenho especificados pelo fabricante ao organismo notificado, a fim de garantir o máximo de segurança e fiabilidade.

2. Todos os artigos de pirotecnia devem ser concebidos e fabricados de modo a poderem ser eliminados em segurança por um processo adequado com um mínimo de efeitos no ambiente.

3. Todos os artigos de pirotecnia devem funcionar corretamente quando utilizados para o fim a que se destinam.

Todos os artigos de pirotecnia devem ser objeto de ensaios em condições realistas. Se tal não for possível em laboratório, os ensaios devem ser efetuados nas condições em que o artigo de pirotecnia se destina a ser utilizado.

Quando aplicável, devem ser tidos em conta ou ser objeto de ensaios os seguintes dados e propriedades:

a) Conceção, construção e propriedades características, incluindo a composição química detalhada (massa e percentagem das substâncias usadas) e dimensões;

b) Estabilidade física e química do artigo de pirotecnia em todas as condições ambientais normais e previsíveis;

c) Sensibilidade às condições normais e previsíveis de manipulação e transporte;

d) Compatibilidade de todos os componentes no que se refere à sua estabilidade química;

e) Resistência do artigo de pirotecnia à humidade, sempre que se destine a ser utilizado em ambientes húmidos ou em presença de água e que a sua segurança ou fiabilidade possa ser afetada pela humidade;

f) Resistência a temperaturas baixas e elevadas, sempre que o artigo de pirotecnia se destine a ser mantido ou utilizado a tais temperaturas e que a sua segurança ou fiabilidade possa ser afetada pelo arrefecimento ou pelo aquecimento de um componente ou do conjunto do artigo de pirotecnia;

g) Segurança em matéria de iniciação ou ignição inadvertida e extemporânea;

h) Instruções adequadas e, sempre que necessário, marcações relativas às condições seguras de manipulação, armazenamento, utilização (incluindo as distâncias de segurança) e eliminação, na ou nas línguas oficiais do Estado-Membro de destino;

i) Capacidade de resistência do artigo de pirotecnia, do seu revestimento ou de qualquer outro componente à deterioração em condições normais e previsíveis de armazenamento;

j) Indicação de todos os dispositivos e acessórios necessários, bem como instruções de funcionamento, para um funcionamento seguro do artigo de pirotecnia.

Durante o transporte e manipulação normais, salvo especificação em contrário constante das instruções do fabricante, os artigos de pirotecnia devem conter a composição pirotécnica.

4. Os artigos de pirotecnia não devem conter:

a) Agentes explosivos comerciais, com exceção da pólvora negra ou da composição iluminante;

b) Explosivos militares.

5. Os diferentes grupos de artigos de pirotecnia devem igualmente satisfazer, no mínimo, os seguintes requisitos:

#### A. Fogos-de-artifício

1. O fabricante classifica os fogos-de-artifício em diferentes categorias, de acordo com o artigo 3.o, por teor líquido de explosivo, distâncias de segurança, nível sonoro ou semelhante. A categoria deve ser claramente marcada no rótulo.

a) Aos fogos-de-artifício da categoria 1 são aplicáveis as seguintes condições:

i) a distância de segurança deve ser pelo menos de 1 m. No entanto, sempre que adequado, a distância de segurança pode ser inferior,

ii) o nível sonoro máximo não deve exceder 120 decibéis (A, imp), ou um nível sonoro equivalente aferido por outro método adequado, à distância de segurança,

iii) a categoria 1 não deve abranger foguetes, baterias de foguetes, foguetes iluminantes e baterias de foguetes iluminantes,

iv) os foguetes da categoria 1 não devem conter mais de 2,5 mg de fulminato de prata;

b) Aos fogos-de-artifício da categoria 2 são aplicáveis as seguintes condições:

i) a distância de segurança deve ser pelo menos de 8 m. No entanto, sempre que adequado, a distância de segurança pode ser inferior,

ii) o nível sonoro máximo não deve exceder 120 decibéis (A, imp), ou um nível sonoro equivalente aferido por outro método adequado, à distância de segurança;

c) Aos fogos-de-artifício da categoria 3 são aplicáveis as seguintes condições:

i) a distância de segurança deve ser pelo menos de 15 m. No entanto, sempre que adequado, a distância de segurança pode ser inferior,

ii) o nível sonoro máximo não deve exceder 120 decibéis (A, imp), ou um nível sonoro equivalente aferido por outro método adequado, à distância de segurança;

2. Os fogos-de-artifício só podem ser fabricados com materiais que minimizem o risco dos resíduos para a saúde, os bens e o ambiente;

3. O método de ignição deve ser claramente visível ou indicado no rótulo ou nas instruções;

4. Os fogos-de-artifício não devem movimentar-se de forma errática e imprevisível;

5. Os fogos-de-artifício das categorias 1, 2 e 3 devem estar protegidos contra ignição inadvertida por meio de uma capa protetora, por meio da embalagem ou pelo tipo de construção do artigo. Os fogos-de-artifício da categoria 4 devem estar protegidos contra ignição inadvertida por métodos especificados pelo fabricante.

#### B. Outros artigos de pirotecnia

1. Os artigos de pirotecnia devem ser concebidos de forma a minimizar os riscos para a saúde, os bens e o ambiente durante a sua utilização normal;

2. O método de ignição deve ser claramente visível ou indicado no rótulo ou nas instruções;

3. O artigo de pirotecnia deve ser concebido por forma a minimizar os riscos dos resíduos para a saúde, os bens e o ambiente quando iniciado inadvertidamente;

4. O artigo de pirotecnia deve funcionar corretamente até ao termo do prazo de validade indicado pelo fabricante, se aplicável.

#### C. Dispositivos de ignição

1. Os dispositivos de ignição devem poder ser acionados de modo fiável e dispor de uma capacidade de acionamento suficiente, em todas as condições normais e previsíveis de utilização;

2. Os dispositivos de ignição devem estar protegidos contra descargas eletrostáticas em condições normais e previsíveis de armazenamento e utilização;

3. As escorvas elétricas devem estar protegidas contra campos eletromagnéticos em condições normais e previsíveis de armazenamento e utilização;

4. O revestimento das mechas deve possuir uma resistência mecânica suficiente e proteger devidamente o conteúdo explosivo em condições normais e previsíveis de solicitação mecânica;

5. Os parâmetros que determinam os tempos de combustão das mechas devem ser facultados com o artigo;

6. As características elétricas (por exemplo, corrente mínima de funcionamento, resistência, etc.) das escorvas elétricas devem ser facultadas com o artigo;

7. Os fios das escorvas elétricas devem apresentar isolamento e resistência mecânica suficientes, incluindo ao nível da sua solidez com a escorva, tendo em conta a utilização prevista.

---

## ANEXO C – CONTEÚDO DE MANUAIS SOBRE PIROTECNIA

### Chemistry of Pyrotechnics: Basic Principles and Theory, Second Edition

Autores: John A. Conkling and Christopher J. Mocella

Ano: 2011

Capítulo 1: Introdução

Capítulo 2: Princípios Básicos de Química

Capítulo 3: Componentes de Misturas de Alta-Energia

Capítulo 4: Princípios Pirotécnicos

Capítulo 5: Ignição e Propagação

Capítulo 6: Calor e Composições de Atraso

Capítulo 7: Produção de Cor e Luz

Capítulo 8: Fumo e Som

Apêndices

### The Chemistry of fireworks

Autor: Michael S. Russell

Ano: 2002

Capítulo 1: Introdução Histórica

Capítulo 2: Características da Pólvora

Capítulo 3: Foguetes

Capítulo 4: Minas e Escudos

Capítulo 5: Fontes

Capítulo 6: Faíscas

Capítulo 7: Petardos

Capítulo 8: Velas Romanas

Capítulo 9: Fogo Preso

Capítulo 10: Efeitos Especiais

Capítulo 11: Fogo-de-Artifício – Segurança

Capítulo 12: Fogo-de-Artifício – Legislação