



**CATÓLICA**  
UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA  
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

***UTILIZAÇÃO DO METILMETACRILATO – RISCO DE EXPOSIÇÃO  
OCUPACIONAL***

Tese apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica  
Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Saúde Ambiental

por

Beatriz da Graça Nunes Veiga Edra

Junho de 2011



**CATÓLICA**  
UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA  
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

***UTILIZAÇÃO DO METILMETACRILATO – RISCO DE EXPOSIÇÃO  
OCUPACIONAL***

Tese apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica  
Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Saúde Ambiental

Por

Beatriz da Graça Nunes Veiga Edra

Sob orientação de: Professor Manuel Gutierrez

Junho de 2011

---

## **RESUMO**

O Metilmetacrilato (MMA) é a substância base do cimento ósseo acrílico, cuja síntese química foi definida pela primeira vez em 1902, pelo químico alemão Röhm.

Em 1943 foi estabelecido o protocolo para a produção química do cimento ósseo acrílico. No entanto, o grande impulso para a sua utilização na área da medicina, foi dado por Charnley, em 1958, aquando da sua utilização em artroplastias da anca.

O cimento ósseo acrílico é um composto constituído essencialmente por um homopolímero de polimetilmetacrilato com um monómero de metilmetacrilato.

Apesar de existirem diversas formas comerciais a sua fórmula química tem como substância de base o MMA associado a outro tipo de compostos, podendo variar em relação algum composto específica adequado a determinada situação clínica.

Nas últimas décadas, e em consequência da sua ampla utilização, urge a necessidade de desenvolvimento das técnicas de cimentação nomeadamente em relação à preparação e aplicação do cimento ósseo acrílico, de forma a otimizar as suas propriedades e minimizar os riscos inerentes à sua utilização.

Um foco importante no desenvolvimento dos sistemas de cimentação, foi controlar o nível de exposição ao MMA, de forma a criar um ambiente de trabalho seguro, pois apesar de não existir comprovação do seu possível potencial carcinogénico, diversos estudos comprovam a sua toxicidade principalmente no sistema pulmonar, hepático e cutâneo. Desta forma actualmente existem limites de exposição em relação à concentração e horas de exposição ao MMA, definidos pela IARC que, em colaboração com outras instituições, define também um conjunto de *guidelines* para uma prática correcta de manuseamento do cimento ósseo acrílico

Este trabalho tem como objectivo analisar o risco de exposição ocupacional relacionado com a toxicidade do metilmetacrilato, em enfermeiros instrumentistas de dez hospitais da zona Norte, que na sua prática profissional utilizam o cimento ósseo diariamente. Esta investigação utilizou como instrumento de recolha de dados um questionário de forma a aferir informação relacionada com os níveis e horas de exposição, práticas de preparação, nível de conhecimento em relação às normas preconizadas para a sua utilização, manifestações fisiológicas aquando do seu manuseamento e controlo

---

analítico realizado por parte destes profissionais de forma a despistar algum tipo de consequência inerente à exposição ao monómero de MMA.

Os resultados evidenciaram que a maioria destes profissionais utilizam a técnica de preparação manual, sendo esta a que mais os expõem aos vapores de MMA, não tendo, na sua maioria, informação sobre as normas de utilização do cimento ósseo acrílico, Para além deste desconhecimento, os dados evidenciam a falta de recursos nas instituições, que lhes permita a utilização da técnica adequada de preparação de forma a diminuir o risco de exposição.

Dos 143 enfermeiros inquiridos só 14% dos enfermeiros instrumentistas é que se expõem a um nível superior à concentração recomendada. Estas situações ocorrem quando os profissionais participam em mais de duas cirurgias por dia, com aplicação de cimento ósseo acrílico. No entanto, mais de metade dos inquiridos apresentam sintomas aquando do manuseamento do referido composto. Apesar de só 44 (23%) dos inquiridos realizarem em controlo analítico regular da função hepática e renal constatou-se que e destes, 14 apresentam alterações quer da função hepática e renal, sendo que este grupo é o que realiza maior número de cirurgias por dia e tem mais do que 13 anos de serviço. Conclui-se desta forma que, existe a necessidade de maior informação por parte destes profissionais de saúde em relação às normas preconizadas para o manuseamento do cimento ósseo acrílico, valores limite de exposição, além de sensibilização para um controlo analítico regular, de forma a minimizar o risco de exposição ocupacional.

---

## ***ABSTRACT***

Methyl methacrylate (MMA) is the basic substance of the acrylic bone cement, chemical synthesis which was first defined in 1902 by German chemist Röhlm.

In 1943 it was established the protocol for the chemical production of acrylic bone cement. However, the big push of the use of acrylic bone cement in medicine was given by Charnley in 1958 during its use in hip arthroplasty.

The acrylic bone cement is a composite consisting essentially of a homopolymer of polymethylmethacrylate with a methylmethacrylate monomer. Though, there are various commercial forms, its chemical formula has as basic substance the MMA associated with other compounds, varying in some appropriate compound specific to any given clinical situation.

In recent decades, and as a result of its widespread use, there is urgent need for development of cementing techniques in particular in relation to the techniques of preparation and application of acrylic bone cement in order to optimise their properties and minimise the risks inherent in their use.

An important focus in the development of systems of cementation was controlling the level of exposure to MMA in order to create a safe work environment, because although there isn't yet evidence of their possible carcinogenic potential, several studies show its toxicity mainly in the pulmonary system, liver and skin. Thus currently there are exposure limits for the concentration and time of exposure to MMA, which are defined by IARC in collaboration with other institutions and also defines a set of good practice for guidelines handling the acrylic bone cement

This paper aims to analyse the risk of occupational exposure related to the toxicity of methylmethacrylate faced by scorb nurses in ten hospitals, in the Northern region of the country. In their professional practice, these nurses use bone cement daily. This research used, as an instrument of data collection, a questionnaire to assess information related to the levels and times of exposure, preparation practices, level of knowledge about the norms prescribed for their use, physiological manifestations during the

---

handling and analytical control performed by these professionals in order to discourage any kind of inherent consequence of exposure to MMA monomer.

The results showed that most of these professionals use the technique of manual preparation, which is the technique that exposes them the most to vapours from MMA. The majority of them have no previous information about the rules for using acrylic bone cement. Beyond the deficiency of staff knowledge, the data showed a lack of resources in the department that will allow for the proper preparation technique in order to reduce the risk of exposure.

Of the 143 nurses surveyed only 14% of scorb nurses are exposed to a level superior to the recommended concentration. These situations occur when professionals participate in more than two procedures/surgeries per day using acrylic bone cement. However, more than half of respondents had symptoms during the handling of this compound. Although only 44 (23%) of respondents conduct regular analytical control in the liver and kidney function, it has been established that, out of this number, 14 people have shown changes of both liver and kidney function. This is the group that performs a greater number of surgeries per day and has more than 13 years of service.

The conclusion is thus that there is a need for more training for these Health Care practitioners (providers) to the standards recommended for the handling of acrylic bone cement, exposure limits and raising a regular analytical control, so in order to minimize the risk of occupational exposure.

---

## *AGRADECIMENTOS*

Ao meu marido e ao meu filho João,  
pelo seu amor, carinho e paciência.....

Aos meus pais pelo seu amor e pelo seu grande apoio incondicional em todos os  
momentos da minha vida

Ao Professor Manuel Gutierres responsável pela orientação desta dissertação, pela sua  
disponibilidade, sabedoria e paciência

Aos meus colegas Enf<sup>a</sup> Eva, Enf<sup>a</sup> Paula, Enf<sup>a</sup> Isabel, Enf<sup>o</sup> Martinho, Enf<sup>o</sup> Marinho e  
Enf<sup>o</sup> Vasconcelos por todo o seu apoio, disponibilidade e compreensão

À Prof<sup>a</sup> Clotilde Veiga e ao Prof<sup>o</sup> Bruno Magalhães pela sua grande amizade e pelo seu  
apoio incondicional

À Isaura Geraldo e ao Jose Roças pela sua disponibilidade e colaboração

Ao resto da minha família e amigos

A todos o meu muito obrigado

---

## **INDICE**

1 – Introdução .....	12
2 – História do cimento ósseo acrílico .....	15
3 – Cimento ósseo acrílico .....	18
3.1. – Composição .....	19
3.2 – Polimerização .....	21
3.3 – Viscosidade .....	23
3.4 – Peso molecular/métodos de esterilização .....	25
3.5. – Métodos de mistura .....	26
3.5.1- Mistura manual .....	27
3.5.2 – Mistura por vácuo .....	28
3.5.3 – Mistura por centrifugação .....	29
3.5.4 - Mistura por agitação ultrasónica .....	29
3.5.5 - Mistura e aplicação em simultâneo .....	29
3.6. – Propriedades mecânicas .....	30
3.7. – Técnicas de cimentação .....	32
4 -Exposição ocupacional .....	34
4.1 – Risco de exposição ocupacional .....	34
4.1.1 – Toxicidade do metilmetacrilato .....	35
4.1.1.1. – Toxicidade no sistema pulmonar e hepático .....	38
4.1.1.2. – Toxicidade no sistema nervoso .....	41
4.1.1.3. – Toxicidade no sistema cutâneo .....	41
4.1.1.4. – Outras alterações sistémicas .....	41
4.2. – Normas de utilização .....	42
5 – Avaliação do risco de exposição em Hospitais da Região Norte .....	44
5.1. – Metodologia .....	44
5.1.1. – Objectivos de estudo .....	44
5.1.2. – Instrumentos de recolha de dados .....	45



---

5.2. – Caracterização da amostra	45
5.3. – Apresentação e análise de dados	48
5.4. – Conclusões	58
6 – Sugestões para minimizar o risco de exposição	60
7 – Conclusão Geral	62
Bibliografia	
ANEXOS	
Anexo I (Questionário)	

---

## **INDICE DE TABELAS**

**Tabela I** – Composição do Cimento Ósseo Acrílico.

**Tabela II** – Propriedades químicas e físicas do Metilmetacrilato.

**Tabela III** – Técnicas de preparação utilizada pelos inquiridos.

**Tabela IV** – Estatísticas do grupo de profissionais que utiliza a técnica de preparação manual.

**Tabela V** – Estatísticas do grupo de profissionais que utiliza a técnica de preparação com vácuo para mistura.

**Tabela VI** - Existências de recursos materiais na instituição.

**Tabela VII** – Normas de manuseamento versus controlo analítico.

**Tabela VIII** – Profissionais que realizam controlo analítico e que apresentam alterações das transaminases e alteração da função renal.

**Tabela IX** – Estatísticas do tempo de serviço dos inquiridos com alterações analíticas.

**Tabela X** – Estatísticas relativas ao número de cirurgias dos inquiridos que fazem controlo analítico.

---

## ***INDICE DE FIGURAS***

***Figura I*** – Cimento Ósseo Acrílico na sua forma comercial.

***Figura II*** – Sistema de mistura manual.

***Figura III*** – Sistema de mistura por vácuo.

***Figura IV*** – Sistema misto de cimentação

***Figura V*** – Distribuição dos inquiridos por sexo

***Figura VI*** – Hospitais envolvidos no estudo/número de inquiridos por hospital

***Figura VII*** – Idade dos inquiridos

***Figura VIII*** – Tempo de serviço dos inquiridos

***Figura IX*** – Emissão diária de Metilmetacrilato por técnica de preparação

***Figura X*** – Distribuição da técnica de preparação por técnica de aplicação

***Figura XI*** – Sintomas no manuseamento do cimento ósseo acrílico

---

## ***LISTA DE ABREVIATURAS***

***BPO*** – Peróxido de Benzoilo

***CAS*** –Chemical Abstract Service

***FDA*** – Food and Droug Administration

***Hz*** - Hertz

***IARC*** –*International* Agency for Research on Cancer

***ISO*** – International organization for standardization

***kPa*** - Kilopascal

***MMA*** – Metilmetacrilato

***Mpa*** - *Micropascal*

***Pág.*** - Página

***PMMA*** - Polimetilmetacrilato

***Ppm*** –Partes por milhão

***Nº*** - Número

***Rpm*** – Rotações por minuto

---

## ***1 – INTRODUÇÃO***

O expressivo desenvolvimento, nas últimas décadas, da ciência na área dos biomateriais, é responsável por grande parte das inovações tecnológicas presentes nas áreas biomédicas e biotecnológicas para aplicações na área da saúde, que tanto contribuem para a melhoria da qualidade de vida da população e, conseqüentemente, aumento da expectativa da vida humana (44).

Biomaterial é definido, em sentido amplo, como qualquer material farmacologicamente inerte capaz de interagir com um organismo vivo, não induzindo reacções adversas no sítio de implantação ou mesmo sistemicamente (67).

O cimento ósseo acrílico é um destes materiais, sendo utilizado como biomaterial desde 1930 (67) em diversas especialidades médicas, nas suas diferentes aplicações, com destaque para a especialidade de ortopedia onde é utilizado com frequência (44). Nas últimas décadas, o desenvolvimento de estudos em relação à sua composição química tem sido uma realidade, levando assim há optimização das suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, com conseqüente melhoria das suas propriedades biológicas e levando a uma maior biocompatibilidade em diversos contextos clínicos (1) .

Actualmente, a maior parte dos cimentos ósseos comercializados classificados como polimeros, quimicamente são baseados no monômero de metilmetacrilato (67). As propriedades químicas do MMA levam a que este seja um monómero de eleição amplamente utilizada em diversas especialidades da área da medicina (29) (52). Para além do cimento ósseo acrílico que é utilizado em diversas situações como artroplastias, vertebroplastias, entre outras, é usado também em especialidades como odontologia, oftalmologia, cirurgia vascular e cirurgia plástica, nas suas diferentes apresentações (29) (52).

No entanto, apesar de todos os benefícios inerentes à sua vasta aplicação, a sua utilização exige o conhecimento e o cumprimento de determinadas normas de manuseamento e aplicação, mais especificamente métodos de preparação e aplicação (29) (90).

O uso de cimentos ósseos com base em MMA tem sido considerado um potencial risco para os profissionais de saúde. Este risco tem como fundamentação a sua utilização frequente, e o não cumprimento das normas anteriormente mencionadas, o que leva a

---

que esta área seja alvo de diversos estudos de investigação (90). Apesar do desenvolvimento dos métodos de preparação e aplicação, mais concretamente em termos de preparação, para além dos métodos de mistura manual surgiram os sistemas de vácuo, e em termos de aplicação apareceram sistemas próprios adequados a cada situação clínica em substituição da aplicação manual. Esta evolução permitiu não só melhorar as propriedades do cimento ósseo acrílico mas também reduzir o risco de exposição ocupacional, minimizando a libertação dos vapores de MMA (93).

No entanto, a realidade da actual prática de utilização do cimento ósseo acrílico revela que os métodos considerados mais tradicionais se mantêm como sendo de eleição em termos de prática profissional, aumentando assim o risco de exposição ocupacional, tornando-se assim uma área de interesse.

Este interesse é baseado e fundamentado em relatos de diversas reacções e alterações fisiológicas em indivíduos expostos ao MMA quer por curtos períodos, durante a preparação do cimento ósseo acrílico (mistura manual sem utilização de qualquer sistema de mistura), estando nestas situações descritas reacções como cefaleias, letargia, aperto torácico, dispneia, tosse, asma e em algumas situações percentagens reduzidas da função respiratória (29) (90), quer em indivíduos com exposição prolongado ou seja exposição ocupacional (8).

Com base em diversos estudos efectuados quer em animais quer em humanos a Agency for Research on Câncer (IARC) refere não existir ainda suporte de informação para afirmar a existência de potencial efeito carcinogénico, no entanto a exposição ao MMA continua a ser alvo de diversos estudos, com o objectivo de avaliar a toxicidade e a possível carcinogenicidade relacionada à exposição ao MMA, quer em relação aos utentes quer em contexto ocupacional (89) (90).

Este estudo pretende analisar o risco de exposição ocupacional de um grupo profissional de saúde – enfermeiros instrumentistas – que utilizam o cimento ósseo acrílico diariamente, através da aplicação de um questionário de forma a aferir quais as técnicas de preparação e aplicação mais utilizadas, bem como o tempo de exposição ao mesmo, através do nº de cirurgias em que participam, o nº de embalagens que utilizam, tempo de exposição e possíveis manifestações clínicas associados ao seu manuseamento

---

Assim este estudo foi dividido em duas partes. Na primeira parte pretende-se contextualizar o histórico deste composto, a sua composição, diferentes formas de preparação, propriedades bem como o risco de exposição ocupacional inerentes a sua utilização, abordando as normas existentes relacionadas com o seu manuseamento.

Numa segunda parte, e de modo a conhecer a realidade de instituições hospitalares no Norte do país, apresenta-se a investigação realizada, a caracterização da amostra, a metodologia utilizada, apresentação dos dados, analisando-os pormenorizadamente de forma a reflectir sobre os mesmos e extrair conclusões.

---

## ***2 – HISTÓRIA DO CIMENTO ÓSSEO ACRÍLICO***

O cimento ósseo acrílico é um composto acrílico auto polimerizável que resulta da mistura de um monómero e um polímero que tem como base a substância química metilmetacrilato (37)

O metilmetacrilato é um radical do ácido metacrílico, conhecido desde 1902, em consequência das pesquisas na área dos produtos de polimerização do ácido acrílico desenvolvidas pelo químico Otto Rohm (67), em Tubigen, na Alemanha.

Baseado nos resultados da sua pesquisa Otto Rohm, fundou mais tarde a companhia Rohm e Haas, a qual estudou em laboratório o comportamento químico dos acrílicos (49) (67).

Com o desenvolvimento das pesquisas, por volta de 1928 a síntese química do metilmetacrilato foi estabelecida, conduzindo assim à sua primeira aplicação – fabricação de dentaduras (49) (67)

Desde então os investigadores ocuparam-se intensivamente com questões de onde e como usar as novas substâncias (descobertas ao longo das pesquisas), bem como desenvolver possíveis modificações que conduziriam a futuras aplicações.

Em meados dos anos 30 a companhia Kulzer descobriu que podia ocorrer a formação de uma massa através da mistura do polimetilmetacrilato em pó e um monómero líquido que endurecesse quando o peróxido de benzoílo (BPO) fosse adicionado á mistura aquecida a uma temperatura de 100°C em um molde de pedra (49).

O primeiro uso clínico destas misturas foi realizado em macacos como tentativa de fechar defeitos cranianos em macacos em 1938 (49), criando assim uma grande expectativa em relação ao uso clínico no ser humano.

Quando os químicos descobriram que a polimerização de MMA ocorreria por si própria em temperatura ambiente se um co-iniciador fosse adicionado, as companhias Degussa e Kulzer (49), usando aminas aromáticas terciárias, estabeleceram em 1943 um protocolo para a produção química de cimentos ósseos de PMMA, sendo este processo válido até hoje. Estes estudos devem ser considerados como o nascimento do cimento ósseo de PMMA (67).



---

As vantajosas propriedades de manipulação das misturas do polímero de MMA remaneceram o objecto de muitos projectos de pesquisa, isto porque os cimentos no mercado diferem consideravelmente neste respeito, mesmo que suas bases químicas sejam idênticas (49).

Em 1951, Kaier e Jansen em Copenhaga foram os primeiros a utilizar o material (PMMA) como escora, para a fixação de cápsulas de vidro acrílico na cabeça femoral, após remoção da cartilagem (67).

Dois anos mais tarde, 1953, Haboush utilizou o cimento ósseo como base de apoio na substituição da cabeça femoral sem ser introduzido no canal medular (49).

No entanto a aceitação da sua utilização em aplicações biomédicas, obedeceu a pré-requisitos essenciais nomeadamente testes de biocompatibilidade, realizados por Hullinger (67).

Em 1958, Sir John Charnley, foi o pioneiro na introdução do cimento ósseo acrílico na cirurgia ortopédica, fixando com sucesso os componentes femoral e acetabular na artroplastia total da anca (49) (67). Este cimento designava-se Nu-Life, obtido na Universidade Dentária de Manchester (49)

Nos anos 60 Buchholze e a companhia Kulzer, baseados no conhecimento do processo da difusão do monómero residual, foram os primeiros a adicionar um antibiótico nos cimentos ósseos acrílicos, nomeadamente a gentamicina e a rifocina (49).

Após vários estudos de pesquisa, que comprovaram a biocompatibilidade, o interesse clínico no material á base de metilmetacrilato cresceu substancialmente (49).

Em 1971 o FDA (Food and Drug Administration) aprovou o uso clínico de alguns cimentos ósseos (31).

Com finalidade de criar uma base uniforme para desenvolver e testar os cimentos ósseos de polimetilmetacrilato iniciou-se em 1976 nos Estados Unidos o desenvolvimento de um padrão de produção. Em 1978 a American Society for Testing and Materials (ASTM) publicou a norma F-451-76 – Standard Specifications for Acrylic Bone Cements. Nesta base em 1979 foi desenvolvido o protocolo ISO 5833/1. Hoje todos os cimentos ósseos devem obedecer á norma ISO 5833/2 de 2002 (67).

---

Em conformidade com a definição da norma ISO a FDA (Food, Droug and Administration) classifica o cimento ósseo acrilico como um dispositivo de Classe II (controlo especial), elaborando também um documento que funciona como guia de controlo especial de utilização onde define: a descrição do produto, às áreas de aplicação médica previstas, descrição dos requisitos de concepção do mesmo, *guidelines* de apresentação, de técnica de preparação e aplicação, biocompatibilidade e riscos para a saúde humana inerentes à sua utilização (31).

---

### **3 – CIMENTO ÓSSEO ACRÍLICO**

O cimento ósseo é composto por duas fracções: um polímero - pó e um monómero - líquido, unidos por um processo de reacção química denominada polimerização e tendo quimicamente como substância de base em ambos os componentes o metilmetacrilato (67).

Actualmente todos os cimentos ósseos são baseados quimicamente na mesma substância o metilmetacrilato (7).

Em termos químicos, o processamento do cimento ósseo acrílico resulta de um processo por radicais livres de polimerização, obtido através da mistura de esferas de Polimetilmetacrilato/Metilmetacrilato, associados a outro tipo de compostos (49).

Esta apresentação obedece aos requisitos impostos pela American Society for Testing and Materials (ASTM) que publicou a norma F-451-76 – Standard Specifications for Acrylic Bone Cements (31). Nesta base em 1979 foi desenvolvido o protocolo ISO 5833/1, sendo que actualmente todos os cimentos ósseos devem obedecer á norma ISO 5833/2 (2002) (já referido anteriormente). Esta norma define determinados requisitos em relação aos compostos, e em relação às suas propriedades, nomeadamente as características de mistura e propriedades físicas, aos quais os cimentos ósseos acrílicos actualmente comercializados têm que obedecer (31).

A *figura I* mostra uma ampola contendo a fracção líquida e a fracção em pó de cimento ósseo comercial



***Figura I – Cimento Ósseo na sua forma comercial***

**Fonte:** [www.biomet.pt/pt-medical/pt-cement/pt-bonecement](http://www.biomet.pt/pt-medical/pt-cement/pt-bonecement)

---

### 3. 1. - COMPOSIÇÃO

A composição do cimento ósseo acrílico pode variar, em relação ao peso molecular, quantidades relativas de MMA copolímero, PMMA homopolímero e em relação a algum composto específico adequado para os diferentes requisitos clínicos e técnicas cirúrgicas (1) (7) (41) (67), mas de uma forma geral o cimento ósseo acrílico é composto pelas substâncias apresentadas na **Tabela I**.

<b>MONÔMERO</b> <i>(Líquido)</i>	<b>POLÍMERO</b> <i>(Pó)</i>
<b>Metilmetacrilato (MMA)</b>  <b>Acelerador - N,N-Dimetil p-toluidina (DMPT)</b>  <b>Estabilizador - Hidroquinona ou o ácido áscorbico</b>  <b>Clorofila</b>	<b>Polimetilmetacrilato/copolímeros (PMMA)</b>  <b>Iniciador - Peróxido de benzoílo(BPO)</b>  <b>Rádio-densidade :</b>  <b>Dióxido de Zircônio (ZrO<sub>2</sub>)</b>  <b>Sulfato de Bário (BaSO<sub>4</sub>)</b>  <b>Antibióticos</b>

**Tabela I – Composição do Cimento Ósseo Acrílico**

De uma forma geral em termos de composição o componente líquido (monómero) apresenta na sua constituição (41) (49) (67):

- ✚ **Metilmetacrilato** - como monómero de base (~98%),
- ✚ **Ácido metacrílico** - como co-monómero;
- ✚ **N, N-Dimetil p-toluidina (DMPT)** - denominado acelerador para promover a polimerização;

- 
- ✚ **Hidroquinona ou o ácido áscorbico** - utilizados como estabilizadores para impedir a polimerização prematura que pode ocorrer em determinadas condições tais como o calor ou luz;
  - ✚ **Clorofila** - este aditivo tem como objectivo melhorar a diferenciação entre o osso e o cimento, no entanto não está presente em todos os cimentos que actualmente são comercializados;

O componente com a apresentação em pó (polímero) é composto (41) (49) (67):

- ✚ **Homopolímero PMMA e/ou copolímeros do metilmetacrilato**
- ✚ **Peróxido de benzoílo (BPO)** - denominado de iniciador (em relação ao processo de polimerização), pois este inicia a polimerização quando os componentes em pó e líquido são misturados, pode também denominar-se de activador do processo de polimerização.
- ✚ **Dióxido de Zircónio ( $ZrO_2$ ), ou sulfato de Bário ( $BaSO_4$ )** - para fornecer rádio – densidade - em concentrações de 10 a 15 ~% aproximadamente (82). No entanto em algumas situações clínicas em que é utilizado o  $BaSO_4$  (como por exemplo nas vertebroplastias) a concentração de  $BaSO_4$  é mais elevada > 15 % (82). Saliente-se que tanto o  $ZrO_2$  como  $BaSO_4$  faz parte em termos químicos da matriz do polímero. Estudos realizados em animais referem que o  $BaSO_4$  leva a um maior número de alterações osteolíticas do que o  $ZrO_2$  (82).
- ✚ **Antibiótico** - é opcional de acordo com as diferentes apresentações comerciais. Na maioria dos casos gentamicina ou vancomicina, são os compostos de eleição (67). Buschholz e Engelbrecht foram os primeiros a adicionar um antibiótico (67) no cimento ósseo acrílico de forma a promover uma profilaxia antibacteriana. A maior libertação dos antibióticos ocorre nas primeiras 24 horas após aplicação do cimento (7) (49). Os antibióticos são adicionados ao componente em pó, pois estudos realizados demonstram que a adição de antibióticos na apresentação líquida leva a uma diminuição da resistência mecânica devido à interferência com as primeiras fases da polimerização do monómero MMA (12) (67).

---

A justificação para a utilização destes dois componentes (pó e líquido) prende-se com a demora da polimerização do monómero de MMA, se este for utilizado isoladamente (7) (67). Este processo seria muito lento, podendo levar horas, dependendo do tipo e da quantidade de iniciador de reacção utilizado, não tendo assim viabilidade em termos de prática de aplicação e de acordo com as situações que o cimento ósseo é utilizado (7) (92).

Para além disso o monómero de metilmetacrilato apresenta uma viscosidade muito baixa, o que poderia levar a uma possível absorção mais rápida do MMA e conseqüentemente entrar mais facilmente no sistema sanguíneo, o que pode levar a diversas complicações sistémicas nomeadamente cardiorespiratórias (7) (67).

A composição química dos cimentos ósseos tem sido alvo de diversos estudos de forma a melhorar as propriedades bem como a sua biocompatibilidade. (52).

### **3.2. – POLIMERIZAÇÃO**

A mistura dos dois componentes (polímero e monómero) inicia um processo de polimerização que consiste numa reacção exotérmica que liberta uma grande quantidade de calor. Este processo realiza-se de forma progressiva (33) (67).

Este processo que passa por três fases distintas, transforma o líquido espesso inicial, num material deformável macio e finalmente em cimento, que endurece rapidamente em associação com um aumento de temperatura. Este aumento é condicionado pela quantidade de monómero que reage neste processo e da composição química dos componentes do cimento (7) (49).

O processo de polimerização altera o volume do cimento, pois encolhe no início, expande durante a fase de libertação de calor, e encolhe novamente quando arrefece. Em teoria, o monómero perde 20% do seu volume, mas dado que o cimento é composto de aproximadamente um terço de líquido e dois terços de pó, a perda de volume é aproximadamente 8% (49).

As fases do processo de polimerização são três como já foi referido e denominam-se: fase de iniciação, fase de propagação e fase de terminação (7) (49) (67).

---

## **1ª FASE - FASE DE INICIAÇÃO**

Este processo inicia-se a temperatura ambiente ( $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ ), sendo que a polimerização do monómero de metilmetacrilato somente pode ser iniciada na presença de radicais livres. A produção destes ocorre numa fase denominada de iniciação - **fase de iniciação** - onde o monómero de metilmetacrilato, envolve o pré polimerizado de PMMA, que por sua vez se dissolve no mesmo, como consequência da decomposição do iniciador BPO, na presença do acelerador DMPT, que se encontra incorporado na fase líquida (67).

Por esta razão, este tipo de polimerização é denominado «polimerização por radicais livres» (7), (o cimento ósseo não pode ser produzido exclusivamente a partir do monómero de metilmetacrilato, pois o processo de polimerização iria ser extremamente lento).

Nesta etapa, que pode demorar entre 1 a 2 minutos, o cimento apresenta-se sob uma forma viscosa denominada pré-massa (massa homogénea e de agitação fácil) (49) (67).

## **2ª FASE - FASE DE PROPAGAÇÃO**

**A fase de propagação** caracteriza-se pela formação do polímero, resultante da propagação das unidades de MMA, conduzindo assim a um aumento de viscosidade e consistência do cimento (67), associada há reacção exotérmica (já referenciada) resultante do processo de polimerização, que gera um aumento de calor, libertando uma grande quantidade de calor  $57\text{Kj}$  ( $13,8\text{ Kcal}$ ) por mol de MMA (49), levando a atingir temperaturas entre  $70$  a  $110^{\circ}\text{c}$  (dependendo da composição) (25) (52) dentro do organismo. Estas temperaturas são prejudiciais para as células que estão em contacto com o cimento, pois levam á sua necrose térmica, deficiente circulação local do sangue, predisposição à formação de uma deficiente circulação local do sangue, predisposição de uma membrana na interface cimento-osso e conseqüentemente a laxação da prótese no caso das artroplastias (25) (26).

No entanto este aumento de temperatura é utilizado para benefício clínico em situações de remoção de tumores da cavidade óssea, pois leva à destruição de células neoplásicas (67).

Este aumento de temperatura, é apenas observado num período curto de tempo, sendo esta condicionada pela quantidade de monómero de metilmetacrilato e da

---

composição/quantidade química dos componentes do cimento e pela temperatura ambiente (7).

Esta 2ª etapa, pode demorar entre 3 a 7 minutos, existe um tempo após a mistura denominada «dough time» em que existe o aumento progressivo da viscosidade, de forma a não existir aderência às luvas (7) (67).

É imperativo que neste «timing» o cimento seja colocado na cavidade, porque a sua maleabilidade vai decrescendo, impedindo o correcto e esperado interface cimento/osso. Saliente-se também a importância da vigilância da viscosidade do cimento durante esta fase, principalmente quando se utilizam cimentos de baixa viscosidade, pois pode não suportar a pressão do sangramento do osso, levando assim a um enfraquecimento das características do próprio cimento para além do risco de poder facilmente difundir-se no sistema sanguíneo o que pode levar a diversas complicações sistémicas (já descritas no capítulo anterior) (7) (49).

### **3º FASE - FASE DE TERMINAÇÃO**

O processo de polimerização cessa na **3ª fase – fase de terminação**, antes de todo o monómero polarizar. Isto pode ocorrer por diferentes modos, ou por combinação ou por desproporção dos radicais livres. Nesta fase o cimento apresenta um encolhimento volumétrico acompanhado de uma diminuição da temperatura (denominada também fase de endurecimento e que pode demorar entre 8 a 14 minutos) (67).

No entanto é muito difícil prever o período de endurecimento com exactidão devido a alguns factores nomeadamente, a temperatura ambiente, humidade, composição química do cimento, bem como com os métodos e técnicas de mistura (67).

### **3.3. - VISCOSIDADE**

A viscosidade é definida como a resistência dinâmica de um fluído sob determinadas forças num determinado período de tempo (67).

Para um dado cimento, a viscosidade dinâmica da massa, durante o período de polimerização, tem sido utilizada para diferenciar os diferentes cimentos de acordo com



---

a sua viscosidade (37), classificando-os em cimentos de baixa, média e alta viscosidade. Este desenvolvimento de viscosidade é um parâmetro extremamente importante pois determina a altura do seu manuseamento de acordo o contexto clínico (66).

A mistura dos dois componentes leva a ocorrência de um conjunto de acontecimentos que caracterizam as diferentes etapas relacionadas com a viscosidade do cimento ao longo do processo de polimerização (42) (87).

Numa primeira etapa com a mistura dos dois componentes obtêm-se uma pré massa de características homogêneas, a qual, com o decorrer do processo de polimerização se vai transformando, como já foi referido anteriormente. Esta sequência de transformações caracteriza o cimento em relação á sua viscosidade baixa, média e alta (49) (87).

Em termos práticos distinguir cimentos de baixa e alta viscosidade nem sempre é fácil, pois os cimentos classificados de elevada viscosidade passam por uma fase de baixa viscosidade, e os cimentos de baixa viscosidade gradualmente atingem viscosidade elevada (37), ou seja os cimentos de baixa viscosidade apresentam um aumento de viscosidade mais exponencial, enquanto os cimentos de alta viscosidade, apresentam um aumento de viscosidade mais linear (67).

Desta forma o que marca a diferença, entre os diferentes tipos de viscosidade, são os tempos de propagação, aplicação e pressurização do cimento que marcam a diferença (55). Estas diferenças na viscosidade são condicionadas por diversos factores nomeadamente (49) (67):

**Temperatura ambiente e humidade relativa do ar** - ambientes com temperaturas elevadas e húmidos levam a uma diminuição do tempo de trabalho, o que pode influenciar o manuseamento do cimento. O aumento da temperatura em 1°C pode acelerar a fase de endurecimento até um minuto.

**Fórmula química** - mais especificamente concentrações relativas do monómero de MMA (o aumento da concentração monómero é aumentada na tentativa de diminuir a viscosidade do cimento e aumentar assim o seu tempo de manuseamento), quantidade de substância activadora, presença de agentes radiopacos e peso molecular.

**Técnica de mistura** - mistura manual, vácuo, agitação ultrasónica, sistema misto e centrifugação.

---

**Condições de armazenamento** – O armazenamento do cimento ósseo acrílico num ambiente húmido por período prolongado têm efeitos similares ao aumento da temperatura ambiente, podendo a composição química sofrer alterações.

É importante que o cimento apresente uma viscosidade adequada á situação clínica, daí actualmente serem comercializados os cimentos de baixa, média e alta viscosidade de forma a responderem aos diferentes requisitos clínicos e diferentes técnicas cirúrgicas.

### **3.4. - PESO MOLECULAR/MÉTODOS DE ESTERILIZAÇÃO**

A expansão térmica e o encolhimento volumétrico em termos químicos é de esperar, atendendo às diferenças de densidade entre a densidade do Monómero e do Polímero, normalmente é esperado um encolhimento volumétrico na ordem dos 7% aproximadamente, em algumas situações abaixo ligeiramente devido à perda volátil do monómero e logicamente à incompleta polimerização (7). Além disso a expansão térmica do cimento é esperada devido ao calor resultante do processo de polimerização, que conseqüentemente é seguida de uma fase de arrefecimento que leva a um encolhimento volumétrico (já descrito anteriormente), que pode induzir stress residual e fissuras no cimento (54). Este encolhimento também está relacionado com a porosidade total presente no cimento (71), que para além da sua percentagem estar condicionado pela composição e técnica de preparação do cimento, o método de esterilização utilizado também leva a uma diferença do peso molecular da fracção em pó (a fracção líquida de todos os cimentos é esterilizada utilizando o mesmo método de esterilização – microfiltração por membrana ou ultrafiltração (37) (70). São exemplos dos diferentes métodos utilizados para esterilizar a fracção em pó: radiação  $\gamma$ , tratamento com gás de oxido de etileno e radiação  $\beta$ . Em vários estudos publicados podemos observar que o peso molecular da fracção em pó esterilizada com radiação  $\gamma$  é significativamente menor do que a fracção esterilizada em gás de óxido de etileno (37).

---

### 3.5. – MÉTODOS DE MISTURA

O método de mistura utilizado na preparação do cimento ósseo acrílico influencia as suas propriedades físicas nomeadamente pela percentagem de porosidade que apresenta nas diferentes técnicas de mistura (59).

Tradicionalmente, e desde o início da sua utilização, é preparado através de uma mistura manual dos dois componentes em sistema aberto. Com base em estudos realizados, na década de 80, novos sistemas de mistura foram desenvolvidos de forma a maximizar as propriedades e a resistência do cimento ósseo tornando-o mais homogêneo e com menor grau de porosidade, minimizando também a exposição aos vapores do metilmetacrilato reduzindo assim o seu potencial de toxicidade (24) (85) (86).

As propriedades e a estabilidade dos cimentos ósseos são afectadas pela entrada de ar no manto do cimento, desta forma todos os sistemas de mistura foram desenvolvidos, de forma a minimizar a porosidade do cimento ósseo (84) que é ocasionada pela inclusão de ar nos espaços entre as cadeias dos polímeros, envolvendo uma série de mecanismos que podem ou não estar associados, nomeadamente (49) (67):

- ❖ Entrada de ar durante o método de mistura e a sua transferência para o sistema de aplicação
- ❖ Presença de ar nos espaços entre as cadeias dos polímeros
- ❖ Criação de bolhas, em consequência da evaporação ou ebulição do monómero
- ❖ Expansão térmica das próprias bolhas de ar
- ❖ Presença de cavitação das bolhas de ar

A porosidade pode ser mensurada como um percentual de volume ou como um percentual de área de secção transversal ocupada pelas bolhas de ar- Matematicamente descreve a relação do volume-contínuo ao volume total de todo o composto (7) (49).

A porosidade total deve ser menor que 5%. Um sistema adequado de mistura resulta numa significativa redução do número e volume dos poros, tendo com consequência uma considerável melhoria das propriedades do cimento ósseo acrílico (7).

Os métodos de mistura são classificados em: manual, sistema de vácuo, centrifugação, agitação ultrasónica, sistema misto sendo possível a combinação mecânica de misturas.

---

Recentemente foi desenvolvido um sistema misto (preparação mais aplicação) que também funciona com vácuo.

### **3.5.1. - MISTURA MANUAL**

Tal como o nome indica neste tipo de mistura os dois componentes são misturados num recipiente (cuvete) utilizando uma espátula de propileno ou uma colher de aço inoxidável, a uma velocidade de 1 a 2 Hz, durante um intervalo de tempo que varia entre 45 a 120 segundos (4) (67).

Este tipo de mistura nas condições atmosféricas permite a entrada de ar nas cadeias dos polímeros e a sua viscosidade natural permite que apenas as grandes bolhas de ar formadas migrem para a superfície, deixando um número considerável de bolhas menor que um 1mm (4) (67).

Os valores de porosidade utilizando este tipo de técnica de mistura descrito na literatura variam entre 5% a 6% segundo Morrey (1996) (67) e 9% a 27% para Canale (1998) (67), não esquecendo que neste tipo de mistura existe a libertação total dos vapores de metilmetacrilato visto ser um sistema aberto, aumentando assim o risco de exposição ocupacional (37) (59) (89).

Esta técnica de mistura representa uma grande realidade da prática clínica das unidades hospitalares do nosso país.



***Fig II – Sistema de Mistura Manual***

**Fonte:** <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-08012003-144237/pt-br.php>.

---

### **3.5.2. - MISTURA POR VÁCUO**

Neste tipo de mistura o componente em pó é normalmente adicionado ao componente líquido, o vácuo é aplicado em pressões que variam de 5 a 100 kPa com uma frequência de 1 ou 2 Hz, por um intervalo de tempo que varia entre 15 a 150 segundos. A utilização de pressão atmosférica entre 400 a 730 mmHg, reduz significativamente a porosidade de 5% a 10% para 1% (93). Essa redução da porosidade é resultado da eliminação das macros e micro porosidades sendo efectiva para todos os tipos de cimento ósseo. O nível de vácuo recomendado varia entre 500 – 550 mmHg sob a pressão atmosférica (4) (67).

A literatura existente confirma que a mistura por vácuo potencia as propriedades e resistência do cimento pois reduz a porosidade final da massa do mesmo aumentando também a sua integridade mecânica, promovendo também uma melhor difusão do monómero de MMA (59) (93).

Além da optimização das propriedades pela redução da porosidade, este tipo de sistema reduz significativamente a libertação de vapores de metilmetacrilato, ao contrário do método manual (85) (90).

Actualmente são comercializados diversos sistemas de mistura através de vácuo diferindo entre eles pela sua estrutura e forma de funcionamento.



***Fig III – Sistema de Mistura por Vácuo***

***Fonte:*** [www.biomet.pt/pt-medical/pt-cement/pt-bonecement](http://www.biomet.pt/pt-medical/pt-cement/pt-bonecement)

---

### **3.5.3. - MISTURA POR CENTRIFUGAÇÃO**

Neste tipo de mistura os dois componentes são previamente adicionados manualmente, sendo colocados de imediato em uma seringa e levados a uma centrifugadora a 2300-4000 rpm, pelo tempo de 30 a 180 segundos (4) (67). Este sistema tal como sistema manual também não apresenta qualquer tipo de restrição à libertação dos vapores de metilmetacrilato, em virtude de ser também um sistema aberto.

Este método de mistura foi introduzido nos anos 80 com o objectivo de otimizar as propriedades do cimento ósseo acrílico, no entanto, a literatura faz referência que este tipo de técnica não obtém bons resultados em cimentos de alta viscosidade pondo em causa a sua homogeneidade (4) (18) (67).

### **3.5.4. - MISTURA POR AGITAÇÃO ULTRASÓNICA**

A agitação ultra sónica, é um outro método de mistura no qual os dois compostos são misturados numa cuvete sendo posteriormente colocado num prato vibratório (50 vibrações /segundo), enquanto é misturado manualmente com uma espátula (4) (67). A referência existente na literatura relacionada com este sistema de mistura é praticamente inexistente. É um sistema aberto e tal como o manual e o de centrifugação não apresentam qualquer tipo de restrição á libertação de vapores durante o processo de polimerização.

### **3.5.5. - MISTURA E APLICAÇÃO EM SIMULTÂNEO (SISTEMA MISTO)**

O sistema o qual podemos denominar de misto permite a mistura e aplicação utilizando o mesmo sistema, é recente, daí ainda não fazer parte do quotidiano das unidades hospitalares com grande frequência.

Neste tipo de sistema de preparação, que em termos do processo de mistura podemos dizer que é um sistema fechado, pois quer o monómero quer o polímero já estão acondicionados no sistema, o qual se misturam através da utilização de vácuo (86) (93). A diferença principal deste sistema em relação ao sistema de mistura por vácuo, é os compostos já se encontrarem introduzidos em embalagens que fazem parte do sistema, conforme nos mostra a figura IV não existindo assim necessidade da abertura dos respectivos invólucros, reduzindo assim a libertação dos vapores de metilmetacrilato.

---

Após o término da fase de mistura este sistema permite a conexão directa ao sistema de aplicação sem que haja manipulação directa do composto (86) (93).



*Fig. I V – Sistema Misto de cimentação*

*Fonte:* [www.biomet.pt/pt-medical/pt-cement/pt-bonecement](http://www.biomet.pt/pt-medical/pt-cement/pt-bonecement)

### **3.6. - PROPRIEDADES MECÂNICAS**

As propriedades mecânicas definem o comportamento de um material quando sujeito aos esforços de natureza mecânica, e correspondem às propriedades de num material específico determinam a sua capacidade de transmitir e resistir aos esforços que lhe são aplicados até á sua falha (7) (9) (49).

Embora todos os cimentos ósseos comerciais sejam constituídos essencialmente por um homopolímero de PMMA com um monómero de MMA a sua fórmula química pode diferir, como já foi referindo anteriormente, adequando-se assim aos diferentes requisitos clínicos e técnicas cirúrgicas, o que resulta em cimentos com diferentes propriedades e comportamento (95).

---

As propriedades mecânicas têm sido estudadas com grande pormenor, tendo em conta as diferentes aplicações médicas e conseqüentemente terem objectivos diferentes. Estas são influenciadas por diversos factores, não sendo fácil descrever todas as características mecânicas existentes nas diferentes apresentações existentes no mercado (37).

Alguns dos factores que influenciam as propriedades mecânicas dos cimentos ósseos acrílicos são: composição do cimento, peso molecular, porosidade, tipo de esterilização dos constituintes e métodos de mistura (1) (24) (37).

A norma ISO 5833 e a FDA definem um conjunto de requisitos as quais os cimentos actuais comercializados têm que cumprir obedecendo a um conjunto de testes pré-clínicos que definem as suas propriedades obrigatórias nos diferentes contextos em que este é utilizado, num contexto dito padrão (31). Estes testes têm como objectivo determinar a sua resistência, quer através de testes estáticos ou dinâmicos (44) (67) (88). Pretende-se avaliar propriedades como: tensão, compressão, flexão e impacto e fadiga.

As propriedades de tensão, compressão e flexão, avaliam-se através da realização de testes estáticos de acordo com normas universais, podendo ser realizados em diferentes tempos após o processo de polimerização (44) (67), realizando-se este tipo de ensaios até sete dias depois da preparação do cimento (44) (67). Por exemplo os estudos de compressão consistem normalmente na aplicação de uma carga axial num cilindro do material testado. A carga aplicada resulta na «tensão» dentro do produto testado e da eventual falha do material na compressão (44) (67). A carga em que o cimento ósseo acrílico falha na compressão é a força final da compressão medida em Mpa que de acordo com as normas deve-se situar em 93Mpa (44) (67).

A determinação da força de flexão final, ou a tensão de flexão final do cimento ósseo acrílico, também pode ser executada, sujeitando o mesmo à aplicação de carga até á sua falha (44) (67). A relação entre qualquer tensão e a deformação dentro do material pode ser representada pela inclinação dentro da parcela linear da curva de tensão - deformação sendo denominada de módulo de elasticidade (44) (67).

Nos testes dinâmicos realizam-se provas (testes de carga e tempo) que permitem determinar a força de fadiga. Esta força de fadiga normalmente é determinada com a realização de um teste, num contexto simulado com aplicações de forças (cargas)



---

cíclicas durante um determinado período de tempo. O número de ciclos aplicados num determinado tempo permite-nos avaliar a força de fadiga do cimento ósseo acrílico (44) (67).

### **3.7 - TÉCNICAS DE CIMENTAÇÃO**

Com a evolução dos tempos, e em consequência dos diversos estudos realizados nesta área temática, bem como com a evolução dos sistemas de preparação, as técnicas de cimentação evoluíram de forma a otimizar as propriedades do cimento acrílico nas suas diferentes aplicações e contextos clínico. Esta evolução caracterizou-se por mudanças significativas em todo o processo de utilização do cimento ósseo acrílico, desde a sua preparação, às condições necessárias para a sua aplicação, nomeadamente a pressurização do cimento. Este tipo de procedimento que consiste na preparação do osso antes da aplicação do cimento otimiza as propriedades do cimento uma vez que promove o interface de fixação entre o cimento e o osso, pois otimiza a penetração do mesmo melhorando assim a distribuição de forças (37), (93).

Em relação a este processo de evolução das técnicas de cimentação a literatura referencia três gerações (37) (67). Na primeira geração as técnicas de cimentações não preconizavam a pressurização antes da aplicação do cimento, o qual era misturado e aplicado manualmente. Este tipo de procedimento leva à existência de um potencial para a laminação do cimento, inclusão de sangue e ar no cimento, o que potencia uma alteração nas propriedades esperadas para o cimento, limitando assim o resultado esperado (4) (67). No entanto não obstante das limitações desta técnica o índice de sobrevivência nas cirurgias utilizando esta técnica é bastante positivo.

Em 1972 aparecem os cimentos denominados de segunda geração, que se caracterizam por apresentar uma viscosidade mais baixa, cuja mistura é realizada manualmente mas a sua aplicação deve ser feita com pistola. Esta segunda geração preconiza também a lavagem do osso antes da aplicação do cimento, associado à utilização de alguns novos dispositivos, mais especificamente nas artroplastias da anca com a utilização de tampões de canal medular (67) (93).

As técnicas de cimentação de terceira geração para além de introduzir o contexto de pressurização pulsada, definem que a preparação do cimento, ou seja o processo de mistura, deve ser feita pelo sistema de vácuo. Esta técnica foi aperfeiçoada pela de

---

desenvolvimento de centralizadores nas artroplastias. Desta forma, segundo a literatura, este conjunto de procedimentos otimiza as propriedades do cimento, assim a técnica denominada de terceira geração é considerada a contemporânea.

---

#### ***4 – EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL***

O cimento ósseo acrílico tem como substância base o Metilmetacrilato é um monómero amplamente usado na indústria e na medicina. No início dos anos 60 na Inglaterra, e nos anos 70, nos Estados Unidos começou a ser amplamente usado em humanos (52) (89). É, essencialmente, usado como intermediário para o processamento de polímeros.

A toxicidade deste monómero tem sido temática de diversos estudos, quer em relação aos utentes quer em relação aos profissionais que o manuseiam (89).

Avaliar a toxicidade e a possível carcinogenicidade relacionados à exposição crónica ao MMA têm sido áreas de investigação de diversos estudos realizados ao longo dos últimos anos (89) (90).

Pela utilização em grande escala deste composto o risco de exposição ocupacional relacionado com a exposição aos vapores de metilmetacrilato, é uma constatação na prática diária dos profissionais de saúde que o utilizam com regularidade no seu quotidiano profissional. Desta forma actualmente existe legislação que define limites em relação ao tempo de exposição bem como valores máximos de concentração.

##### ***4.1. – RISCO DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL***

A exposição ocupacional ao MMA tem gerado constante interesse e preocupação, baseado na ampla utilização deste monómero, e nas conclusões dos estudos realizados neste âmbito quer em humanos quer em animais que relatam diversas lesões e alterações fisiológicas relacionadas com o MMA, daí a fundamentação para a existência de risco de exposição ocupacional (52) (89).

Este interesse já remonta a 1941 quando Deichmann começou a estudar os efeitos dos ésteres do ácido metacrílico, entre eles o metilmetacrilato, em ratos, coelhos, usando altas doses por várias vias de administração (oral, inalatória e cutânea) (29) (73) (91).

A informação existente na vasta literatura relativa à exposição ao MMA, sustenta o risco ocupacional existente, apesar que o odor característico e o baixo limiar de odor do MMA tendem a ajudar os indivíduos expostos a evitar riscos mais significativos (52).

---

Este interesse é baseado e fundamentado em relatos de diversas reacções e alterações fisiológicas em indivíduos expostos ao MMA quer por curtos períodos, durante a polimerização do monómero, ou seja na preparação do cimento ósseo acrílico, utilizando como técnica a mistura manual já descrito no capítulo anterior, estando nestas situações descritas reacções como cefaleias, letargia, aperto torácico, dispneia, tosse, asma e em algumas situações percentagens reduzidas da função respiratória e dermatites (29) (91), quer em indivíduos com exposição prolongado ou seja procedimento frequente na sua prática profissional.

Actualmente e de acordo com os estudos efectuados até á data, a agência internacional de pesquisa de cancro (IARC), refere que os dados que suportam as evidências de carcinogenicidade em humanos e animais, ainda são inadequadas, existindo uma necessidade de esclarecimento de alguns aspectos do metabolismo do MMA principalmente a nível hepático e o seu possível efeito carcinogénico (29) (90).

#### **4.1.1 - TOXICIDADE DO METILMETACRILATO**

O Metilmetacrilato (MMA) compreende em termos químicos a seguinte fórmula  $C_5H_8O_2$ , registado no CAS (Chemical Abstract Service) com nº 80-62-6, sendo comercialmente o éster do ácido metacrílico mais importante em virtude da sua ampla e frequente utilização em consequência das suas propriedades (29) (91).

Este monómero apresenta-se como um líquido inflamável incolor, com um forte odor ácido, relativamente volátil, com um ponto de ebulição 100-101°C É facilmente polimerizável à exposição de luz, calor, oxigénio, radiações ionizantes, ou catalisadores (29), cujas propriedades químicas e físicas estão representadas na **Tabela II (29) (90)**.

Em termos de aplicação gerais é amplamente usado para fazer uma grande variedade de plásticos, e é na maioria das vezes polimerizado a polimetilmetacrilato através de uma reacção de polimerização, sendo utilizado para fazer placas e moldes de acrílico (29) (91).

O MMA pode também ser co-polimerizado com outros acrílicos sendo utilizado para produção de superfícies revestidas de resinas, lacas, colas, tintas, vernizes, unhas

---

artificiais, indústria de fibra de vidro, metalúrgica entre outras diversas finalidades (29) (91).

**Tabela II** - Propriedades químicas e físicas do Metilmetacrilato

Parameter	Data	Reference
Molecular wt.	100.11	Nemec and Kirch, 1978
Melting pt. (°C)	-48	Nemec and Kirch, 1978; Weast et al., 1988
Boiling pt. (°C)	100-101	Nemec and Kirch, 1978; Weast et al., 1988
Specific gravity at 20°C	0.945	Weiss, 1980
Heat of polymerization (cal/g)	-138	Weiss, 1980
Vapor pressure (mmHg at 25°C)	40	Sandmeyer and Kirwin, 1981
Refractive index (n <sub>D</sub> <sup>2</sup> )	1.4142	IARC, 1994; Weast et al., 1988
Autoignition temperature (°C)	421	Hawley, 1981
Solubility	Slightly soluble in water  Soluble in alcohol, ether, acetone, methyl ethyl ketone, tetrahydrofuran, hydrofuran, esters, aromatic and chlorinated hydrocarbons	Hawley, 1981  Windholz et al., 1983; Weast et al., 1988

**Fonte:** *In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS) 1998*

Para além das aplicações gerais já referenciadas, a área da medicina nas suas diferentes especialidades, utiliza este monómero extensivamente, nas suas diferentes formas de apresentação comercial (próteses, cimento ósseo, lentes intra oculares, próteses auditivas, etc...) (29) (52).

O grande sucesso comercial do MMA na área da medicina deve-se alguns factores decorrentes das suas propriedades físicas e químicas nomeadamente (37) (72):

- Produz polímeros acrílicos de fácil manuseio
- Proporciona leveza às próteses
- Permite a aplicação de cores semelhantes às do tecido normal

- 
- Apresenta baixa toxicidade para o paciente, quando se aplicam as normas e as técnicas preconizadas de polimerização.
  - Apresenta um nível de biocompatibilidade bastante elevado
  - Apresenta uma boa resistência a soluções alcalinas diluídas e outras soluções inorgânicas

O facto de o MMA ser relativamente volátil e devido à sua frequente utilização, leva a existência de risco de exposição ocupacional. O potencial risco baseia-se em possíveis complicações na saúde humana quer a curto quer a longo prazo (72).

As principais vias de exposição são a inalatória e cutânea. O MMA entra na corrente sanguínea através dos pulmões, pele e sistema gastrointestinal (8) (29) (52) (72) (91). O metabolismo do MMA tem vindo a ser estudado tanto em humanos como em animais. Alguns desses estudos confirmam que o processo de metabolização é feito de forma semelhante quer em animais quer em humanos (8) (29) (52) (72) (91), sendo amplamente metabolizado em ácido metilmetacrílico e em CO através do ciclo de Krebs, ficando apenas uma pequena porção de MMA não metabolizado retida no organismo durante 10 dias (8) (29) (91). Os estudos de Raje et al (1985) referem que o MMA que não é metabolizado é retido no fígado e no tecido adiposo, podendo também ser exalado e excretado na urina como metanol (dependente das concentrações) (8) (29) (72).

No entanto alguns estudos referem a presença de MMA no cérebro e nos pulmões imediatamente após 1,2,3 e 4 horas de exposição (8) (29), denominada de exposição aguda em concentrações elevadas.

As principais vias de exposição são a via inalatória e a cutânea (absorção cutânea/mucosas). Contudo, a maior parte dos estudos sobre a toxicidade avalia o sistema respiratório (apesar de outros efeitos sistémicos terem sido detectados, nomeadamente a nível hepático), mais especificamente a cavidade nasal e os pulmões, por serem os órgãos responsáveis pela depuração inicial não somente do MMA, mas também de outros xenobióticos, por meio da enzima carboxilesterase (8) (29) (72) (91).

---

#### **4.1.1.1 – TOXICIDADE NO SISTEMA PULMONAR E HEPÁTICO**

Os vapores de MMA podem ser detectados pelo olfacto dos humanos com concentrações próximas dos 0,2 mg/m<sup>3</sup> sendo que a irritação da membrana mucosa ocorre habitualmente com concentrações de MMA próximas (90) de 170 ppm (679mg/m<sup>3</sup>).

As alterações pulmonares inerentes à exposição e aquelas e que aparecem em maior número descritas na literatura (estudos efectuados em animais), nomeadamente: enfisema, broncopneumonia, hemorragias, atelectasia, edema e hiperplasia do epitélio a nível brônquico (em períodos de exposição mais longos de 60 a 365 dias com concentrações elevadas (400ppm), sendo o enfisema a alteração mais frequente (29) (72) (90) (91). A análise da literatura existente sugere que as alterações inflamatórias pulmonares referidas podem estar relacionadas com a degradação do MMA pela enzima carboxilesterase, que o converte em ácido metacrílico um irritante e corrosivo químico, o qual tem sido responsabilizado pelo dano do epitélio olfactivo (29) (90) (89), referenciando também que a distribuição e severidade das lesões são provavelmente influenciadas por alguns factores como a anatomia da cavidade nasal, o metabolismo e padrão de fluxo nasal.

Estas lesões ocorre segundo quando os níveis de exposição por via inalatória atingem 100 ppm/m<sup>3</sup> e em concentrações de 100 a 400 ppm apresentam lesões do epitélio olfactivo e atrofia das glândulas Bowman s (2) (8) (29). No entanto a patogenia do enfisema pulmonar ainda não foi explicada.

O estudo realizado por Holland et al (1973) foi o primeiro a descrever administração directa de MMA na veia porta e na aorta torácica de ratos, foram os primeiros a descrever alterações hepáticas, constituídas por hemorragia sucapsular, focos de necrose de hepatócitos e necrose de pequenas veias com edema ao redor, sem alterações da morfologia lobular (60) (64) (72).

Em 2002 um grupo de investigadores turcos realizou um estudo em ratos com o objectivo de avaliar os efeitos do MMA (29) na cavidade nasal, pulmões e sistema antioxidante. Assim foram definidos dois grupos experimentais de ratos expostos ao MMA (com 1000ppm, 6h/dia, 5 dias/semana durante 4 semanas) por inalação, com condições de ventilação diferentes, um grupo com ventilação deficitária e outro com

---

ventilação normal. Existia também um grupo de controlo com ar normal. Patologias como degeneração do epitélio olfactivo, broncopneumonia, pneumonia intersticial, hemorragia, atelectasias, edema, enfisema e hiperplasia do epitélio dos brônquios foram observados nos grupos expostos ao MMA, sendo que o enfisema é a lesão mais comum (29) (60).

De uma forma mais específica as lesões mais frequentes nos grupos expostos foram (29) (60):

- A nível da cavidade nasal a principal alteração foi a inflamação crónica activa caracterizada pela infiltração de um variado número de neutrófilos, linfócitos e macrófagos na mucosa.
- No epitélio olfactivo foram observadas casos de degeneração das células neuroepiteliais, atrofia ou perda da sensibilidade no neuroepitélio associado a metaplasia escamosa, hiperplasia das células basais, edema da submucosa e inflamação.
- A nível pulmonar foram observadas bronquiolites foliculares, broncopneumonia, pneumonia intersticial, congestão, hemorragia, enfisema (mais frequente), atelectasias, edema e hiperplasia no epitélio dos brônquios.
- A broncopneumonia com abscessos apenas foi observada no grupo exposto com ventilação deficitária.

Todas estas alterações foram mais frequentes no grupo exposto com ventilação deficitária, o que levou estes investigadores a concluir que para minimizar os efeitos consequentes da manipulação do MMA é necessário um sistema de ventilação adequado e dispositivos de protecção adequados de forma a prevenir as lesões descritas anteriormente.

No ano 2004 um outro grupo de investigadores (72) (91) realizou um trabalho com o objectivo de investigar a acção tóxica dos vapores do MMA sobre o pulmão e o fígado de ratos, avaliando possíveis diferenças na toxicidade em relação ao sexo e ao tempo de



---

exposição. Este estudo procurou simular a exposição ocupacional habitual de 8 horas por dia e compará-la aos efeitos da exposição contínua que poderia ocorrer durante procedimentos cirúrgicos ortopédicos. Assim os animais foram divididos em três grupos, em que um deles estava exposto continuamente ao MMA, um segundo estava exposto durante 8 horas diárias, e um terceiro grupo de controlo sem qualquer tipo de exposição expostos ao MMA apesar de ter restrição de ventilação tal como os grupos expostos. A exposição ao MMA foi realizou-se durante um número variável de dias tendo como objectivo a avaliar a precocidade de aparecimento das lesões e possíveis diferenças de lesões com o tempo de exposição a este (72) (91).

Os resultados incluíram achados a níveis pulmonar e a nível hepático (72):

- ❖ a nível pulmonar incluíram enfisema e congestão pleural (sendo detectado no quinto dia de exposição), que foram mais proeminentes no grupo exposto continuamente ao MMA (77%), assim como 66% dos grupo exposto durante 8 horas diárias e apenas um animal do grupo de controle. Conclui-se assim que existe uma correlação forte entre exposição contínua e presença de enfisema e por outro lado, uma associação entre o grupo de controlo e ausência de enfisema (90)
  
- ❖ a nível hepático o principal achado histopatológico foi esterase, predominantemente microvesicular (25%), sendo detectada também precocemente ao 5º dia de exposição, observando-se em 94,5% dos ratos expostos continuamente, em 72% dos expostos durante 8 horas diárias e em nenhum animal do grupo de controlo, existindo também uma correlação significativa entre a exposição contínua e a presença da esterase.

Este estudo (e em consonância e complemento com a literatura e os estudos já realizados e analisados) mostra que existe um potencial de dano na inalação crónica dos vapores de MMA, mostrando o seu efeito tóxico e provando que este se manifesta precocemente nos primeiros dias de inalação deste agente, indicando que um sistema adequado de exaustão deve ser instalado antes do uso do MMA para prevenir danos ocupacionais a ele relacionados tal como no estudo anterior.

---

#### **4.1.1.2 – TOXICIDADE NO SISTEMA NERVOSO**

A toxicidade a nível do sistema nervoso periférico, tem sido também alvo de investigação em virtude de algumas manifestações clínicas referidas anteriormente em indivíduos que estão em contacto ocupacional com o metilmetacrilato, nomeadamente os relatos de dermatites alérgicas por exposição ao MMA que são frequentemente acompanhados de parestesias nos dedos e palmas das mãos (29) (91). Mas já em 1953 Karpov et al., e Blagodatin et al., 1976 apresentam um estudo em que há relatos de fadiga, anorexia e cefaleias num grupo de indivíduos que esteve em contacto com o MMA (58)

Seppalainen & Rajaniemi em 1984 apresentou um estudo que descreve que técnicos dentários apresentavam redução da velocidade de condução nervosa nalguns dedos de ambas as mãos. Perante estes dados levanta-se a questão de uma possível degeneração axonal moderada na área de contacto mais frequente e directo com metilmetacrilato (46) (83).

#### **4.1.1.3 – TOXICIDADE SISTEMA CUTÂNEO**

A exposição a nível do sistema cutâneo é uma das possíveis portas de entrada do metilmetacrilato (27).

É de salientar que já em 1954 Fisher descreve o aparecimento de dermatite alérgica (eczema) nas mãos de dentistas expostos ao metilmetacrilato na forma líquida com reversão dos efeitos com a descontinuação da exposição (27) (29).

Em 1960 surge um surto de dermatites associada à utilização de unhas artificiais acrílicas e em 1971 surge a primeira referência à permeabilidade das luvas de borracha ao monómero - Ortopedista que desenvolveu dermatite de contacto (29) (61).

#### **4.1.1.4 – OUTRAS ALTERAÇÕES SISTÉMICAS**

Outras experiências em contexto ocupacional desenvolvidas (90) têm demonstrado que o contacto directo do MMA com a pele pode causar irritação, queimaduras e reacções alérgicas. Para além disso, existem estudos que descrevem danos no pulmão, fígado e

---

rins, cefaleias, perda de equilíbrio, dificuldade respiratória e perda de consciência em concentrações de MMA no ar acima dos 170ppm ( $679 \text{ mg/m}^3$ ) (90).

#### ***4.2 - NORMAS DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO ÓSSEO ACRÍLICO***

A ampla utilização do cimento ósseo acrílico justifica a existência de risco de exposição ocupacional. A definição de normas para uma correcta utilização e manipulação do referido composto, pressupõem uma minimização dos riscos de exposição ocupacional, de forma a ter um ambiente de trabalho seguro (52).

Actualmente e de acordo com os estudos efectuados até á data, a agência internacional de pesquisa de cancro (IARC), refere que os dados que suportam as evidências de carcinogenicidade em humanos e animais ainda são inadequadas, existindo uma necessidade de esclarecimento de alguns aspectos do metabolismo do MMA principalmente a nível hepático e o seu possível efeito carcinogénico (89) (90).

No entanto outro tipo de reacções e alterações fisiológicas (referidas anteriormente) estão confirmados, em consequência da toxicidade do MMA principalmente em exposição prolongada, o que levou a uma necessidade de legislação de forma a definir quais os limites de exposição em relação ao tempo de exposição e concentração máxima dos vapores de metilmetacrilato (52) (90). De uma forma geral os diferentes países segue as orientações dadas por parte da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) que recomenda um tempo médio ponderado de 8 horas com  $205 \text{ mg/m}^3$  (50 ppm) e uma exposição directa de curto prazo com concentrações limite de MMA até  $410 \text{ mg/m}^3$  (100 ppm) (90).

Alguns países os valores máximos de exposição limite para as 8 horas diferem para um limite superior que como é o caso da Bélgica, Filândia e França que estabelecem um limite de  $410 \text{ mg/m}^3$  (100 ppm) e a Dinamarca que estabelece um limite máximo de 50 ppm que corresponde aproximadamente a  $205 \text{ mg/m}^3$  (52).

No entanto e de forma a minimizar o risco de exposição ocupacional as instituições regulamentadora indicam um conjunto de orientações para além do cumprimento dos limites de exposição, outro tipo de medidas, mais concretamente (52):

---

✚ **Equipamento de protecção individual**

O equipamento de protecção individual específico recomendado (para além da norma referente ao equipamento em acto cirúrgico), está relacionado com o tipo de luvas que se utilizam aquando do manuseamento do composto.

Segundo estudos realizados as luvas ditas convencionais de látex não oferecem a protecção adequada. Recomenda-se a utilização de um par de luvas extra de polietileno, como precaução adicional.

✚ **Técnica adequada de preparação/aplicação**

O sistema de mistura recomendado é o sistema de vácuo, ou misto (que também funciona com vácuo), pois estes sistemas reduzem significativamente a libertação dos vapores de metilmetacrilato. Para aplicação existem dispositivos adequados às diferentes aplicações médicas as quais eliminam praticamente qualquer tipo de contacto directo com o cimento ósseo acrílico

✚ **Ventilação da zona de manipulação**

A preparação do cimento ósseo acrílico para além deve ser feita a uma temperatura ambiente ( $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) e com um sistema de exaustão adequado de forma absorver rapidamente os vapores de metilmetacrilato libertados.

---

## **5 – AVALIAÇÃO DO RISCO DE EXPOSIÇÃO EM HOSPITAIS DA REGIÃO NORTE**

O uso do cimento ósseo acrílico está difundido na área da medicina, o que o coloca como um produto de eleição nas suas diferentes aplicações clínicas.

Fundamentado nesta ampla utilização, o risco de exposição ocupacional relacionado com a toxicidade do metilmetacrilato torna-se temática de vários estudos, investigando os seus potenciais efeitos na saúde humana, bem como as formas adequadas de utilização (preparação/aplicação) que minimizam o seu potencial risco de exposição ocupacional.

A realização deste trabalho pretende analisar o risco de exposição ocupacional de profissionais de saúde nomeadamente, enfermeiros instrumentistas, em Hospitais da Zona Norte.

### **5.1. – METODOLOGIA**

Desenvolver um trabalho de investigação tem como finalidade contribuir para a construção do conhecimento relacionado com determinado área. Esta dissertação é um estudo quantitativo, a metodologia utilizada baseou-se na aplicação de um questionário a um grupo profissional de saúde - Enfermeiros Instrumentistas.

As questões metodológicas marcam este sub-capítulo, organizando-se em pontos essenciais: os objectivos de estudo, a caracterização da amostra, o instrumento de colheita de dados.

#### **5.1.1 – OBJECTIVOS DE ESTUDO**

A parte prática desta dissertação tem como objectivo analisar o potencial risco de exposição ocupacional de um grupo profissional (enfermeiros instrumentistas) que está exposto ao MMA através da utilização do cimento ósseo acrílico em actos cirúrgicos, como prática profissional diária.

---

Assim pretende-se:

- ✚ Identificar as formas mais utilizadas de preparação e aplicação do cimento ósseo acrílico,
- ✚ Quantificar o tempo de exposição dos enfermeiros instrumentistas ao cimento ósseo acrílico
- ✚ Quantificar o número de embalagens de cimento ósseo acrílico utilizadas em média durante a semana
- ✚ Avaliar os conhecimentos dos referidos profissionais de saúde sobre os riscos de exposição ocupacional inerentes à utilização deste
- ✚ Identificar manifestações fisiológicas aquando do manuseamento do cimento ósseo acrílico

### ***5.1.2. – INSTRUMENTO DE RECOLHA DE DADOS***

Para concretizar o objectivo deste estudo foi elaborado um questionário (anexo I) de forma a aferir a informação necessária de forma a atingir o objectivo de estudo. Este questionário anónimo e auto-preenchido, apresenta um conjunto de questões que pretende recolher informação sobre as práticas de preparação e aplicação do cimento ósseo acrílico, o número de embalagens diárias utilizadas, o tempo de exposição, manifestações fisiológicas e controlo analítico de função hepática e renal por parte dos profissionais de saúde.

Foram aplicados questionários em instituições hospitalares da região Norte, tendo como critério de seriação para a sua aplicação, profissionais de saúde que utilizassem com regularidade, na sua prática profissional o cimento ósseo acrílico,

### ***5.2. - CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA***

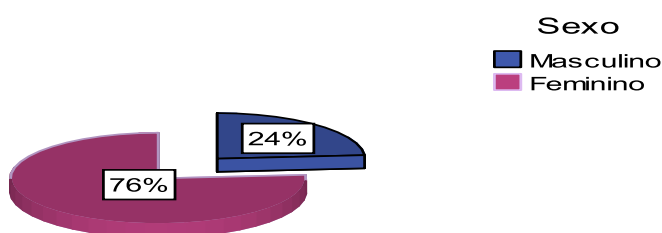
A amostra deste estudo consiste num grupo de enfermeiros instrumentistas que exercem funções no Bloco Operatório nos Hospitais da área Norte.

---

A escolha deste grupo teve como fundamentação a utilização frequente do cimento ósseo acrílico na sua prática profissional diária.

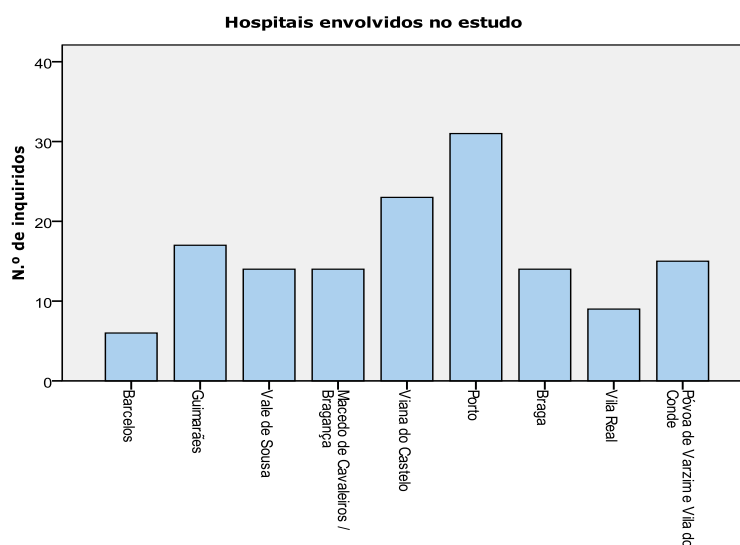
Foram aplicados 143 questionários (no período de Maio a Agosto de 2010) a enfermeiros instrumentistas dos quais 76% do sexo feminino e 24% do sexo masculino conforme mostra o Figura V

**Distribuição dos inquiridos por sexo**



**Figura V – Distribuição dos inquiridos por sexo**

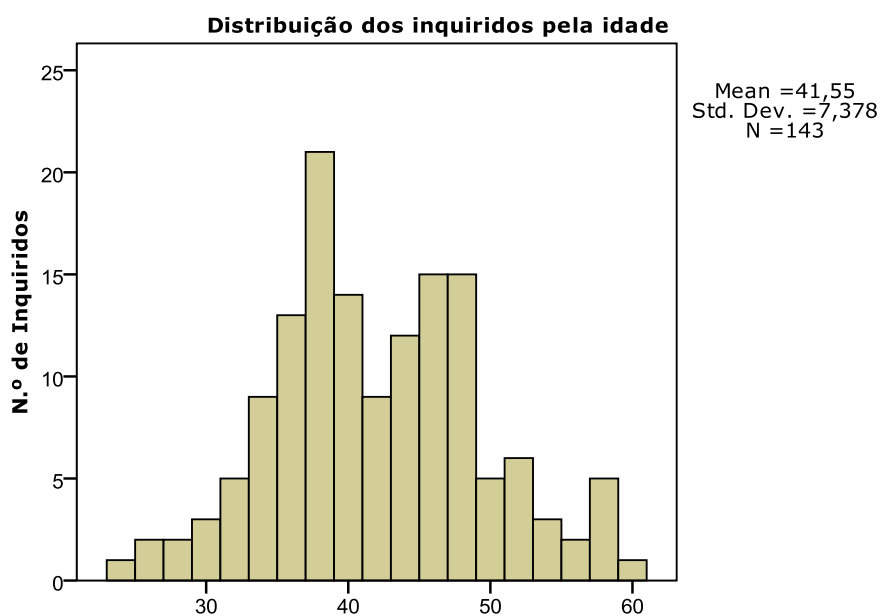
Foram inquiridos enfermeiros do Hospital S. João no Porto, de Viana do Castelo, de Guimarães, da Unidade de Saúde da Póvoa de Varzim e Vila do Conde, do Hospital de Braga, Bragança, Macedo de Cavaleiros, do Hospital Padre Américo em Vale de Sousa, de Braga, Vila Real e do Hospital de Barcelos (Figura VI).



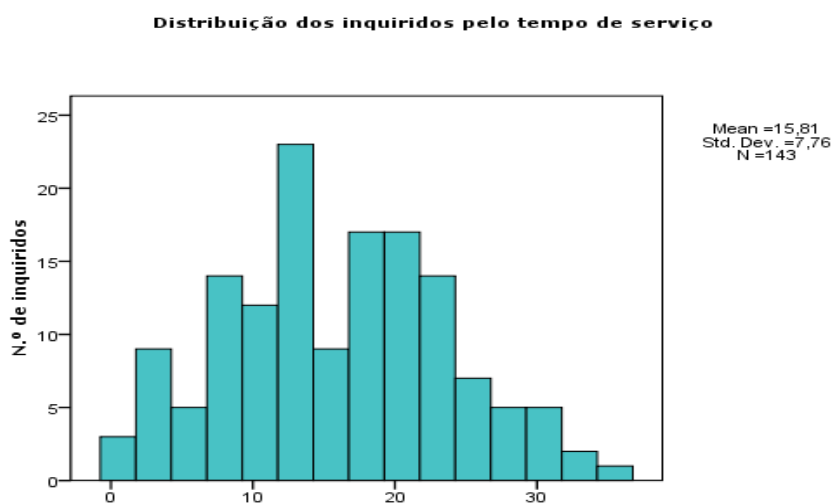
**Figura VI – Hospitais envolvidos no estudo/Número de inquiridos por Hospital**

A idade média dos inquiridos é aproximadamente igual a 42 anos e o desvio padrão igual a 7, sendo que o profissional de bloco mais novo tem 24 anos e o mais velho 59 anos conforme nos mostra o Figura VII. A faixa etária predominante é entre os 34 e os 48 anos.

O tempo médio de serviço de cada um dos inquiridos é aproximadamente 16 anos e a mediana também, o que indica que 50% dos profissionais em estudo apresentam menos de 16 anos de serviço (Figura VIII).



**Figura VII - Idade dos inquiridos**



**Figura VIII- Tempo de serviço dos inquiridos**



---

### 5.3. – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Com o objectivo de quantificar o tempo de exposição dos profissionais do bloco operatório ao Metilmetacrilato foi necessário primeiro aferir quais as técnicas de preparação e aplicação do cimento ósseo acrílico que habitualmente utilizavam: sistema manual, sistema de vácuo, sistema de vácuo para mistura com adaptação de sistema de aplicação em simultâneo.

Como se pode verificar pela análise da tabela III a maioria dos profissionais utiliza a técnica de preparação manual 54,5%. O sistema de vácuo para mistura apresenta uma taxa de utilização de 35%, sistema de vácuo para mistura com sistema de aplicação em simultâneo (sistema misto) e a centrifugação aberta são ainda técnicas pouco recorrentes no dia-a-dia destes profissionais, pois a percentagem de utilização é muito reduzida conforme nos indica a tabela III, 9,1% e 1,4% respectivamente. Verifica-se assim que na sua maioria estes profissionais de saúde utilizam a técnica de preparação que mais os expõem aos vapores de metilmetacrilato - a técnica de preparação manual.

**Tabela III: Técnicas de preparação utilizadas pelos inquiridos**

	Frequência	Percentagem
Manual	78	54,5
Sistema de vácuo para mistura	50	35,0
Sistema de vácuo para mistura e aplicação	13	9,1
Centrifugação aberta	2	1,4
Total	143	100,0

Como os valores de emissão de MMA, em média, para as técnicas manual e sistema de vácuo para mistura são conhecidos, 81 mg/m<sup>3</sup> e 22 mg/m<sup>3</sup> respectivamente (89). A partir dos dados extraídos do inquérito foi possível aferir as concentrações de MMA diárias durante 8 horas de trabalho, às quais estes enfermeiros se expõem (tabela IV, V).

**Tabela IV: Estatísticas do grupo de profissionais que utiliza a técnica de preparação manual**

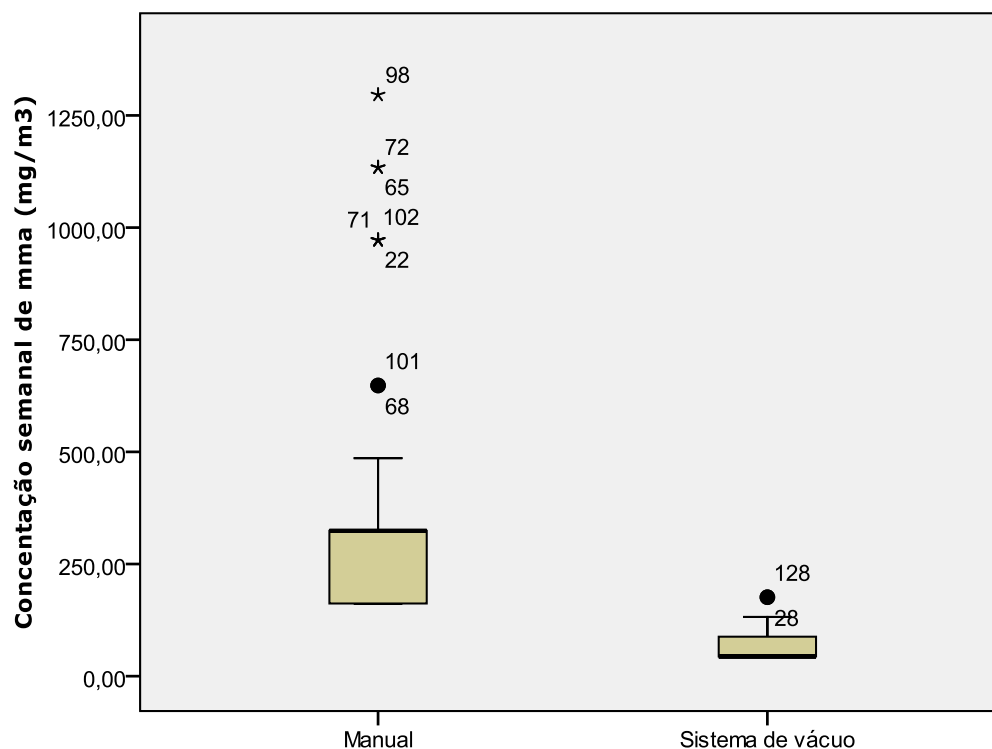
Concentração de MMA semanal (mg/m <sup>3</sup> )		Estatística	
Grupo de profissionais que utiliza a técnica de preparação Manual	Média	166,1	
	95% Intervalo de confiança para a média	Limite inferior	138,0
		Limite superior	194,2
	Mediana	162,0	
	Desvio padrão	124,4	
	Mínimo	81,0	
	Máximo	648,0	

**Tabela V: Estatísticas do grupo de profissionais que utiliza a técnica de preparação de vácuo para mistura**

Concentração de MMA semanal (mg/m <sup>3</sup> )		Estatística	
Grupo de profissionais que utiliza a técnica de preparação de vácuo para mistura	Média	32,7	
	95% Intervalo de confiança para a média	Limite inferior	27,7
		Limite superior	37,7
	Mediana	22,0	
	Desvio padrão	17,4	
	Mínimo	22,0	
	Máximo	88,0	

Verifica-se uma diferença significativa em relação à exposição ao MMA entre o grupo que utiliza a técnica de preparação manual e a técnica de preparação através do sistema de vácuo.

O grupo de enfermeiros que utiliza a técnica de preparação manual, em média, expõe-se diariamente a aproximadamente 166,2 mg/m<sup>3</sup>. Contudo existe uma percentagem destes enfermeiros, aproximadamente 14%, que se expõem a uma concentração superior à recomendada, 205 mg/m<sup>3</sup> conforme nos mostra o **Figura IX**.



**Figura IX - Emissão diária de MMA por técnica de preparação**

Estas situações ocorrem quando estes profissionais participam em mais do que duas cirurgias por dia, o que os coloca num grau de exposição bastante elevado, visto ser uma exposição acima do recomendado e de uma forma continuada, otimizando assim o risco de complicações associadas a toxicidade dos vapores de metilmetacrilato em consequência da exposição ao mesmo.

Contudo esta situação pode ser corrigida, se se optar pela técnica de preparação de vácuo para mistura, pois a média diária de emissão de MMA nestes casos é igual a 32,8 mg/m<sup>3</sup> com um desvio padrão igual a 17,5 mg/m<sup>3</sup>, o que coloca estes profissionais num grau de risco de exposição muito menor.

Analisando os dados referentes aos sistemas de aplicação do cimento ósseo acrílico, e apesar dos sistema manual não ser o indicado pelas actuais técnicas de cimentação (terceira geração), é o um dos mais utilizados tal como o sistema misto ou seja pistola e manual, (Figura X). De acordo com os dados quando é utilizada a técnica de mistura

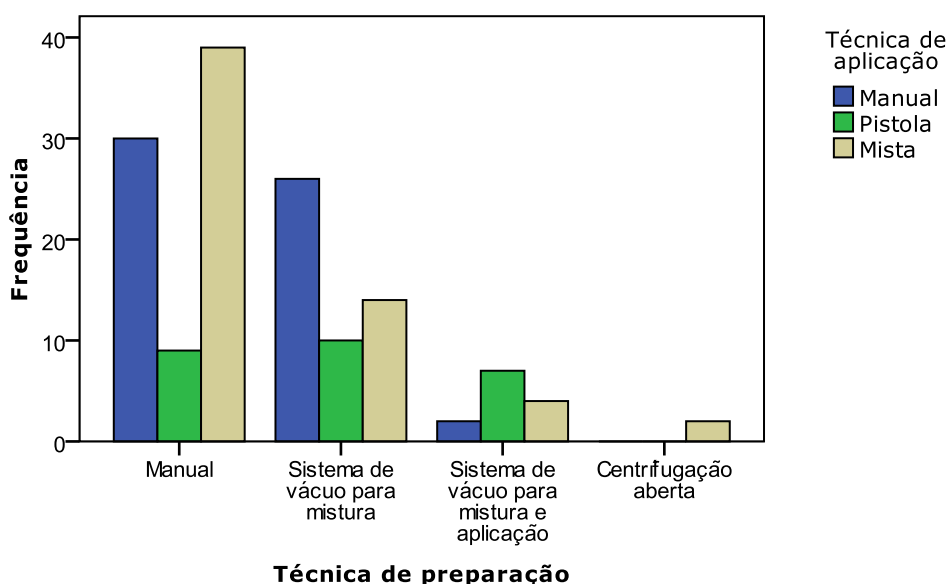
---

manual a técnica predominante em termos de aplicação do composto é a técnica mista (pistola mais manual), seguida da técnica manual.

Na utilização do sistema de vácuo para mistura a técnica de aplicação mais utilizada é a técnica manual seguida da mista (o inverso da técnica de mistura manual).

A aplicação através da pistola, ou dispositivo similar e indicado ao contexto clínico, ser a técnica de aplicação recomendada verifica-se que a mesma é a menos utilizada, excepto nos casos em que é utilizada a técnica de preparação sistema de vácuo para mistura com adaptação de sistema de aplicação em simultâneo ou seja o sistema misto (Figura X). Nesta situação o sistema misto já contém a conexão para a aplicação com pistola, daí existir uma justificação para o sistema de aplicação com pistola ser o mais utilizado nesta técnica de preparação. No entanto alguns enfermeiros utilizam os sistemas de aplicação mista e manual quando utilizam o sistema misto na mistura. Estes dados revelam um desconhecimento do sistema utilizado, pois como já foi referido anteriormente este sistema foi concebido de forma utilizar a técnica de aplicação com pistola, ou dispositivo similar.

Na utilização do sistema por centrifugação, que é utilizado numa percentagem reduzida, o único sistema utilizado é o sistema misto.



**Figura X - Distribuição da técnica de preparação por técnica de aplicação**

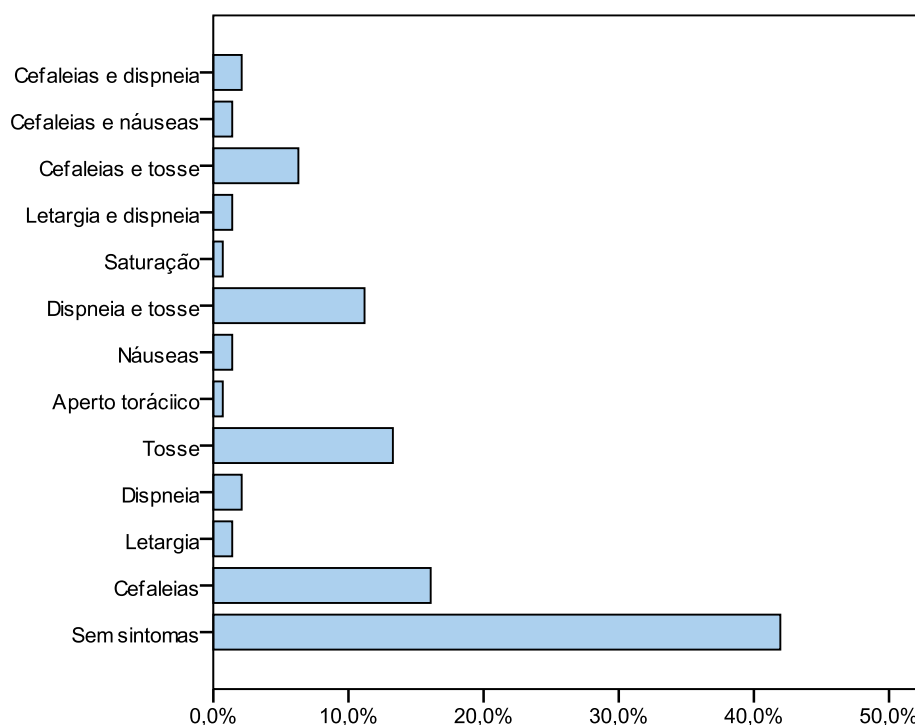
---

Tal como descrito na literatura, muitos dos indivíduos apresentam sintomas aquando do manuseamento deste produto mais especificamente aquando da mistura do polímero com o monómero ou seja durante a reacção de polimerização.

Neste estudo constatou-se que apesar de vários inquiridos não apresentaram quaisquer sintomas no manuseamento do cimento ósseo acrílico, mais de metade apresentam sintomas e alguns apresentam mais do que um sintoma. As cefaleias são o sintoma mais frequente, tal como nos mostra a Figura XI, assim como a tosse e a dispneia. Saliente-se também que apesar de uma percentagem reduzida a letargia e o aperto torácico também são referenciados, o que de certa forma nos conduz a uma reflexão sobre outro tipo de complicações sistémicas associadas, que já começam a ser descritas em certos estudos mas que necessitam ainda de uma investigação mais profunda de forma a confirmar a correlação com a libertação dos vapores do metilmetacrilato, ou seja a sua toxicidade, para outros sistemas orgânicos nomeadamente sistema nervoso e sistema cardíaco.

Uma percentagem dos inquiridos apresentam mais do que um sintoma (Figura XI) sendo os mais frequentes em associação dispneia e tosse, cefaleias e tosse, cefaleias e dispneia cefaleias e náusea e cefaleias e letargia.

Este tipo de manifestações reflecte o potencial de toxicidade dos vapores de metilmetacrilato a um nível multisistémico, como podemos ver pelos diferentes sintomas apresentados na amostra em estudo, pois abrangem diferentes sistemas orgânicos como sistema pulmonar, nervoso entre outros, tal como se encontra descrito na literatura existente.



**Figura XI – Sintomas apresentados pelos inquiridos no manuseamento do cimento ósseo acrílico**

O conhecimento sobre as normas de manuseamento é fundamental, de forma a cumprir os requisitos definidos para a minimização do risco ocupacional, mas também para garantir as propriedades desejadas para aplicação deste produto, reduzindo assim as possíveis complicações adjacente á inadequada técnica de preparação e aplicação.

Na amostra em estudo observa-se que apenas 80 profissionais afirmam conhecer as normas de manuseamento do cimento ósseo acrílico e conseqüentemente dos riscos a que se expõem diariamente, o que demonstra uma lacuna bastante significativa de conhecimento das normas. De certa forma esta lacuna de conhecimento já se constatou na análise dos sistemas de aplicação do cimento ósseo acrílico na utilização do sistema misto como já foi referido anteriormente.

Proporcionar condições de trabalho adequadas com um grau de qualidade de vida no trabalho é da responsabilidade das Instituições Empregadoras, nomeadamente no que diz respeito aos recursos materiais necessários a uma adequada prática profissional. Na

---

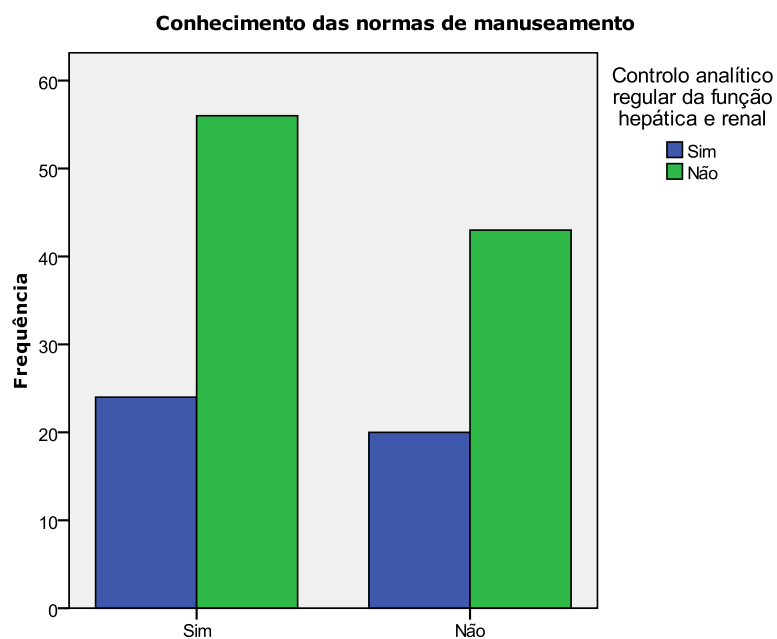
amostra em estudo 40% dos profissionais inquiridos afirmam que a instituição onde trabalham não possui sistemas de vácuo e aplicadores que permitem obedecer às normas preconizadas para o manuseamento do cimento ósseo acrílico (tabela VI).

**Tabela VI- Existência de recursos na instituição**

<i>Recursos</i>	<i>Frequência</i>	<i>Porcentagem</i>
Sim	86	60,1
Não	57	39,9
<b>Total</b>	143	100,0

A prática regular de controlo analítico por parte dos profissionais de saúde é uma das estratégias da área da saúde ocupacional que as instituições devem ter em conta, principalmente em determinados grupos profissionais expostos a um maior risco profissional como é o caso da amostra em estudo.

Contudo, e constatando a não preocupação da importância deste tipo de controlo por parte dos profissionais, neste estudo verificou-se que só 30% dos enfermeiros instrumentistas fazem um controlo analítico regular da função hepática e renal. (tabela VI e Figura XII)



**Figura XII - Conhecimento das normas de manuseamento**

**Tabela VII: Normas de manuseamento versus controlo analítico**

		Controlo analítico regular da função hepática e renal		<b>Total</b>
		<b>Sim</b>	<b>Não</b>	
Conhecimento das normas de manuseamento	Sim	24	<b>56</b>	<b>80</b>
	Não	20	43	63
<b>Total</b>		<b>44</b>	99	<b>143</b>

Mesmo nos profissionais que têm conhecimento das normas de manuseamento verifica-se que só um pequeno número faz um controlo analítico regular, mais precisamente 24 enfermeiros instrumentistas como nos mostra a tabela (VII)



Dos enfermeiros que fazem controlo analítico (apenas 23% da amostra em estudo), 30 dizem não denotar quaisquer alterações analíticas e 14 confirmam alterações, subida dos valores das transaminases e na função renal (tabela VIII).

**Tabela VIII: Profissionais que realizam controlo analítico e que apresentam alterações das transaminases e alteração da função renal**

<i>Alterações provocadas pela manipulação do ósseo acrílico</i>					<i>Total</i>
		Nenhuma alteração	Subidas de transaminases	Alteração da função renal	
<i>Controlo analítico regular da função hepática e renal</i>	<b>Sim</b>	30	11	3	<b>44</b>

Só pelo simples facto de 32% dos enfermeiros sujeitos a um tipo de controlo denotarem alterações, este número deverá servir como uma evidência da necessidade de efectuar estudos de forma a aferir mais dados que permitam comprovar a correlação entre a exposição aos vapores de metilmetacrilato e as alterações analíticas.

Saliente-se que o grupo dos profissionais que realizam um controlo analítico e que apresentam alterações das transaminases e da função renal tem mais do que 13 anos de serviço, (tabela VIII) o que nos faz pensar que as alterações analíticas verificam-se a longo prazo e não a curto prazo, daí a necessidade da realização de mais estudos nesta área como já foi referido anteriormente.

**Tabela IX - Estatísticas do tempo de serviço de indivíduos com alterações analíticas**

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>
<i>Tempo de serviço do grupo de indivíduos com alterações provocadas pela manipulação do ósseo acrílico</i>	14	13,0	31,0	20,7	6,3

Pode ainda verificar-se que os profissionais que não verificam qualquer tipo de alteração no controlo analítico, em média participam em 1,5 cirurgias por dia. Estes enfermeiros não participam em mais do que 3 cirurgias num dia, ao contrário do grupo que refere apresentar alterações analíticas. Este último grupo integra enfermeiros que chegam a fazer 6 cirurgias por dia e de uma maneira geral participam em mais do que 2 cirurgias por dia (tabela IX).

**Tabela X - Estatísticas relativas ao número de cirurgias dos profissionais que fazem controlo analítico**

<b>N.º de cirurgias</b>	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>
Do grupo de indivíduos sem alterações analíticas	30	1,0	3,00	1,56	0,67
Do grupo de indivíduos com alterações analíticas	14	1,0	6,00	2,21	1,80

Estes dados permitem-nos fazer uma extrapolação que relaciona o número de cirurgias diárias e o tempo de serviço como sendo factores preponderantes em relação às alterações analíticas.

---

#### 5.4. – CONCLUSÕES

A definição de directivas que estabelecem os limites de exposição ao metilmetacrilato e que orientam para determinadas práticas na sua utilização, pretendem garantir um ambiente de trabalho seguro aos profissionais de saúde, minimizando o risco de exposição profissional.

A análise dos dados apresentados levam-nos a concluir que existe um risco de exposição considerável em relação ao grupo profissional de saúde em estudo.

Vários factores podem contribuir para o potencial risco de exposição nomeadamente a falta de recursos materiais, pois 40% dos inquiridos referem não existir recursos matérias suficientes nas instituições onde trabalham, e a lacuna de conhecimento apresentada pelos profissionais inquiridos em relação às normas de manuseamento, so 80 enfermeiros instrumentistas referem ter conhecimento sobre as mesmas. No entanto outros factores predispõem estes profissionais a um maior risco.

A técnica de preparação utilizada é um desses factores. Da amostra em estudo 54,5% dos profissionais, utilizam para mistura do cimento ósseo acrílico o sistema manual, sendo este aquele que apresenta uma maior percentagem de libertação de vapores de metilmetacrilato, expondo-se diariamente a vapores de metilmetacrilato numa concentração de 166,2 mg/m<sup>3</sup>. Uma percentagem da amostra em estudo 14%, apresenta uma exposição diária mais elevada, 205 mg/m<sup>3</sup> em consequência do número de cirurgias em que participa diariamente, mais de duas utilizando o sistema manual para preparação, ultrapassando assim os limites de concentração recomendados, o que os predispõem a um maior risco de exposição.

O grupo de profissionais inquiridos, na sua maioria apresenta sintomas aquando do manuseamento do referido composto, e alguns apresentam mais do que um sintoma, sendo que as cefaleias são o sintoma mais frequente, assim como a tosse e a dispneia. A letargia e o aperto torácico apesar, de numa percentagem reduzida, também são referenciados. Na literatura estes tipos de sintomas estão descritos como manifestações sistémicas inerentes ao manuseamento do cimento ósseo acrílico, o que fundamenta o risco de exposição consequente da utilização do mesmo. As manifestações sistémicas aparecem independentemente do número de cirurgias em os inquiridos participam.

---

Outro factor preponderante é as alterações analíticas apresentadas por um grupo de profissionais (14 dos 44 – 23% que realizam um controlo analítico), nomeadamente alterações a nível das transaminases e da função renal. Este grupo de enfermeiros tem mais do que treze anos de serviço e são aqueles que participam num maior número de cirurgias. Este resultado leva-nos a reflectir sobre a preponderância e relação de uma exposição continuada e com concentrações elevadas, com alterações a nível função hepática e renal resultante da toxicidade do metilmetacrilato. Estas alterações estão descritas na literatura sendo mais frequentes após um maior período de exposição

A preponderância destes factores constata-se nos resultados deste estudo pois os indivíduos na amostra em estudo que apresentam alterações a nível das função hepática e renal são os que tem mais tempo de serviço e que diariamente se expõem a concentrações de MMA superiores ao recomendado.

Conclui-se de uma forma geral que o nível de risco de exposição ao metilmetacrilato é influenciado pelos seguintes factores preponderantes: a técnica de preparação, o número de cirurgias diárias e o tempo de serviço com utilização regular do cimento ósseo acrílico

---

## **6 – SUGESTÕES PARA MINIMIZAR O RISCO DE EXPOSIÇÃO**

Proporcionar um ambiente de trabalho seguro é da responsabilidade das Instituições empregadoras, quer em termos de estrutura físicas, recursos materiais, formação dos profissionais de saúde, estratégias na área da saúde ocupacionais condições de trabalho de forma a garantir o mais elevado grau de qualidade de vida no trabalho de forma a minimizar o risco de exposição ocupacional.

Em consonância com os dados apresentados neste trabalho e de forma a minimizar o risco de exposição ocupacional dos profissionais que utilizam na sua prática profissional diária o cimento ósseo acrílico revela-se pertinente o desenvolvimento de determinadas actividades em diferentes áreas de intervenção fundamentais visando um adequado desenvolvimento de práticas de trabalho seguras e saudáveis.

Consideramos mais pertinentes a definição de estratégias nas seguintes áreas:

### **Formação e informação dos profissionais de saúde**

Desenvolver actividades de formação e informação com o objectivo de dar a conhecer aos profissionais as técnicas de preparação e aplicação existentes, esclarecer os profissionais dos efeitos nocivos que a utilização de práticas incorrectas pode ter em termos de saúde humana, de forma a assegurar adequadas práticas de trabalho, tentando controlar a eficácia da prevenção técnica avaliando de uma forma global a situação de saúde dos profissionais.

### **Área da saúde ocupacional**

- Desenvolver actividades centradas nos profissionais, consiste essencialmente em exames de vigilância médica periódicos (exemplo controlo analítico) de forma a detectar eventuais patologias ligadas a pratica profissional, detectar indivíduos mais susceptíveis de forma a prevenir e agravar efeitos adversos relacionados com a actividade como por exemplo profissionais que sejam portadores de patologia pulmonar como exemplo a asma.

- 
- Desenvolver actividades centradas na vigilância do ambiente de trabalho, relacionadas com a avaliação e gestão do risco profissional que compreende actividades como a monitorização de vapores de metilmetacrilato durante a realização de cirurgias com utilização de metilmetacrilato, verificar o sistema de exaustão e ventilação das salas de cirurgia
  - Colaboração técnica na aquisição de equipamentos, quer de protecção individual, quer em equipamentos específicos ou seja sistemas de mistura e aplicação adequados de forma a minimizar o risco de exposição ocupacional
  - Controlar o número de cirurgias com utilização de cimento ósseo acrílico, em que os profissionais participam diariamente de forma a reduzir o risco de exposição.

---

## **7 – CONCLUSÃO GERAL**

O desenvolvimento dos biomateriais na área da medicina nos últimos anos tem representado um poderoso recurso em diversas especialidades médicas. O cimento ósseo acrílico é um dos que é utilizado em diferentes contextos médicos, com grande frequência, nomeadamente na especialidade de ortopedia.

No entanto, e apesar dos seus comprovados benefícios, a sua utilização exige algumas precauções no manuseamento, de forma a minimizar o potencial efeito adverso na saúde dos indivíduos que o utilizam na sua prática profissional diária. Estas precauções passam pelo conhecimento e utilização de recursos adequados, nomeadamente no que diz respeito aos sistemas de preparação e aplicação do cimento ósseo acrílico.

Esta dissertação pretendeu avaliar o risco de exposição ocupacional de um grupo de profissionais de saúde – Enfermeiros Instrumentistas – que na sua prática profissional utilizam cimento ósseo acrílico. Deste modo, desenvolveu-se a investigação através da aplicação de um questionário em Hospitais da zona Norte, de forma a conhecer a práticas destes profissionais aquando da utilização do referido composto. Pretendeu-se aferir dados relacionados com os tipos de sistema de preparação e aplicação utilizados, conhecimento das normas de manuseamento do referido composto, recursos existentes nas instituições, o número de cirurgias diárias em que participam diariamente com utilização de cimento ósseo acrílico, e a presença de diferentes manifestações fisiológicas aquando do seu manuseamento. Conhecer a preocupação destes profissionais em relação aos possíveis efeitos adversos que este composto pode ter na saúde humana, através da realização de controlo analíticos com alguma realidade, foi também um dos dados que se tentou aferir com a aplicação deste questionário.

Através da análise dos dados desta investigação e relacionando-os com a literatura existente, foram identificados aspectos que nos levam a concluir que existe um risco de exposição ocupacional considerável. A utilização de sistemas de preparação que libertam uma maior percentagem de metilmetacrilato pela maioria dos profissionais inquiridos, associado a falta de conhecimento das normas de manuseamento e recursos para o cumprimento das mesmas, bem como o número de cirurgias em que participam, com a utilização este composto, são factores que expõem este grupo profissional a um maior risco. Este risco é maior em 14% dos inquiridos em virtude de ultrapassarem o limite diário de exposição ao metilmetacrilato recomendado.

---

Atendendo a literatura existente, os efeitos na saúde humana relacionados com a exposição ao metilmetacrilato podem-se manifestar a longo prazo por um efeito de bioacumulação, mas também num *timing* mais curto. A amostra em estudo apresenta manifestações fisiológicas diversas aquando do manuseamento do cimento ósseo acrílico, no entanto uma percentagem do grupo com mais tempo de anos de serviço, que participa no maior número de cirurgias ultrapassando desta forma o limite de exposição recomendado, apresentam alterações das transaminases e da função renal. Estes dados leva-nos a fazer uma extrapolação da relação do tempo de exposição, concentração de metilmetacrilato, de uma forma continuada, com as alterações sistémicas apresentadas.

Os dados deste trabalho mostram que, para minimizar o potencial dano na saúde humana consequente da exposição ao metilmetacrilato, é necessário proporcionar um adequado ambiente de trabalho, com recursos apropriados à sua manipulação (preparação e aplicação), adequados dispositivos de exaustão, bem como a não exposição a mais de 205 mg/m<sup>3</sup> durante 8 horas de trabalho por dia, conforme preconizado pelas Instituições Reguladoras.

A realização de estudos que consigam uma monitorização directa da concentração dos vapores de metilmetacrilato, tempo de exposição, analisando a sua preponderância com as alterações fisiológicas referidas, aquando do manuseamento do referido composto, possibilitaria uma melhor compreensão dos efeitos do MMA nos diferentes sistemas orgânicos, e reforçaria a importância do cumprimento das normas de segurança, a nível do ambiente de trabalho, dos profissionais de saúde que manuseiam frequentemente o cimento ósseo acrílico através dum controlo dos níveis de exposição diário e estratégias de promoção da saúde, de forma a minimizar e despistar os efeitos multisistémicos que este composto pode ter na saúde humana.



---

## BIBLIOGRAFIA

1. Ascherl R., MD,PhD, 2005, Science of Bone Cement, Orthopaedic Supersite, <http://www.orthosupersite.com/view.aspx?rid=3971>, (22/05/2009).
2. Aydin Ozlem, Attila Gulen, Dogan Arife, Aydin Mehmet Volkan, Canacankatan Necmiye, Kanic Arzu, 2002, The effects os Methylmethacrylate on Nasal Cavity, Lung and Antioxidant System ( An Experimental Inhalation Study), Toxicologic Pathology 30: 350-356.
3. Baker S., Brooks S.C., Walker D.M., 1987, The Release of Residual Monomeric Methylmethacrylate from Acrylic Appliances in the Human Mouth: An Assay for Monomer in Saliva, of Dental Research 67(90): 1295-1299.
4. Barros Malaguti Aparecida Carmen, 2003, Estudo comparativo da resistência á compressão do cimento ósseo nacional e do importado, preparado manualmente e a vácuo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 131pp, <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-08012003-144237/pt-br.php>.
5. Basgorenay Burcu, Ulubayram Kezban, Serbetci Kemal, Onurhan Erdal, Hasirci Nesrin, 2006, Preparation, Modification and characterization of acrylic Cements, Journal of Applied Polymer Science 99: 3631-3637.
6. Beck Stefan, Boger Andreas, 2009, Evaluation of the particle release of porous PPMA cements during curing, ActaBiomaterialia XXX.
7. Bellare Anuj, 2005, Orthopedic Bone Cement, pág.52-60, The well-cemented total Hip-Arthroplasty – Theory and Praticce ,Brusch Malchan, Springer Medizin Verlag Heidelberg.
8. Bereznowski Zdzislaw, 1995, In vivo Assessment of Methylmethacrylate Metabolism and Toxicity, International Journal Biochemistry ∂ Cell Biology 27:1311-1316.
9. Bettencourt A, Calado A, Amaral J, Vale F, Rico J, Monteiro J, Castro M, 2001,The influence of vaccum mixing on methylmethacrylate liberation from acrylic cement power, International Journal of Pharmaceutics 219: 89-93.

- 
10. Bettencourt A, Calado A, Amaral J, Vale F, Rico J, Monteiro J, Castro M, 2004, Surface studies on acrylic bone cement, *International Journal of Pharmaceutics* 278: 181 – 186.
  11. Canadian Environmental Protection Act, 1993, Priority Substances List Assessment Report: Methylmethacrylate, Environment Canada.
  12. Chohfi Milton, Langlais Frantz, 1994, O cimento ortopédico associado á vancomicina: comportamento mecânico e difusão do antibiótico, *Revista Brasileira de Ortopedia* Volume nº 29, nº6:363-370.
  13. Cloft J. Harry, Easton N. David, Jensen E. Mary, Kallmes F. David, Dion E. Jaques, 1999, Exposure of medical personnel to methylmethacrylate vapor during percutaneous vertebroplasty, *American Society of Neuroradiology* 20: 352-353.
  14. Dahl Ola E., Garvik Liv J., Lyberg Torstein, 1994, Toxic effects of methylmethacrylate monomer on leucocytes and endotelial cells in vitro, *Acta Orthopaedic* 65 (67): 147-153.
  15. Dall Graham F., Simpson Philip M.S., Mackenzie Sam P., Breusch Steffen, 2007, Inter-and intra-batch variability in the handling characteristics and viscosity of commonly used antibiotic-loaded bone cements, *Acta Orthopaedica* 78:412-420.
  16. Darre Erik, Joergensen LG, Vedel P, Jensen JS, 1992, Breathing Zone Concentrations of Methylmethacrylate Monomer During joint Replacement Operations, *Pharmacology & Toxicology* 71: 198-200.
  17. Darre Erik, Gottlieb Jorgen, Nielsen Per Michael Jensen Jorden Steen, 1998, A method to determine methylmethacrylate in air, *Acta orthopaedica* 59:270-271.
  18. Davies J.P., Jasty M., O Connor D.O., Burke D.W., Harrigan T.P., Harris W.H., 1989, The effect of centrifuging bone cement, *Journal of Bone and Joint Surgery* 71-B: 39-42.

- 
19. Demian W. Hany, Dermott MC Ken, 1998, Regulatory perspective on characterization and testing of orthopedic bone cements, *Biomaterials* 19: 1607-1618.
  20. Deramond H., Wright N.T., Belkoff S.M., 1999, Temperature Elevation Caused by Bone Cement Polymerization During Vertebroplasty, *Bone* Vol. 2: 17-21.
  21. Donaldson A.J., Thomson H.E., Harper N.J., Kenny N.W., 2009, Bone cement implantation syndrome, *British Journal of Anaesthesia* 102:12-22.
  22. Dune Nicholas, Hill Janet, McAfee Patricia, Todd Katyy, KirKpatrick Rachel, 2007, In vitro study of the efficacy of acrylic bone cement loaded with supplementary amounts of gentamicin: Effect on mechanical properties, antibiotic release and biofilm formation, *Acta Orthopaedic* 78:774-785.
  23. Dunne N.J., Hill J., McAfee P., Kirkpatrick R, Patrick S., Tunney M., 2008, Incorporation of large amounts of gentamicin sulphate into acrylic bone cement: effect on handling and mechanical properties, antibiotic release, and biofilm formation, *Journal Engineering in Medicine* 222 Part H:355-365
  24. Dunne N.J., Orr J. F., 2001, Influence of mixing techniques on the physical properties of acrylic bone cement, *Biomaterials* 22: 1819-1826.
  25. Dunne N.J., Orr J.F., 2002, Curing characteristics of acrylic bone cement, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 13: 17-22.
  26. Dunne N.J., Orr J.F., 1998, Flow characteristics of curing polymethylmethacrylate bone cement, *Proc Instn Mech Engrs*, volume 212 Part H:199-207.
  27. Edwards T, Habetz S, Dámbrósia R, 2001, The Effect of Polymethyl Methacrylate on Latex-Free Surgical Gloves *The Journal of Arthroplasty*, vol 16, N° 4.
  28. Elmaraghy A. W., Humeniuk B., Anderson G.I., Schemitsch E.H., Richards R.R., 1998, The role of methyl methacrylate monomer in the formation and haemodynamic outcome of pulmonary fat emboli, *The Journal of Bone & Joint Surgery* volume 80 B:156-161.

- 
29. European Union Risk Assessment Report, 2002, Methylmethacrylate, European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection.
  30. Fakhouri Jihad, Aftimos Georges, Hilal George, Sarkis Riad, 2008, The effects of methylmethacrylate monomer on testosterone level in male rats, *Lebanese Medical Journal* 56. 11-15.
  31. Food and Drug Administration, 2002, Class II Special Controls Guidance Document: Polymethylmethacrylate (PMMA) Bone cement; Guidance for Industry and FDA, [www.fda.gov/medicaldevices/.../ucm072795.htm](http://www.fda.gov/medicaldevices/.../ucm072795.htm) (12/12/2010).
  32. Fregert S., 1983, Occupational Hazards of Acrylate Bone Cement in orthopaedic surgery, *Acta Orthopaedic Scandinavica* 54, 787-789.
  33. Garcia Fernández M., Martinez J.J., Madruga E.L., 1997, Solvent effects on the free-radical polymerization of methyl methacrylate, *Polymer Communications* 39:991-995.
  34. Ginebra M.P., F.X. Gil, Planell J.A., Pascual B., Goni I., Gurruchaga M., Levenfeld B., Vázquez, San Román J., 1996, Relationship between the morphology of PMMA particles and properties of acrylic bone cements, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 7: 375-379.
  35. Gisele A. Nail, José L.S. Parizi, Camila F. Batalha, Carla C.B. Lopes, Mariana F. Rizzo, Ciro E. Falcone, José m. Bertão, 2007, Toxicidade pulmonar e hepática aos vapores do metilmetacrilato: um estudo experimental em ratos, *Revista Brasileira de Toxicologia* 20:47-53.
  36. Gladius Lewis, Si Janna, Anuradha Bhattaram, 2005, Influence of the method of blending na antibiotic power with na acrylic bone cement powder on physical, mechanical, and thermal properties of the cured cement, *Biomaterials* 26:4317-4325.
  37. Gomes Oliveira Maria da Conceição, 2004, Caracterização do comportamento mecânico de cimentos ósseos e osso trabecular bovino, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 111pp, <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11707/2/Texto%20integral.pdf>

- 
38. Graham Jove, Pruitt Lisa, Ries Michael, Gundiah Namrata, 2000, Fracture and Fatigue Properties of Acrylic Bone Cement: The Effects of Mixing Method, Sterilization Treatment and molecular Weight, *The Journal of Arthroplasty* 15:1028-1035.
39. Granchi Donatella, Ciapetti Gabriela, Savarino Lucia, Cenni Elisabetta, Pizzoferrato Arturo, Nicola Baldini, Armando Giunti, 2001, Effects of bone cement extracts on the cell-mediated immune response, *Biomaterials* 23:1033-1041.
40. Grewal Anju, Sing Avtar, Kaul K. Tej, Sood Dinesh, Yamin M., Narula N., 2004, Bone Cement and Haemodynamic Changes, *Journal Anaesthesiology Clinical Pharmacology* 20: 153-156.
41. Hass SS, Brauer GM, Dickson G, 1975, A characterization of polymethylmethacrylate bone cement, *Journal of Bone and Joint Surgery* 57:380-391.
42. Hasenwinkel M. Julie, Lautenschlager P. Eugene, Winxson L. Richard, Gilbert L. Jeremy, 1999, A novel high-viscosity, two-solution acrylic bone cement: Effect of Chemical composition on properties, *John Wiley & Sons*: 36-45.
43. He Shulin, Scott Christopher, Luise De Mike, Edwards Brian, Higham, 2002, Effect of choice of surgical gloves on dough time measurements of acrylic bone cement, *Biomaterials* 24: 235-237.
44. Hernández López Mónica, Santos Gonzalez Ramón, 2005, Cementos oseos acrílicos modificados com hidroxiapatita para implantes óseos, *Revista CENIC Ciências Biológicas* volume 37 nº 2:77-86.
45. Hext M. Paul, Pinto J. Patricia, Gaskell A. Barbara, 2001, Methylmethacrylate toxicity in rat nasal epithelium: investigation of the time course of lesion development and recovery from short term vapour inhalation, *Toxicology* 156: 119-128.
46. Hochman Nira, Zalkind Maya, 1997, Hypersensitivity to methylmethacrylate: Mode of treatment, *The Journal of Prosthetic Dentistry* 77: 93-96.

- 
47. Jensen Jogen Steen, Trap Birna, Skydsgaard, 1991, Delayed contact hypersensitivity and surgical glove penetration with acrylic bone cements, *Acta orthopaedic* 62:24-28.
  48. Johannsen F.R., Vogt Barbara, Waite Maureen, Deskin Randy, 2008, Mutagenicity assessment of acrylate and methacrylate compounds and implications for regulatory toxicology requirements, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 50: 322-335.
  49. Klaus-Dteter Kuhn, 2005, Properties of Bone Cement, *The well-cemented total Hip-Arthroplasty – Theory and Praticce* ,Brusch Malchan, Springer Medizin Verlag Heidelberg , pág. 61-67,
  50. Klekamp John, Dawson John M., Haas W. David, Deboer David, Christie Michael, 1999, The use of vancomycin and Tobramycin in Acrylic Bone Cement, *Biochanical Effects and Elution Kinetics for use in Joint Arthroplasty*, *The Journal of Arthroplasty* volume 14 n° 3:339-346.
  51. Lee Sai-Cheung, Wu Chieh-Tsai, Lee Shih-Tseng, Chen Po-Jen, 2009, Cranioplasty using polymethyl methacrylate prostheses, *Journal of Clinical Neuroscience* 16:56-63.
  52. Leggat Peter A., Smith Derek R., Kedjarune Ureporn, 2009, Surgical Applications of Methylmethacrylate: A Review of Toxicity, *Archives of Environmental & Occupational Health* volume 64, n°3:207-212.
  53. Lewis Gladius, 1997, Properties of Acrylic Bone Cement: State of the Art Review, John Wiley & Sons.
  54. Lewis Glaudis, Nyman Jeffrey, Trieu Hai H., 1997, The apparent fracture toughness of acrylic bone cement: effect of tree variables, *Biomaterials* 19:961-967.
  55. Lewis Gladius, 2000, Relative influence of composition and viscosity of acrylic bone cement on its apparent fracture toughness, *Bio-Medical Materials and Engineering*10.1-11.

- 
56. Lewis Glaudius, Xu J., Madigan S., M.R.Towler, 2007, Influence of two changes in the composition of an acrylic bone cement on its handling, thermal, physical, and mechanical properties, *Journal of Materials Science: Materilas in Medicine* 18:1649-1658.
57. Liljelind Ingrid E., Eriksson Kare A., Nilsson Leift O., Jonsson M.I. Birgitta, Burstrom Ylva I., 2005, A method for measuring the potencial dermal exposure to methylmethacrylate during two different dental technical work tasks, *J. Environmental Monitoring Royal Society of Chemistry* 7: 519-523.
58. Linder Lars, 1976, Tissue Reaction to Methyl Methacrylate Monomer, *Acta Orthopaedic* 47: 3- 10.
59. Liptáková Tatiana, Lelovics Henriquetta, Necas Libor, 2009, Variations of temperature of acrylic bone cements prepared by hand and vacuum mixing during their polymerization, *Acta of Bioengineering and Biomechanics Vol. 11:* 47-51.
60. Lomax L.G., Krivanek N.D., Framet S.R., 1996, Chronic Inhalation Toxicity and Oncogenicity of methylmethacrylate in Rats and Hamsters, *Food and Chemical Toxicology* 35:393-407.
61. Lonroth E-C, Wellendor H, Eystein R, 2003 Permeability of different types of medical protective gloves to acrylic monomers, *European Journal of Oral Sciences* 111: 440-446.
62. Lu J.X., Huang Z.W., Tropiano P., D orval B. Clouet, Remusat M., Dejou J. , Proust J.P., Poitout D., 2002, Human biological reactions at the interface between bone tissue and polymethylmethacrylate cement, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 13:803-809.
63. Magalhães Júnior N., Cheibub Z.B., Trachez M.M., 1991, Alterações hemodinâmicas e respiratórias nas artroplastias do quadril, *Revista Brasileira de Anestesiologia* vol.41, nº 46: 415-421.
64. Mainwaring Guy, Foster R. John, Lund Valerie, Green Trevor, 2001, Methylmethacrylate toxicity in rat nasal epithelium: studies of the mechanism of action and comparisons between species, *Toxicology* 158: 109-118.
-

- 
65. Marez T, Edmé J. L. , Boulenguez C., Shirali P, Haguenoer, 1993, Bronchial symptoms and respiratory function in workers exposed to methyl methacrylate, *British Journal of Industrial Medicine* 50:894-897.
66. Matthew J. Provenzano, Kieran P. J. Murphy, and Lee H. Riley III, 2004, Bone cements: Review of their physiochemical and biochemical properties in percutaneous vertebroplasty, *American Journal of Neuroradiology* 25:1286 – 1290.
67. Mendes Renato, 2006, Estudo experimental comparativo dos cimentos ósseos nacionais, pág. 1-115, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, <http://www.maxwell.lambda.ele.pucRio.br/Busca.ets.php?strsecao=resultadonrs&eq=98231>
68. Meyer P.R., JR, Lautenschlager E.P., Moore B.K., 1973, On the setting Properties of acrylic bone cement, *The Journal of Bone and Joint Surgery* 55: 149-156.
69. Monteny E., Delespesse G., Screyen H and Spiette, 1978, Methylmethacrylate hypersensitivity in orthopaedic Surgery, *Acta Orthopaedica* 49: 186-191.
70. Morejón L. Delgado J.A., Agüero L., Rapado M. Ginebra M.P., Gil F.J., Mendizábal E., 2008, Effect of the Sterilization Process on Physical and Mechanical Properties of the Bonacryl Bone Cement, *Latin American Applied Research* 38:201-204.
71. Murali Jasty, M.D., Jeffrey P. Davies, Daniel O.O Connor, Daniel W. Burke, Timothy P.Harrigan, William H. Harris, 1990, Porosity of Various preparations of acrylic bone cements, *Clinical Orthopaedics and Related Research* 259:122-129.
72. Nail Gisele A., Parizi L.S. José, Batalha F.Camila, Lopes C.B. Carla, Rizzo F.Mariana, Falcone E.Ciro, Bertão M.José, 2007, Toxicidade Pulmonar e Hepática aos vapores de Metilmetacrilato: um estudo experimental em ratos, *Revista Brasileira de Toxicologia* nº 20: 47-53.



- 
73. Nussbaum A. David, MS, Gailloud Philippe, Murphy Kieran, 2004, The chemistry of Acrylic Bone cements and implications for clinical use in image-guided therapy, *Journal Vasc Interv Radiology* 15:121-126.
74. Orr J.F., Dunne N. J., Quinn J.C., 2003, Shrinkage stresses in bone cement, *Biomaterials* 24: 2933 – 2940.
75. Park B. Joon, 1983, Acrylic bone cement: in vitro and in vivo property-structure relationship- a selective review, *Annals of Biomedical Engineering*, vol 11:297-312.
76. Pascual B., Vázquez B., Gurruchaga M., Goni I., Ginebra M.P., Gil F.J., Planell J.A., Levenfeld, Román San J., 1996, New aspects of the effect of size and size distribution on the setting parameters and mechanical properties of acrylic bone cements, *Biomaterials* 17: 509-516.
77. Passuti Norbert, Gouin François, 2003, Antibiotic-loaded bone cement in orthopedic surgery, *Joint Bone Spine* 70:169-174.
78. Peebles J.Douglas, Ellis H. Richard, Stride S.D.K., Simpson B.R.J, 1972, Cardiovascular Effects of Methylmethacrylate Cement, *British Medical Journal* 1:349-351.
79. Pople K. Ian, Phillips Hugh, 1988, Bone cement and the liver: a dose-related effect?, *Journal of Bone and Joint Surgery* 70 – B:364-366.
80. Provenzano Matthew, Murphy Kieran P.J. Kieran, Riley Lee H., 2004, Bone Cements: Review of Their Physiochemical and Biochemical Properties in Percutaneous Vertebroplasty, *American Journal of Neuroradiology* 25:1286-1290.
81. Rajaniemi R., Pfaffli P., Savolainen H., 1989, Percutaneous absorption of methylmethacrylate by dental technicians, *British Journal of Industrial Medicine* 46:356-357.
82. Sabokbar Afsaneh, Fujikawa Yosuke, Murray W. David, Athanasou A. Nicholas, 1997, Radio-opaque agents in bone cement increase bone resorption, *British Editorial Society of Bone and Joint Surgery*, volume 79 n° 1:129-134.

- 
83. Sadoh D.R., Sharief M.K., Howard R.S., 1999, Occupational exposure to methylmethacrylate monomer induces generalized neuropathy in a dental technician, *British Dental Journal* volume 186, n°8:380-381.
  84. Scheurs B. William, Pieter T.J. Spierings, Huiskes Rilk, Slooff J.J.H., 1988, Effects of preparation techniques on the porosity of acrylic cements, *Acta Orthopaedic Scandinavica* 59: 403-409.
  85. Schlegel U, Strum M, Ewerbeck V, Breusch S, 2004, Efficacy of vacuum bone cement mixing systems in reducing methylmethacrylate fume exposure, *Acta Orthopaedica*, 75:559-556.
  86. Schlegel ULF J., Strum M., Eysel P., Breusch J. Steffen, 2010, Pre- Packed Vacuum Bone Cement Mixing Systms. A Further Step in Reducing Methylmethacrylate Exposure in Surgery, *Ann. Occup. Hyg.* 1-7.
  87. Scott D. Muller, MD, MRCS, and Andrew W. McCaskie, 2006, Dynamic void behavior in polymerizing polymethylmethacrylate cement, *The Journal of Arthroplasty* vol.21: 279-283.
  88. Tanner K.E., Wang Jian-Sheng, Kjellson Fred, Lidgren Lars, 2009, Comparison of two methods of fatigue testing bone cement, *Acta Biomaterialia*, 30: 1-10.
  89. Tomeson John A., Carpenter Arvind V., Pemberton Mark A., 2005, Critical review of the epidemiology literature on the potential cancer risks of methylmethacrylate, *International Archives Occupational Health* 78:603-612.
  90. Ungers J. Leslie, Vendrely G. Timothy, Barnes Lowry C., 2007, Control of Methylmethacrylate During the Preparation of Orthopedic Bone Cements, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 4:272-280.
  91. United States, Environmental Protection Agency, 2006, Methylmethacrylate (CASRN 80-62-6) .
  92. Walker G.M., Daly C., Dunne N.J., J.F. Orr, 2008, Liquid monomer-particle interaction in acrylic bone cement, *Chemical Engineering Journal* 139:489-494.

- 
93. Wang Jian-Sheng, Kjellson Fred Kjellson, 2005, Bone cement Porosity in Vacuum Mixing Systems, pág.81-95 In: Bone Cements and Cementing Technique, D.W.Murray, G:H.I.M. WalenKamp, Springer.
94. Webb J. C. J. , Spencer, R. F., 2007, The role of polymethylmethacrylate bone cement in modern orthopaedic surgery, Journal of Bone and Joint Surgery British Volume 89: 851-857.
95. Willert H.G., Mueller K., Semlitsch M., 1979, The morphology of polymethylmethacrylate bone cement: surface structures and causes of their origin,Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery 94: 265-292.
96. Yang Hui-Wen, Chou Lin Shin-shen, Chou Ming-Yung, Chang Yu-Chao, 2003, Assessment of genetic damage by methylmethacrylate employing in vitro mammalian test system, Biomaterials 24:2909-2914.
97. Yetkinler N. Duran, Litsky S. Alan, 1998, Viscoelastic behaviour of acrylic bone cements, Biomaterials 19: 1551-1559.
98. Yong –Chul Kim, Moon- Seong Cho, Sung –Soon Kim, SooYeong Kim, Yoon-Geun Lee, Tae-Hwan Kim, Sung-Ryang Jung, 1995, Profound Hypotension immediately following insertion of methylmethacrylate during Bipolar Endoprosthesis in a patient with long-term Levodopa-treated Paralysis Agitans, Journal of Korean Medical Science volume 10 n° 1: 31-35.

---

# ANEXO I

(Questionário)

---

## **QUESTIONÁRIO**

*Muito obrigado por ter aceite participar neste estudo.*

*Os seus principais objectivos são:*

- Identificar quais as formas mais utilizadas de preparação e aplicação do Metilmetacrilato
- Quantificar qual o tempo de exposição dos profissionais do bloco operatório ao Metilmetacrilato, comparando-o com os valores recomendados internacionalmente
- Avaliar os conhecimentos dos profissionais sobre os riscos inerentes á utilização deste cimento

### 1 – **Instituição**

Pública

Privada

### 2 – **Sexo**

M

F

### 3 – **Idade**

|\_|\_|\_|

### 4 – **Anos de serviço** no Bloco Operatório

|\_|

---

5 – Qual a **técnica de preparação** do cimento ósseo acrílico que mais utiliza:

Método manual

Sistema de vácuo para mistura

Sistema de vácuo para mistura e aplicação

Centrifugação aberta

Outra \_\_\_\_\_

6 – Qual a **técnica de aplicação** do cimento ósseo acrílico que habitualmente utiliza?

Manual

Pistola

Mista (manual e pistola)

7 – Em **média quantas horas** trabalham por semana?

|\_\_|

8 – Em média, **durante a semana de trabalho**, quantas embalagens de cimento ósseo acrílico utiliza por dia?

|\_\_|

9 – Numa **semana de trabalho**, em média em quantas cirurgias participa por dia com utilização do cimento ósseo acrílico?

|\_\_|

9.1 – Numa cirurgia com utilização de cimento ósseo acrílico, em média **quantos minutos estão exposto(a)** a esta substância (considere o tempo de preparação até a sua aplicação)?

|\_\_|

---

10 - Tem conhecimento das **normas preconizadas para o manuseamento** do cimento ósseo acrílico?

Sim

Se sim: Qual? \_\_\_\_\_

Não

11 – Na sua instituição existem **recursos (sistemas de vácuo e aplicadores)** que permitam obedecer as normas preconizadas para o manuseamento do cimento ósseo acrílico?

Sim

Não

12 – Aquando do seu manuseamento manifestou algum dos seguintes **sinais e sintomas**?

Cefaleias

Lipotímias

Letargia

Dispneia

Tosse

Aperto torácico

Outro  Qual? \_\_\_\_\_

13– Faz algum **controlo analítico** regular da função hepática e renal?

Sim

Não

---

13.1 - Se sim:

Com que periodicidade?

≤ 6 meses

6 meses – 1 ano

≥ 1ano

13.2. – Se sim:

Que alterações notou?

Subidas de transaminases (TGO, GGT, TGP)

Alteração da função renal

Outras \_\_\_\_\_

Muito obrigada pelo tempo despendido e pelo contributo que deu!