

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E  
INFORMÁTICA INDUSTRIAL

ALANA CAROLINE FRANÇA

**CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DE FILTROS DE ALUMÍNIO DE  
EQUIPAMENTOS DE RAIOS X ODONTOLÓGICOS INTRABUCAIS**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2014

ALANA CAROLINE FRANÇA

**CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DE FILTROS DE ALUMÍNIO DE  
EQUIPAMENTOS DE RAIOS X ODONTOLÓGICOS INTRABUCAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de “Mestre em Ciências” – Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Sergei Anatolyevich Paschuk

Co-orientadora: Prof. Dra. Anna Silvia Penteado Setti da Rocha

CURITIBA

2014

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

- F814 França, Alana Caroline  
Caracterização elementar de filtros de alumínio de equipamentos de raios X odontológicos intrabucais / Alana Caroline França. – 2014.  
70 f. : il. ; 30 cm
- Orientador: Sergei Anatolyevich Paschuk.  
Coorientadora: Anna Sílvia Penteadó Setti da Rocha.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Curitiba, 2014.  
Bibliografia: f. 51-54.
1. Ligas de alumínio. 2. Filtros e filtração. 3. Espectroscopia de raios X. 4. Espectroscopia de fluorescência. 5. Dentes – Radiografia. 6. Radiografia – Qualidade da imagem. 7. Engenharia biomédica. 8. Engenharia elétrica – Dissertações. I. Paschuk, Sergei Anatolyevich, orient. II. Rocha, Anna Sílvia Penteadó Setti da, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. IV. Título.

---

CDD (22. ed.) 621.3

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Título da Dissertação N°. 654

**“Caracterização Elementar de Filtros de Alumínio de Raios X Odontológicos Intrabucais.”**

por

**Alana Caroline França**

**Orientador:** Prof. Dr. Sergei Anatolyevich Paschuk

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Engenharia Biomédica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, às 16h00 do dia 19 de fevereiro de 2014. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores doutores:

---

Prof. Dr. Sergei Anatolyevich Paschuk  
(Presidente – UTFPR)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Lúcia Tolazzi  
(PUCPR)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jaqueline Kappke  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. André Luiz Coelho Conceição  
(UTFPR)

Visto da coordenação:

---

Prof. Ricardo Lüders, Dr.  
(Coordenador do CPGEI)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CPGEI, pelo curso ofertado e pelo suporte a esse trabalho;

À CAPES, pelo apoio financeiro;

Ao orientador professor Sergei Paschuk pela orientação e ajuda;

À professora Anna Rocha pela co-orientação e apoio;

À professora Ângela Fernandes (UFPR) pela cooperação e disponibilidade dos materiais da pesquisa;

À professora Jaqueline por auxiliar a desenvolver a pesquisa, desde seu início;

À professora Janine, pelas correções e auxílio sempre que necessário;

À Catarina, pela colaboração com esse trabalho, além da companhia e amizade;

Igualmente ao Allan e ao Alessandro, pelos auxílios nos cálculos, nas medidas e pela amizade;

Aos colegas do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, pela ajuda, risadas, bons momentos e conselhos;

À minha família, em especial à mãe, pai e Eros, pelo carinho, paciência e por acreditarem em mim;

Ao meu noivo Rodrigo, pela compreensão, paciência e por me incentivar sempre;

À Deus pela oportunidade da vida.

## RESUMO

FRANÇA, Alana Caroline. Caracterização elementar de filtros de alumínio de equipamentos de raios X odontológicos intrabucais. 2014. 69 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

A busca pela qualidade radiográfica com a menor dose de radiação absorvida é uma constante na comunidade radiológica. Juntamente com o princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), os filtros de alumínio são peças fundamentais para barrar os fótons de baixa energia que não contribuem para a imagem e depositam dose de radiação para o paciente. De acordo com a Portaria nº453, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária decretou que todos os equipamentos de raios X odontológicos intrabucais devem possuir a filtração adicional. Nesse sentido, os filtros são peças fundamentais para a proteção radiológica do paciente. Este estudo tem por objetivo caracterizar a composição elementar dos filtros de raios X de equipamentos de raios X odontológicos intrabucais. O estudo também relaciona a composição elementar com a qualidade das imagens radiográficas. A análise dos filtros foi realizada por meio do método de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF). Foram analisados, qualitativa e quantitativamente, dez filtros de alumínio. Para avaliar a qualidade das imagens, foram realizadas 30 radiografias periapicais dos dentes molares com 0,3 s de tempo de exposição (dez radiografias) e incisivos com 0,2 s e 0,3 s (vinte radiografias) com os diferentes filtros em um equipamento com os parâmetros de 66 kV e 6,5 mA. Os filtros e as radiografias foram identificadas, para que fosse possível distinguir a que filtro cada radiografia pertencia no momento das avaliações. Todas as radiografias foram feitas sob as mesmas condições. As radiografias foram submetidas à análise das densidades óticas por um densitômetro e posteriormente, enviadas a cirurgiões dentistas radiologistas que fizeram a análise subjetiva. Foram selecionadas três regiões para análise do densitômetro (diferenciadas entre dentes molares e incisivos) e uma região para análise subjetiva (diferentes regiões para dentes molares e incisivos). Os dados obtidos foram correlacionados com a avaliação dos efeitos da composição elementar dos filtros na qualidade das imagens radiográficas. Os elementos encontrados na análise dos filtros foram: Al, S, Cl, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn e Zr. Os filtros apresentaram maiores concentrações de alumínio, com mais de 96% sendo os outros elementos contaminantes ou elementos que foram adicionados para melhorar a estabilidade mecânica do filtro. As densidades óticas das radiografias seguiram um padrão nas regiões analisadas, exceto as regiões enegrecidas do filme. A análise subjetiva revelou que muitas das radiografias realizadas poderiam ser aceitas para diagnóstico. Porém, imagens consideradas com baixo contraste obtiveram o mesmo valor de densidade ótica. Os resultados mostraram que a composição elementar dos filtros não modificou a qualidade da imagem. Por conseguinte, os filtros convencionais pesquisados oferecem uma opção aceitável para a produção de imagens de qualidade em radiologia odontológica, apesar das diferenças na composição das ligas.

**Palavras-chave:** Filtros de alumínio, EDXRF, Qualidade radiográfica

## ABSTRACT

FRANÇA, Alana Caroline. Elemental characterization of aluminum filters of intraoral x-ray equipment. 2014. 69 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The quest for radiographic quality with the lowest dose of radiation absorbed is a constant in the radiology community. Along with the ALARA principle (As Low As Reasonably Achievable), the aluminum filters are essential parts to bar the low energy photons do not contribute to the image and cause radiation dose to the patient. According to standard Portaria No. 453, the Agência Nacional de Vigilância Sanitária decreed that all equipment intraoral dental X-rays must have an additional filtration. According this, the filters are essential parts to radiological protection of patients. This study aims to characterize the elemental composition of filters used in intraoral X-ray equipment. We also intend to relate them to the quality of the radiographic images. The analysis of the filters was made using the method Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF). Ten aluminum filters were analyzed (qualitatively and quantitatively). To evaluate the quality of images, 30 periapical radiographs of molars to 0.3 s (ten radiographs) and the incisor teeth 0.2 and 0.3 s (twenty radiographs) were performed with different filters. All filters and all radiographs were identified, it was possible to distinguish which folder each radiograph belonged at the time of the evaluations. All radiographs were performed under the same conditions. Radiographs were subjected to analysis of optical density by a densitometer and later, two dentists radiologists realized a subjective analysis. Three regions for analysis of the densitometer (differentiated between molars and incisors) and a region for subjective analysis (for different regions molars and incisors) were selected. The data were correlated with the assessment of the effects of the elemental composition of all filters in the quality of radiographic images. From the results, the elements of the filters in the analysis were: Al, S, Cl, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn and Zr. The filters had higher aluminum concentrations (over 96%), other elements were contaminants or components that are added to improve the mechanical stability of the filter. The optical densities of radiographs followed a pattern for the regions analyzed except blackened regions of the film. Subjective analysis revealed that many of the radiographs were accepted for diagnosis. But considered low-contrast images obtained the same value of optical density. Therefore, it is concluded that the elemental composition of filters do not change the image quality. Consequently, conventional filters were evaluated option to produce an acceptable image quality in dental radiology, despite differences in the composition of the alloys.

**Keywords:** Aluminum filters, EDXRF. Radiographic quality

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Raios X característicos .....	15
Figura 2 - Raios X de freamento sofrendo o desvio da trajetória .....	16
Figura 3 - Espectro de emissão da produção de raios X.....	16
Figura 4 - Espectro contínuo dos raios X de freamento .....	17
Figura 5 - Representação do efeito fotoelétrico.....	19
Figura 6 - Transições $K\alpha$ , $K\beta$ , $L\alpha$ e assim sucessivamente.....	20
Figura 7 - Ilustração do arranjo dos equipamentos da EDXRF .....	21
Figura 8 – Espectros realizados com alvos de prata e ouro a 50 kV.....	22
Figura 9 - Espectro com picos identificados na cor azul .....	23
Figura 10 - Filtro de alumínio (seta) na saída do tubo de raios X.....	29
Figura 11 - Figura com os filtros e a classificação por letras.....	29
Figura 12 - Ângulos e distâncias utilizadas na EDXRF, com o equipamento da AMPTEK .....	30
Figura 13 - Equipamento de EDXRF montado em uma base de microscópio óptico .....	31
Figura 14 - Equipamento de raios X odontológico intrabucal .....	32
Figura 15 - Mandíbula humana macerada com a cera utilidade para simulação de um paciente.....	33
Figura 16 - Posicionadores específicos para radiografias periapicais de molares (laterais) e incisivos (centro).....	35
Figura 17 - Posicionamento dos filmes radiográficos .....	35
Figura 18 - (1) coroa do dente 36, (2) região alveolar próxima da raiz distal do dente 36 e a (3) região mais enegrecida do filme no lado superior ao dente 37 .....	36
Figura 19 - (1) coroa do dente 31, (2) região alveolar entre os ápices dos dentes 31 e 41 e a (3) região mais enegrecida do filme no canto superior esquerdo ao dente 31 .....	36



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios atribuídos à avaliação subjetiva .....	37
Tabela 2 - Elementos químicos encontrados nos filtros de alumínio através do uso da técnica de EDXRF .....	38
Tabela 3 – Porcentagens em massa (wt%) e intensidade dos picos de alumínio nos filtros analisados.....	39
Tabela 4 - Valores das densidades ópticas da região da coroa do dente 36 das radiografias.....	41
Tabela 5 - Densidades ópticas da região alveolar próxima à raiz distal do dente 36 das radiografias.....	41
Tabela 6 - Densidades ópticas da região enegrecida das radiografias .....	42
Tabela 7 - Valores das densidades ópticas da região da coroa do dente 31 das radiografias a 0,2 s.....	43
Tabela 8 - Valores das densidades ópticas da região alveolar entre os ápices dos dentes 31 e 41 das radiografias a 0,2 s .....	43
Tabela 9 - Densidades ópticas da região enegrecida das radiografias a 0,2 s .....	44
Tabela 10 - Valores das densidades ópticas da região da coroa do dente 31 das radiografias a 0,3 s.....	44
Tabela 11 - Valores das densidades ópticas da região alveolar entre os ápices dos dentes 31 e 41 das radiografias a 0,3 s .....	45
Tabela 12 - Densidades ópticas da região enegrecida das radiografias a 0,3 s .....	45
Tabela 13 - Radiografias dos dentes molares a 0,3 s avaliadas pelos avaliadores 1 e 2 .....	46
Tabela 14 - Radiografias dos dentes incisivos a 0,3 s avaliadas pelos avaliadores 1 e 2 .....	47
Tabela 15 - Radiografias dos dentes incisivos a 0,2 s avaliadas pelos avaliadores 1 e 2 .....	47

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 MOTIVAÇÕES .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	12
1.2.1 Objetivo Geral .....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	12
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 INTRODUÇÃO AOS RAIOS X .....	14
2.1.1 Raios X característicos .....	15
2.1.2 Raios X de freamento ( <i>Bremsstrahlung</i> ) .....	15
2.1.3 Espectro de emissão dos raios X .....	16
2.1.4 Interação da radiação com a matéria .....	17
2.1.4.1 Efeito Fotoelétrico .....	18
2.1.4.2 Espalhamento coerente e incoerente .....	18
2.1.4.3 Elétron Auger .....	19
2.2 ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (XRF) .....	19
2.2.1 Fundamentos teóricos .....	19
2.2.2 Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF) .....	21
2.3 FILTROS DE ALUMÍNIO .....	24
2.4 RADIOGRAFIA .....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
3.1 MATERIAIS .....	28
3.1.1 Filtros de Alumínio .....	28
3.1.2 Equipamento de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF) .....	30
3.1.3 Equipamento de raios X odontológico intrabucal .....	31
3.1.4 Filmes radiográficos .....	32
3.1.5 Objeto simulador ( <i>phantom</i> ) .....	32
3.1.6 Processadora automática .....	33
3.1.7 Densitômetro .....	33
3.2 MÉTODOS .....	33
3.2.1 Análise dos filtros de Al .....	33
3.2.2 Radiografias .....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
4.1 ANÁLISE QUALITATIVA DOS FILTROS DE ALUMÍNIO .....	38
4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FILTROS DE ALUMÍNIO .....	38
4.3 DENSIDADE ÓPTICA DAS RADIOGRAFIAS .....	40
4.3.1 Radiografias dos dentes molares a 0,3 s .....	40
4.3.2 Radiografias dos dentes incisivos a 0,2 s .....	42
4.3.3 Radiografias dos dentes incisivos a 0,3 s .....	44
4.4 AVALIAÇÃO SUBJETIVA DAS RADIOGRAFIAS .....	46
<b>5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>49</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>55</b>
<b>APÊNDICE B</b> .....	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A descoberta dos raios X em novembro de 1895 propiciou uma revolução na medicina e na melhoria da saúde das pessoas. O diagnóstico de lesões internas foi de ano em ano sendo aprimorado por meio dessa técnica de diagnóstico por imagem. Porém, juntamente com a descoberta e o uso indiscriminado dos raios X, começou-se a perceber que a radiação ionizante poderia trazer malefícios relacionados com a saúde dos indivíduos (BUSHONG, 2008).

Nesse sentido, a busca por medidas de radioproteção para o paciente e para os trabalhadores se tornou uma constante no âmbito das pesquisas acadêmicas.

No Brasil, a Agência de Vigilância Sanitária (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998) aprovou a Portaria nº453, de 1 de junho de 1998, onde estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico.

A radiografia intrabucal é um instrumento de avaliação de grande valor para a Odontologia. Embora utilize radiação ionizante, esse exame colabora com os cirurgiões dentistas na realização de planejamento cirúrgicos, implantes, acompanhamento pós-cirúrgico, identificação de lesões do complexo dento maxilo-mandibular, entre outros, não excluindo outras formas de diagnóstico (TOSONI, CAMPOS e SILVA, 2003; CARVALHO *et al.*, 2009).

De acordo com o princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), a radiação ionizante utilizada para realizar um exame deve ser a menor possível desde que a imagem tenha qualidade suficiente para realização do diagnóstico. Portanto, a qualidade radiográfica das radiografias intrabucais deve ser a melhor possível para valorizar as informações para diagnóstico.

A otimização da dose está ligada diretamente a alguns fatores, como por exemplo, o uso de filtros que tem por objetivo absorver a radiação de menor energia e que não contribui para a imagem (BUSHONG, 2008), mas aumenta a dose absorvida.

De acordo com a Portaria 453, o cabeçote do aparelho de raios X odontológico possui uma filtração da radiação de menor energia, que é denominado como filtração total, que é a soma da filtração inerente e a filtração adicional. A filtração total não deve ser menor do que 1,5mm equivalente de alumínio para equipamentos com 70kVp ou menos e 2,5mm para equipamentos com tensão maior do que 70kVp.

A filtração inerente se dá pela equivalência dos seus compostos à milímetros de alumínio, por exemplo, o óleo para resfriamento e as composições metálicas que configuram o tubo. Já a filtração adicional se dá por filtros de alumínio, que são estruturas compostas por ligas metálicas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998).

## 1.1 MOTIVAÇÕES

Tendo em vista que as radiografias intrabucais correspondem a 20% da exposição de raios X a que o paciente é submetido em toda sua vida, no Brasil segundo Yacobenco (2001), e que a dose absorvida nesse tipo de exame pode acarretar riscos biológicos, o tema estudado é relevante no que se refere a saúde pública e a pesquisa em geral sobre materiais.

O alumínio puro é um metal muito maleável e por essas razões, quando utilizado em estruturas metálicas, outros metais são adicionados à essa liga, a fim de garantir suporte mecânico à esse material. Os elementos metálicos inseridos são na sua maioria o cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), entre outros (PRADOS; SORDI; FERRANTE, 2007).

Os filtros utilizados em equipamentos de raios X odontológicos intrabucais são discos metálicos de uma liga de alumínio (na maioria dos casos) e está localizado entre a saída do tubo de raios X e o colimador.

Estudos indicam que existe no Brasil cerca de 34 066 equipamentos de raios X odontológicos, sendo as radiografias intrabucais responsáveis por 94% do seu uso em 2009 (LIRA *et al.*, 2012).

Os filtros de alumínio são estruturas obrigatórias nos equipamentos de raios X odontológicos intrabucais. Sabendo que o objetivo principal da radiologia é produzir imagens com qualidade, os filtros se mostram como coadjuvantes no processo de aquisição de uma radiografia periapical com qualidade diagnóstica (TOSONI, CAMPOS E SILVA, 2003; CARVALHO *et al.*, 2009).

O Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) tem por tradição desenvolver pesquisas relacionadas com radiação ionizante natural (radônio) e artificial (raios X) e com dosimetria. Em 2011, o laboratório adquiriu o equipamento de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF) que possui as características compatíveis

com os objetivos de pesquisas na área de caracterização de filtros de alumínio de equipamentos de raios X odontológicos intrabucais.

De acordo com o número de equipamentos em uso no Brasil e a relevância que a radiografias periapicais exercem na quantidade de dose absorvida no paciente, essa pesquisa pretende verificar a relação da composição dos filtros de alumínio com a qualidade das imagens radiográficas intrabucais visando diagnóstico.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a composição metálica dos filtros de alumínio de equipamentos de raios X odontológicos intrabucais utilizando a Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF).

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar e quantificar os elementos químicos presentes nos filtros de alumínio utilizando a técnica de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF).
- Montar um objeto simulador (*phantom*) que permitirá a realização de radiografias periapicais utilizando diferentes filtros sob as mesmas condições.
- Utilizar o densitômetro para verificar as densidades óticas das radiografias em locais pré-definidos.
- Submeter as radiografias periapicais à avaliação subjetiva de cirurgiões dentistas.
- Relacionar a composição dos filtros de alumínio com a qualidade das radiografias periapicais.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está organizada em capítulos, os quais estão descritos a seguir:

O capítulo 1 introduz o tema, os objetivos da pesquisa (geral e específicos), as motivações que encorajaram o desenvolvimento desse trabalho.

O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, base teórica para fundamentação da metodologia.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos do desenvolvimento da pesquisa.

No capítulo 4 são apresentados os resultados da pesquisa, com discussões dos achados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas corroborando com as objetivos propostos.

Ao final do trabalho, estão as referências utilizadas nessa pesquisa, bem como apêndices.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A técnica de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF) é um método instrumental analítico não destrutivo empregado para obtenção de dados qualitativos e quantitativos de uma amostra, nos estados sólido e líquido.

A EDXRF permite uma identificação rápida dos elementos constituintes de uma amostra a ser analisada, sejam eles metálicos ou não, o que propicia o seu uso em larga escala em ensaios industriais, nas análises geológicas, arqueológicas, biológicas, entre outras (NAGATA, BUENO e PERALTA-ZAMORA, 2001).

Através da utilização de um tubo de raios X ou uma fonte de radiação (radioisótopo) é possível excitar o átomo do material que será analisado e, com um sistema de detecção, detectar o fóton fluorescente (BELMONTE, 2005).

A análise da técnica de EDXRF se dá por meio de espectros que quantificam e qualificam os elementos da amostra, através do padrão de fluorescência de cada elemento. Esses espectros são formados a partir da análise de um *software*, que utiliza como padrão a calibração realizada no equipamento (GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002).

### 2.1. INTRODUÇÃO AOS RAIOS X

Os raios X são ondas eletromagnéticas que estão presentes em diversas situações do cotidiano das pessoas, como em um exame realizado no hospital, nas indústrias, em pesquisas, entre outros (LIFSHIN, 1999).

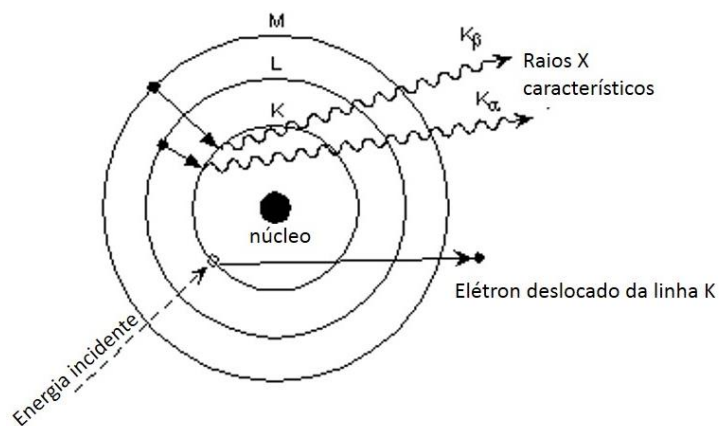
Em uma ampola de vidro selada e com vácuo no seu interior há dois eletrodos chamados ânodo e cátodo. O cátodo possui um filamento onde circula uma corrente elétrica que provoca seu aquecimento e emissão dos elétrons. Com a diferença de potencial, na faixa de quilovolt, existente entre o cátodo e o ânodo, os elétrons são acelerados e colidem com último.

Durante esse processo os elétrons perdem sua energia produzido os raios X mas 99% dessas perdas são transformadas em calor aquecendo o anodo. Para evitar o superaquecimento do tubo, o mesmo precisa ser refrigerado (EISBERG e RESNICK, 1994).

A produção de raios X envolve dois tipos, os raios X característicos e os raios X de freamento.

### 2.1.1 Raios X característicos

Os raios X característicos são formados pela ionização dos elétrons das camadas mais internas do átomo do alvo. A energia do elétron que incide é capaz de retirar um elétron das camadas mais internas do átomo, o que o torna instável. Desse modo, um elétron de uma camada mais externa ocupa a vacância deixada pelo elétron e o excesso de energia é liberado em forma de um fóton (Figura 1). Por ser um efeito em cascata, vários fótons são liberados (GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002).



**Figura 1: Raios X característicos**

Fonte: Adaptado de Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2014)

### 2.1.2 Raios X de freamento (*Bremsstrahlung*)

Os raios X de freamento, também conhecidos como *Bremsstrahlung*, são formados pela desaceleração de um elétron, quando esse passa próximo ao núcleo do átomo, o que faz desviar sua trajetória, como mostrado na Figura 2. Como a energia é sempre transformada, a desaceleração do elétron libera um fóton de energia. O feixe de raios X é polienergético pois a desaceleração é contínua (EISBERG e RESNICK, 1994).



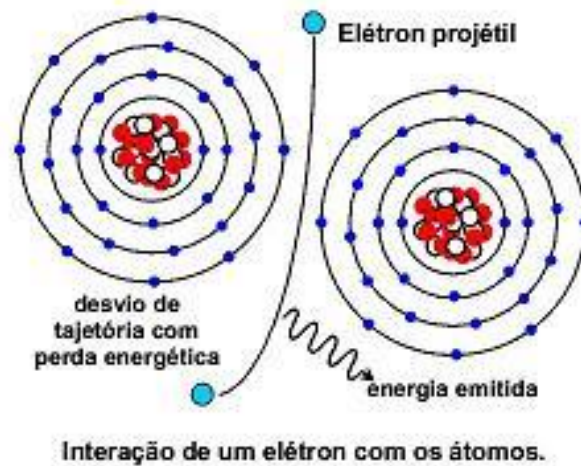


Figura 2: Raios X de freamento sofrendo o desvio da trajetória

Fonte: Física (2011)

### 2.1.3 Espectro de emissão dos raios X

O espectro de emissão dos raios X é composto por uma região contínua que corresponde aos raios X de freamento e uns picos que aparecem devido aos raios X característicos (Figura 3).

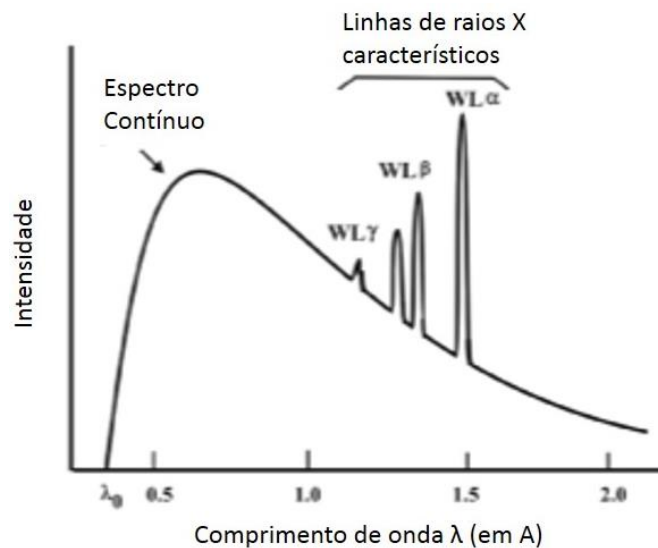
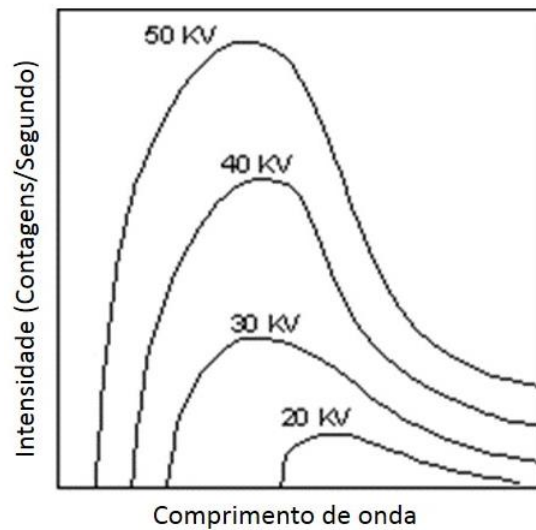


Figura 3: Espectro de emissão da produção de raios X

Fonte: Adaptado de VERMA (2007)

A porção contínua depende da energia dos elétrons e do material do alvo. Quanto maior a tensão, o elétron terá mais energia, modificando assim o espectro, como mostrado na Figura 4.



**Figura 4: Espectro contínuo dos raios X de freamento**

**Fonte: Adaptado de Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2014)**

A porção do espectro que representa a radiação característica depende do material do alvo, pois cada elemento tem uma energia de ligação das suas camadas com o núcleo do átomo. Logo, se um elétron tem energia suficiente para retirar um elétron da camada K, um elétron da camada L o substitui e assim obtém-se uma transição  $K\alpha$ . Se ocorrer entre a camada M para a K, tem-se uma  $K\beta$ , e assim por diante (VERMA, 2007).

#### 2.1.4 Interação da radiação com a matéria

Quando os raios X atingem um material qualquer, são absorvidos (maior ou menor absorção dependendo do material), e a porção da radiação que não é absorvida, ultrapassa o material com uma intensidade reduzida.

Segundo a Lei de Lambert-Beer, descrita pela equação 1, a relação da radiação incidente e emergente é:

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (1)$$

Onde  $I$  é intensidade da energia emergente,  $I_0$  a intensidade da energia incidente,  $\mu$  o coeficiente linear de absorção e  $t$  a espessura da amostra. Pode-se relacionar a equação de Lambert-Beer, isolando o  $\mu$ , mostrado na equação 2:

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{t} \quad [cm^{-1}] \quad (2)$$

Dessa relação, quando dividida pela densidade, tem-se que o coeficiente de absorção por massa,  $\mu_m$  é:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad [cm^2/g] \quad (3)$$

O coeficiente de absorção por massa depende do material que está sendo atingido pelos raios X e também da energia, e para a EDXRF, indica a probabilidade de absorção de fótons por um dado elemento químico.

A interação da radiação com a matéria se dá por alguns processos, descritos a seguir.

#### 2.1.4.1 Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico ocorre quando um fóton tem energia capaz de retirar um elétron do átomo do material irradiado. Elétrons de camadas mais externas ocupam a vacância deixada para restabelecer o equilíbrio do átomo, e fótons são liberados.

Na EDXRF esse processo é muito importante, pois esses fótons são detectados e identificados (PARREIRA, 2006).

#### 2.1.4.2 Espalhamento coerente e incoerente

Os processos de espalhamento coerente e incoerente estão ligados ao *background* do espectro de emissão. E de acordo com o aumento do número atômico, a radiação espalhada se torna mais presente.

O espalhamento coerente (elástico ou Rayleigh) acontece quando o fóton interage com o elétron, não existindo perda de energia.

Já o espalhamento incoerente, Efeito Compton ou espalhamento inelástico, ocorre quando um fóton interage com um elétron e perde parte da energia na retirada desse elétron do átomo do material (GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002).

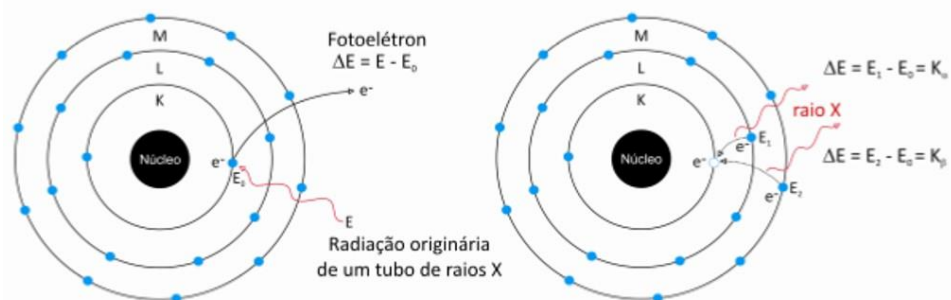
### 2.1.4.3 Elétron Auger

O elétron Auger acontece quando um elétron de uma camada mais externa preenche o espaço que foi deixado por um elétron ejetado do átomo. A energia liberada por esse preenchimento, interage com outro elétron do átomo e esse é expulso. Acontece com maior probabilidade em elementos de baixo número atômico (GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002).

## 2.2 ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (XRF)

### 2.2.1 Fundamentos teóricos

A técnica de XRF consiste na interação dos raios X com a amostra e devido a essa interação, os fótons liberados podem ser detectados pelo detector. Considerando todas as maneiras de interação da radiação com essas amostras, a que mais interessa para a técnica de XRF é o efeito fotoelétrico (Figura 5). Esse acontece quando um fóton interage com a matéria, liberando um elétron da camada mais interna da amostra. Para preencher a vacância deixada pelo elétron, outro elétron da camada mais externa ocupa o seu lugar, liberando um fóton de energia (EISBERG e RESNICK, 1994).



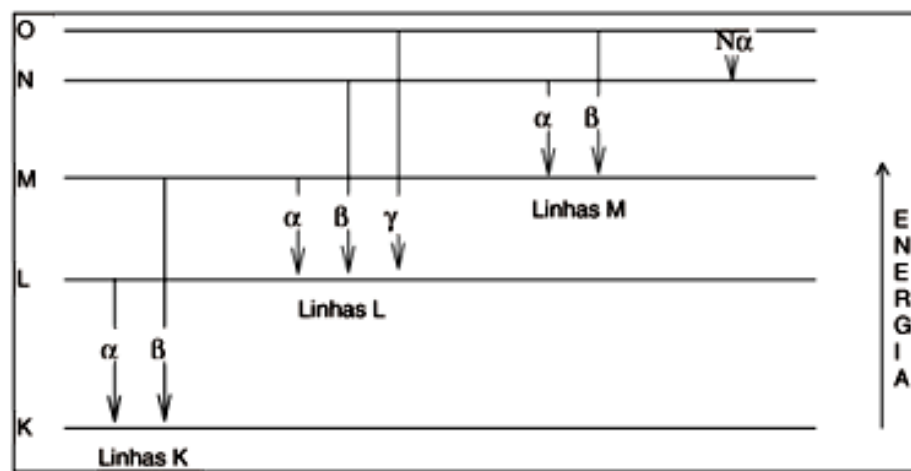
**Figura 5: Representação do efeito fotoelétrico**

Fonte: SCHWAB, 2011

Cada elemento químico tem uma energia única de ligação dos seus elétrons com a eletrosfera. A energia de ligação desse elétron é proporcional à energia do fóton, caracterizando assim, a identificação do elemento e o fenômeno da fluorescência. Também permite que seja feita uma análise quantitativa, pois as

concentrações dos elementos são proporcionais às intensidades de radiação emitidas (LIFSHIN, 1999; SCHWAB, 2011).

As transições dos elétrons de camadas mais externas para internas recebem nomes específicos, dependendo da condição em que acontecem. Por exemplo, uma transição de um elétron da camada L para a camada K recebe o nome de  $K\alpha$ , da camada M para a K é denominada  $K\beta$  (Figura 6). Portanto, a camada que recebe o elétron é que nomeia a transição (GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002).



**Figura 6 – Transições  $K\alpha$ ,  $K\beta$ ,  $L\alpha$  e assim sucessivamente**

**Fonte: Nagata, Bueno e Peralta-zamora (2001)**

Esse processo é de suma importância para a XRF, pois os elementos são caracterizados por essas transições.

O rendimento da fluorescência é um parâmetro fundamental na técnica de XRF, pois relaciona a quantidade de vacâncias formadas em uma camada com os raios X que foram efetivamente emitidos (GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002).

Para números atômicos baixos, ou elementos leves, o efeito Auger se faz muito presente, portanto muitas vacâncias são preenchidas por outros elétrons, fazendo com que essa energia seja capaz de ejetar outro elétron do átomo, não liberando fótons e, conseqüentemente, não contribuindo para a fluorescência.

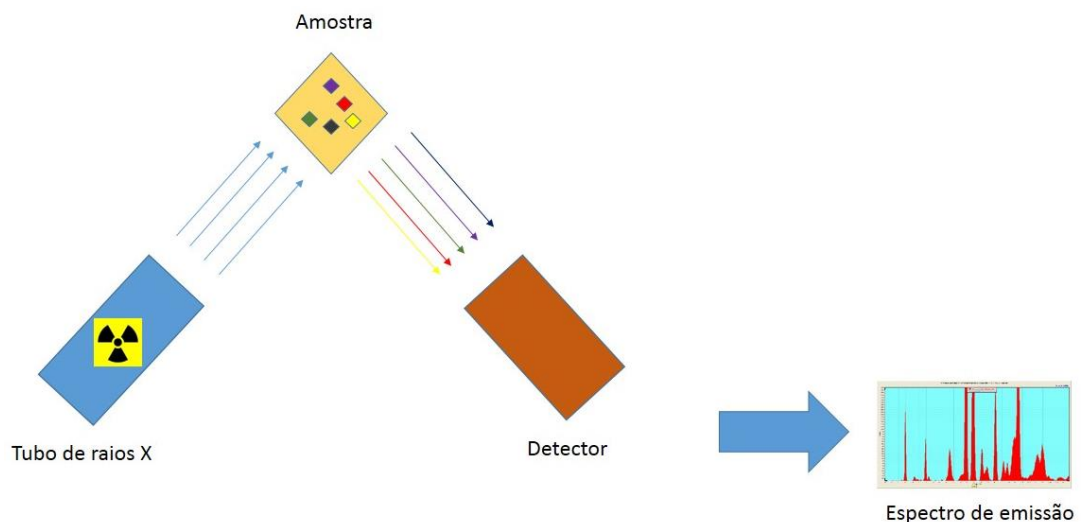
Dessa maneira, pode-se concluir que os elementos com baixo número atômico (número atômico até 20) tem um baixo rendimento da fluorescência na camada K, ao passo que elementos de alto número atômico (até 60) tem baixo rendimento da fluorescência na camada L (LIFSHIN, 1999).

Existem vários tipos de análise por XRF, como a Fluorescência de raios X por Dispersão de Comprimento de Onda (WDXRF), a Fluorescência de raios X por Reflexão Total (TRXRF) e a Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF).

### 2.2.2 Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF)

A Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF) é uma técnica de análise multielementar, rápida e com baixo custo operacional. Na maioria das vezes portátil, o que auxilia na identificação de elementos em situações diversas, como análise de pinturas em museus, na arqueologia, entre outros. Também é bem delicado, o que exige muita atenção na hora de manuseá-lo (NASCIMENTO FILHO, 1999).

Para o uso da EDXRF, é necessário um aparato que envolve um tubo de raios X como fonte de excitação da amostra e um detector, como mostrado na Figura 7. A configuração de posição do tubo e do detector deve ser observada, pois diferentes ângulos produzem resultados diferentes (PARREIRA, 2006).



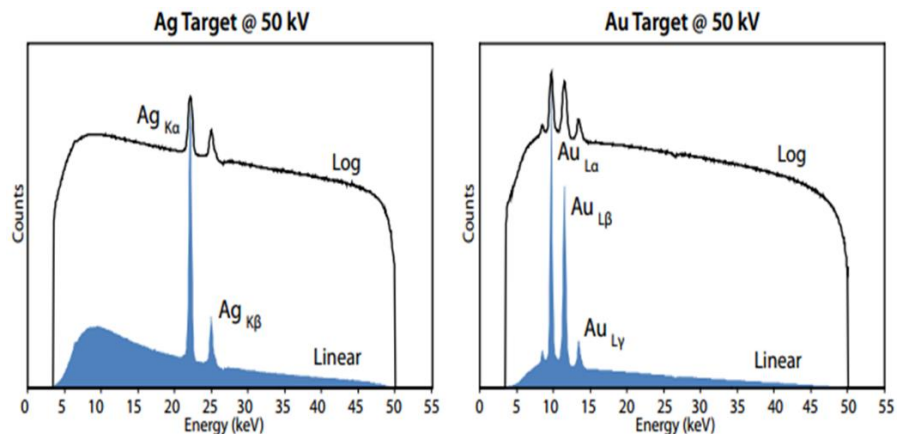
**Figura 7: Ilustração do arranjo dos equipamentos da EDXRF**

**Fonte: Adaptado de PARREIRA, 2006**

Os tubos de raios X utilizados na EDXRF podem ter diferentes materiais que compõem o alvo (ânodo), sendo os de prata, ouro, tungstênio, os mais comuns no uso

dessa técnica. O tubo opera com correntes mais baixas, da ordem de  $\mu\text{A}$  (microamperes) e a tensão na ordem de kV (quilovolt).

A Figura 8 ilustra os espectros obtidos pela técnica de EDXRF onde estão mostrados os picos de prata (emissões  $K\alpha$  e  $K\beta$ ) e ouro (emissões  $L\alpha$ ,  $L\beta$  e  $L\gamma$ ) provenientes do alvo do tubo de raios X. Quando uma amostra é analisada com o tubo com alvo de prata, aparecerá picos de prata, pois o detector conseguirá perceber a existência desse elemento. O mesmo acontece com o alvo de ouro e de outros elementos. Se a amostra que for analisada conter prata na sua composição, não é indicada a medida com o tubo com alvo de prata, uma vez que será impossível distinguir quais linhas de prata são da amostra e quais são do alvo. Nesse caso, o ideal é utilizar outro tubo com outro alvo, pois as linhas espectrais não coincidirão.



**Figura 8 – Espectros realizados com alvos de prata e ouro a 50 kV**

**Fonte: Amptek (2010)**

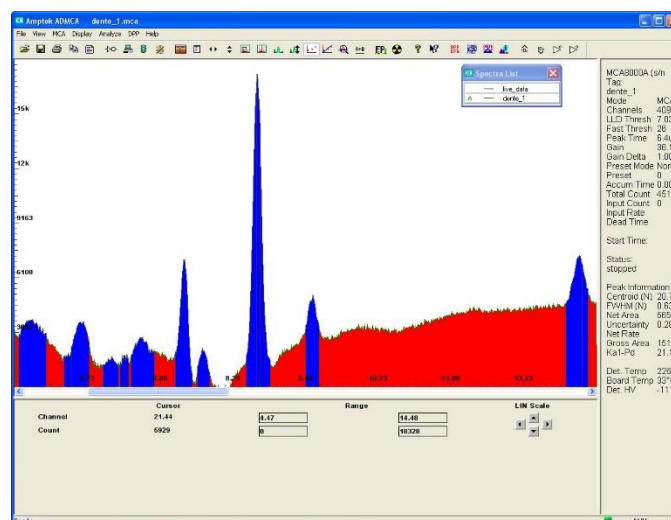
O usual da EDXRF é o sistema detector do tipo semicondutor Si(Li), por sua alta resolução energética e sensibilidade. O detector separa e identifica os fótons recebidos e está ligado a uma placa com analisador multicanal que registra o espectro obtido. O detector é ligado a aparatos eletrônicos que amplificam o sinal recebido para posteriormente ser analisado por um operador. Os raios X são detectados em pulsos eletrônicos, e proporcionais às suas energias, logo é importante não deixar que o *dead time* do detector esteja com alto valor. O *dead time* é o tempo em que o detector não consegue diferenciar os pulsos recebidos. (PARREIRA, 2006; SCHWAB, 2011).

O detector consegue revelar os elementos que estão ao seu redor. Por exemplo, se o equipamento de EDXRF estiver em um ambiente contaminado com

algum elemento químico disperso no ar, será detectado e não há como fazer a distinção da presença desse, se está presente no ar ou na amostra.

Caso parecido acontece com o elemento argônio. Quando o equipamento não está inserido em um ambiente controlado, esse elemento é detectado, pois está presente no ar atmosférico.

A análise qualitativa é realizada através da identificação dos elementos químicos encontrados na amostra. Após a identificação feita pelo sistema de detecção, é gerado um espectro de emissão, que relaciona cada pico encontrado com um elemento químico. No espectro, o eixo “y” mostra a quantidade de fótons recebidos e identificados (em contagens) e o eixo “x” corresponde à energia dos mesmos, como mostrado na Figura 9. Através do centro do pico, é possível verificar qual a energia e assim comparar com as energias dos elementos, logo é possível identificá-los.



**Figura 9 – Espectro com picos identificados na cor azul**

**Fonte: Autoria própria**

A identificação é realizada através da leitura das energias das transições  $K\alpha$ ,  $K\beta$  e  $L\alpha$ , dependendo do elemento. E para que essa leitura seja correta, deve ser feita uma calibração antes do início da análise. A calibração é realizada mediante padrões, que certificam a localização do centro do pico obtido com o canal correspondente do detector. Pode ser realizada com padrões (multielementares ou não) em que os elementos e concentrações são conhecidos.



Os padrões podem ser metálicos, como as placas NIST (*National Institute of Standards and Technology*), o qual recebem uma certificação de qualidade, e outros utilizados também na EDXRF.

Para verificar as concentrações dos elementos já identificados na amostra, é necessário fazer outra análise, a análise quantitativa. Esta requer cuidados pois necessita de alguns parâmetros pré-determinados (geralmente por um arquivo de calibração). É subjetiva, uma vez que vários recursos podem ser utilizados no *software* e modificar o resultado.

O *software* é importante pois o espectro é formado por picos sobrepostos por uma radiação de fundo proveniente do espalhamento dos raios X e dos efeitos do detector. Por isso é necessário um *software* capaz de remover de forma eficaz os ruídos do sinal (como por exemplo: picos de fundo e artefatos).

O *software* permite que sejam realizadas, de forma manual ou automática, algumas melhorias no espectro a ser analisado, como suavização dos picos, remoção do *background*, eliminação dos picos de Efeito Compton, entre outros. Essas manobras são importantes pois auxiliam o *software* a reproduzir com maior precisão as concentrações dos elementos da amostra.

O cálculo da concentração dos elementos presentes na amostra depende de fatores matemáticos que cruzam as informações dadas para o *software*. O método mais utilizado é o Método dos Parâmetros Fundamentais (FP) que calcula a intensidade teórica dos elementos químicos através de uma amostra de composição química conhecida (parecida com a amostra em questão ou não) que seja submetida a uma técnica analítica, como a EDXRF.

A relação entre a intensidade teórica calculada e a medida para cada elemento promove o cálculo da curva da sensibilidade do equipamento, e por consequência, a composição química e impurezas de amostras desconhecidas.

### 2.3 FILTROS DE ALUMÍNIO

Os filtros de alumínio tem a finalidade de absorver os fótons de baixa energia que não contribuem para a imagem e acarretam em aumento da dose absorvida no paciente (BUSHONG, 2008).

Os equipamentos de raios X odontológicos intrabucais devem conter um sistema de filtração da radiação secundária, a fim de proteger o paciente

(MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998). Esses dados são obtidos através do cálculo da Camada Semi-redutora (CSR). A CSR é a espessura de um material especificado que, posicionado após a saída do feixe de raios X, reduz a taxa de kerma no ar pela metade. Essa taxa é importante pois sua determinação permite que sejam calculados parâmetros de dosimetria no paciente e controle do campo de irradiação. Na maioria das vezes, o cálculo da CSR é feito com filtros de alumínio (LACERDA, 2002).

Os filtros são pequenas estruturas metálicas, podem ser comparados à discos, e estão localizados no cabeçote de um equipamento de raios X. Nos equipamentos de raios X intrabucal, têm espessura de 1,0 mm na maioria dos casos.

De acordo com a portaria nº453/98, os equipamentos de raios X odontológicos intrabucais devem seguir alguns requisitos como:

- Tensão no tubo de raios X maior que 50 kVp e preferencialmente maior que 60 kVp;
- Filtração total com no mínimo 1,5 mm equivalente de alumínio para equipamentos com 70 kVp ou inferior a isso. E para os equipamentos com tensão do tubo superior a 70 kVp, a filtração total deve ser equivalente a 2,5 mm de alumínio;
- Blindagem do cabeçote do equipamento para evitar a radiação de fuga e expor o paciente à radiação desnecessária e que não contribuirá na imagem;
- Colimador do tipo cilindro, com abertura no localizador de no máximo 6 cm;
- A distância foco-pele deve ser no mínimo 18 cm para equipamentos com tensão menor ou igual a 60 kVp, 20 cm para aqueles com tensão entre 60 kVp e 70 kVp e 24 cm para os que tiverem tensão maior do que 70 kVp;
- O tempo de exposição deve compreender algumas regras, como não disparar os raios X quando o mostrador de tempo estiver na posição “zero”, o sistema de controle da exposição deve ser eletrônico e evitar exposições com tempo maior do que 5 s e a duração da exposição pode ser em termos de tempo ou pulsos;
- O cabeçote deverá permanecer estável no momento da exposição pra evitar repetições.

Todas essas ações visam à proteção radiológica do paciente e do operador, porém, na radiologia odontológica, o profissional não deve permanecer ao lado do paciente, e sim, a uma distância de aproximadamente 2 m no momento do disparo (WHAITES e CAWSON, 2009).

A importância do uso dos filtros é muito grande, pois foi comprovado que os mesmos reduzem a taxa de kerma no ar, acarretando em menor dose absorvida pelo paciente sem comprometer com a qualidade da imagem. A redução da dose absorvida e sua relação com a qualidade diagnóstica de uma radiografia é objeto de pesquisa em equipamentos de raios X odontológicos intrabucais convencionais e digitais (CAPELOZZA, 2009).

Estudos feitos por Martins *et al.* (2011) compararam filtros de alumínio nacional de aparelhos de mamografia com filtros de alumínio puro utilizados em controles de qualidade. O resultado do estudo foi que os filtros não ofereceram diferença quanto a atenuação do feixe de raios X. Logo, a composição das ligas não influenciou na curva de atenuação do feixe de raios X.

Stecke (2010) comparou a qualidade da imagem de radiografias utilizando filtros de alumínio puro (controle) com filtros alternativos. Os filtros alternativos tinham a composição: (1) 97% Al e 3% Cu com 1,47 mm de espessura; (2) 96% Al e 4% Cu com 1,53 mm de espessura; (3) 95% Al e 5% Zn com 1,56 mm de espessura; (4) 98% Al e 2% Zn com 1,5 mm de espessura; (5) 95% Al e 5% Zn com 1,6 mm de espessura. Foram verificadas as densidades óticas das radiografias obtidas através de um *software* pois o equipamento era digital. Todos os filtros não apresentaram diferenças na qualidade da imagem, com exceção do filtro (5).

Gonçalves (2000) comparou as taxas de kerma no ar e a qualidade das radiografias através da verificação de densidade ótica e análise subjetiva de filtros de alumínio com filtros Al-Cu em diferentes porcentagem de Cu (2%, 3% e 4%) e de espessura. Com relação à redução do kerma no ar, o estudo comprovou a diminuição de 4,33% a 47,33% com a filtração alternativa. Já para a qualidade de imagem, a filtração Al-Cu a se mostrou eficiente e igual às radiografias feitas com o filtro convencional. A liga Al-Cu a 3% foi a preferida pela análise subjetiva.

A pesquisa feita por Haiter (2000) comparou filtros da liga Al-Zn com 2%, 3%, 4% e 5% de zinco com filtros de alumínio. Foram avaliadas as taxas de kerma no ar, qualidade das imagens (variação de contraste). O estudo comprovou que a liga Al-Zn a 2% e 1,99 mm de espessura reduzem a taxa de kerma no ar de maneira significativa

e não produzem mudança na qualidade da imagem, mantendo o mesmo tempo de exposição.

## 2.4 RADIOGRAFIA

A radiografia é uma ferramenta para análise de estruturas anatômicas internas do corpo humano. Seu uso é bem comum na comunidade médica e odontológica.

Nos equipamentos de raios X odontológicos intrabucais convencionais, a radiografia é feita através da sensibilização de um filme pelos raios X.

A sensibilidade do filme é um parâmetro relacionado com a intensidade de luz recebida. Filmes mais velozes são os mais sensíveis ao estímulo luminoso (BUSHONG, 2008).

Para a radiografia ser finalizada, são necessários dois processos: a sensibilização do filme pelos raios X e luminosidade e o processamento do filme. A revelação pode ser feita manualmente ou com o uso de processadoras automáticas (HENDEE, CHANEY e ROSSI, 1991).

A qualidade de uma radiografia pode ser definida como a fidelidade com que uma estrutura anatômica é representada. A radiografia deve ser nítida o suficiente para que estruturas sejam identificadas. A qualidade radiográfica pode ser dividida em propriedades geométricas (definição e distorção) e propriedades fotográficas (densidade ótica e contraste) (BONTRAGER, 2003).

A definição e distorção estão ligadas a distância foco-filme e artefatos de movimento do paciente.

A densidade ótica é definida como o grau de enegrecimento do filme, o que é vital para sua análise. E o contraste é a capacidade de distinção de duas estruturas próximas através da escolha da tensão adequada.

Os fatores mencionados são importantes e impactam a detecção de uma doença, ou sua ausência. Sabe-se que o olho humano não consegue distinguir todos os tons de cinza existentes em uma radiografia. Logo, para que a densidade ótica possa ser definida por um densitômetro (BUSHONG, 2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR em parceria com a Universidade Federal do Paraná – UFPR.

#### 3.1 MATERIAIS

Os materiais e equipamentos utilizados nessa pesquisa seguem a lista abaixo:

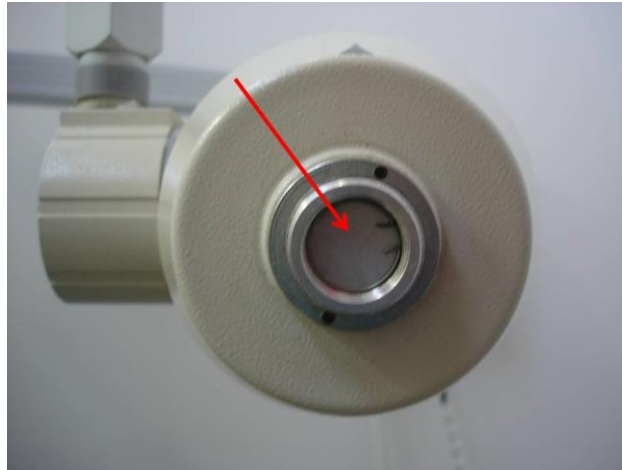
- Filtros de alumínio
- Equipamento de Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF)
- Equipamentos de raios X odontológicos intrabucais
- Filmes radiográficos
- Objeto simulador (*phantom*)
- Processadora automática de filmes radiográficos intrabucais para radiologia
- Densitômetro

##### 3.1.1 Filtros de Alumínio

Para o estudo, foram cedidos dez filtros dos equipamentos de raios X odontológicos intrabucais da Clínica do curso de Odontologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Câmpus Jardim Botânico.

As Clínicas de Odontologia da UFPR são compostas por equipamentos da marca Gnatus, modelos Timex 66 e Timex 70C, o que possibilitou que os filtros fossem retirados cada qual de seu equipamento e recolocados em apenas um, individualmente, no momento da aquisição das imagens.

Os filtros dos equipamentos de raios X odontológicos intrabucais se localizam logo após a saída do feixe de radiação no tubo de raios X, como ilustrado na Figura 10.



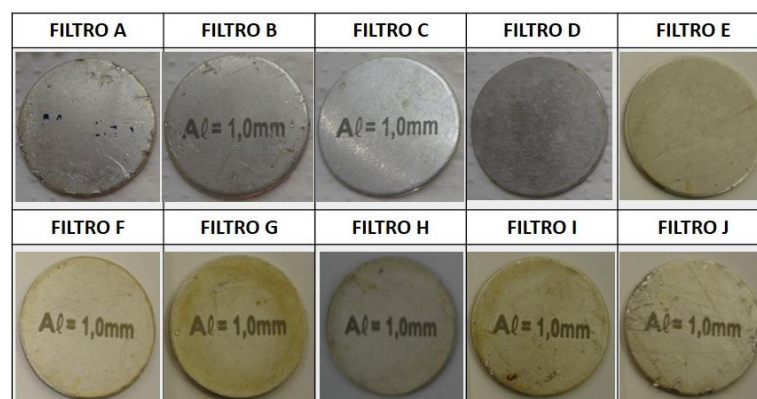
**Figura 10 – Filtro de alumínio (seta) na saída do tubo de raios X.**

**Fonte: Aatoria própria**

Para que os filtros não fossem trocados, os mesmos foram devidamente identificados por sala. No momento da retirada de cada filtro, o mesmo foi colocado em um compartimento que continha o número da sala e o número de série do equipamento em questão. Também, todos os filtros foram fotografados ao lado de sua identificação, para futuras verificações. Os filtros foram manuseados com luva para evitar qualquer tipo de contaminação.

Apesar de todos os equipamentos serem do mesmo fabricante, os filtros apresentaram diferenças, como a inscrição “Al 1,0 mm” em uma das faces presente em alguns e em outros não. Porém todos foram verificados quanto a espessura com um instrumento de medida, o que atestou a espessura de 1,0 mm em todos os filtros.

Para facilitar o processo de identificação dos filtros, os mesmos receberam uma identificação por letra (A a J), para facilitar o decorrer da pesquisa (Figura 11).



**Figura 11 - Figura com os filtros e a classificação por letras**

**Fonte: Aatoria própria**

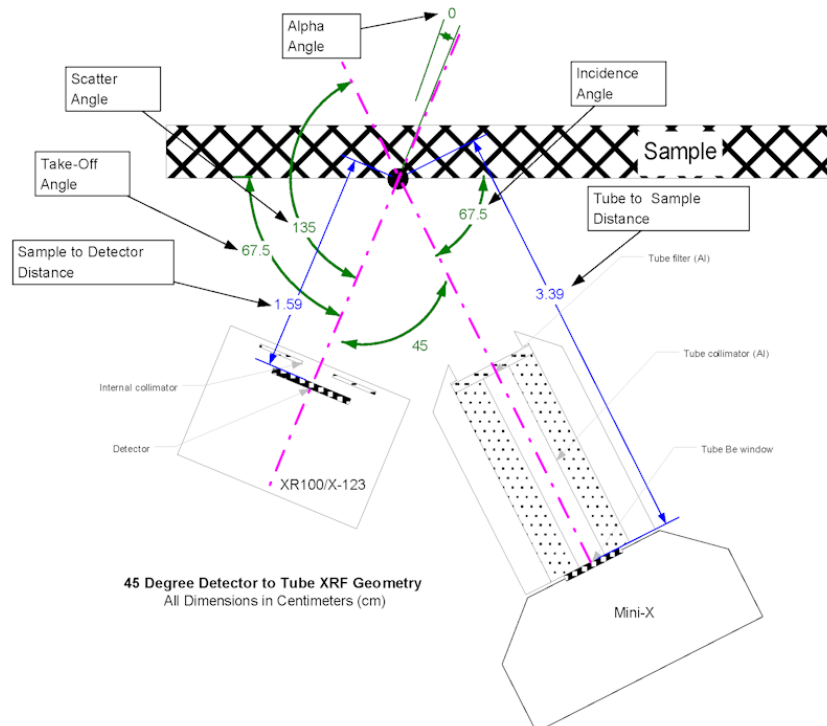
### 3.1.2 Equipamento de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF)

O equipamento de Espectroscopia de Fluorescência de raios X por Energia Dispersiva (EDXRF) pertence ao Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Esse equipamento da marca Amptek contém dois tubos de raios X (modelo Mini-X), um com alvo de prata e outro com alvo de ouro, dois detectores do tipo *silicondrift* (modelo X-123SDD), além dos acessórios que acompanham, como os filtros de diversos materiais, colimadores de diferentes diâmetros (1,0 mm e 2,0 mm) e o padrão de calibração de aço.

Os parâmetros de exposição desses tubos de raios X variam de 5 $\mu$ A a 200 $\mu$ A e a tensão de 10 kV a 40 kV. O tempo é definido manualmente pelo operador.

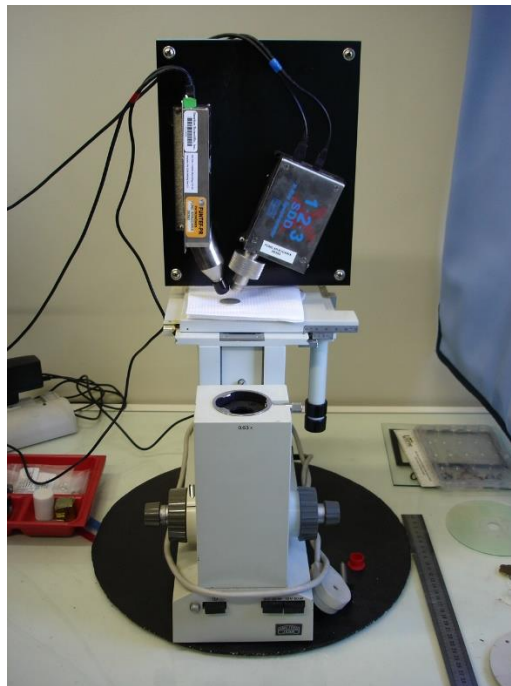
Sugere-se que o tubo de raios X e o detector sejam montados numa placa em que já estão definidos os seus lugares de fábrica. Isso evita que a angulação entre eles seja determinada de forma errada. A Figura 12 ilustra a posição e o ângulo ideal entre o tubo de raios X (Mini-X) e o detector (X-123SDD), de 45°.



**Figura 12 – Ângulos e distâncias utilizadas na EDXRF, com o equipamento da AMPTEK**

Fonte: Amptek (2009)

No Laboratório de Física Nuclear Aplicada, o equipamento de EDXRF está montado numa base móvel (microscópio óptico), em que essa placa foi afixada. Essa base permite que vários tipos de amostras sejam analisadas (sólidas, líquidas, etc), pois o equipamento está colocado de maneira vertical. Essa configuração favorece muitos tipos de pesquisas, bem como deste estudo proposto e está demonstrada na Figura 13.



**Figura 13 – Equipamento de EDXRF montado em uma base de microscópio óptico**  
**Fonte: A autoria própria**

### 3.1.3 Equipamento de raios X odontológico intrabucal

O equipamento de raios X odontológicos intrabucal utilizado para a realização das radiografias era da marca Gnatus, modelo Timex 66, com regime de trabalho fixo (tensão de 66 kV e corrente de 6,5 mA), variando somente o tempo de exposição.

O equipamento está representado na Figura 14.





**Figura 14 – Equipamento de raios X odontológico radiológico intrabucal**

**Fonte: Aatoria própria**

#### 3.1.4 Filmes radiográficos

Os filmes radiográficos utilizados na pesquisa são da marca Kodak, tipo *Insight*. Por ser um filme de alta sensibilidade, a escolha por esse tipo se deu para facilitar a avaliação posterior dos mesmos e evitar problemas de qualidade de imagem.

#### 3.1.5 Objeto simulador (*phantom*)

Para que o resultado das radiografias estivesse o mais próximo da realidade do cotidiano de um serviço de radiologia odontológica, foi escolhida a opção de utilizar um objeto simulador.

Esse objeto é uma mandíbula humana macerada, a qual representou os tecido ósseo e os dentes de um paciente. Para simular as partes de gengiva e de outros tecidos que constituem a boca de um ser humano, foi utilizada a cera utilidade, com 1,0 cm de espessura, ilustrados na Figura 15.



**Figura 15 – Phantom montado com a cera utilidade**

**Fonte: Autoria própria**

### 3.1.6 Processadora automática de filmes radiográficos intrabucais para radiografia

A processadora automática utilizada para a revelação das radiografias prontas é da marca Revell, e estava trabalhando com temperatura de 27°C. Os químicos são da marca Prograd, sendo preparados na proporção 3x1 para revelador (15 litros de água e 5 litros de revelador) e o fixador parte A (10 litros de água e 5 litros de fixador) e parte B (4 litros de água e 1 litros de fixador), totalizando 20 litros.

### 3.1.7 Densitômetro

O densitômetro utilizado para verificar as densidade ópticas das radiografias é da marca SpeedMaster, modelo SM-14 e foi cedido pela empresa Engisa – Inspeção e Pesquisa Aplicada a Indústria LDТА.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Análise dos filtros de Alumínio

Os filtros foram submetidos à técnica da Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF) para análise da composição metálica dos mesmos.

Foram utilizados dois tubos de raios X, um com alvo de prata e outro com alvo de ouro, para que os picos de Ag ou de Au (provenientes do tubo) não atrapalhassem a análise dessas faixas energéticas espectrais. Foi utilizado também o colimador de 1,0 mm.

No início das medidas, o equipamento foi devidamente calibrado com o padrão metálico certificado e adquirido juntamente com o equipamento de EDXRF.

Os filtros foram irradiados com tensão de 30 kV e corrente de. Foi feita uma exposição com o valor máximo de tensão, 40 kV, o que demonstrou a visualização de elementos na faixa de 25 keV e isso determinou a escolha pelos parâmetros utilizados, 30 kV e 15  $\mu$ A, aliada à recomendação do fabricante, para obter a melhor maneira de conseguir um bom feixe de raios X sem danificar o tubo.

A princípio, foi estabelecida uma medida no centro do filtro e na borda, para verificar a homogeneidade da liga. Com constantes medidas, verificou-se que essas amostras eram homogêneas, então todas as medidas foram padronizadas com o feixe de raios X no centro do filtro.

As amostras metálicas têm por característica boas respostas espectrais com baixo tempo de exposição à radiação. Desse modo, pelas recomendações do manual do equipamento, deve-se escolher um tempo em que os picos atinjam uma contagem expressiva, com mais de 1000 contagens. Nesse contexto, foram feitas coletas de dez e cinco minutos de exposição. Não foram encontradas diferenças relevantes, portanto, escolheu-se o tempo de dez minutos.

A distância entre a saída do conjunto tubo – detector até a amostra foi padronizada de 1 cm, pois essa distância é importante para a análise quantitativa.

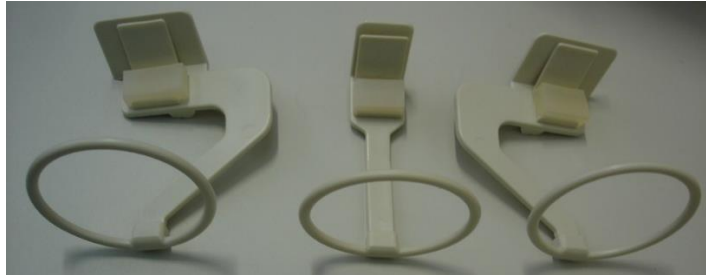
Para os filtros, foram realizadas as análises qualitativa e quantitativa.

### 3.2.2 Radiografias

Foram realizadas radiografias periapicais com dez filtros diferentes no mesmo equipamento.

As incidências seguiram a técnica da bisettriz, pois as radiografias foram realizadas com o auxílio do posicionador e com o cilindro curto (aproximadamente 20 cm).

Para a pesquisa, foram feitas radiografias (com distância foco-filme de 27,5 cm) dos dentes incisivos e molares inferiores com o auxílio do posicionador, que é um objeto usual na prática da odontologia radiológica (Figura 16).



**Figura 16 – Posicionadores específicos para radiografias periapicais de molares (laterais) e incisivos (centro)**

**Fonte: Autoria própria**

Esse instrumento possibilita a manutenção do filme por meio da oclusão, possibilitando que o paciente morda uma placa de plástico, reduzindo artefatos de movimento. A Figura 17 ilustra como foram realizadas as radiografias.



**Figura 17 – Posicionamento dos filmes radiográficos**

**Fonte: Autoria própria**

Por ter valores fixos de tensão e corrente, o tempo de exposição é regulado manualmente pelo operador. Nas radiografias intrabucais, o tempo de disparo do tubo de raios X é da ordem de milissegundo.

Para dentes molares, as exposições foram realizadas com 0,3 s. Já para os incisivos, foram utilizados dois tempos, 0,2 e 0,3 s.

No total, foram realizadas três incidências para cada filtro, totalizando 30 radiografias, dentre essas 10 de molares e 20 dos incisivos. Ao final do processo, as radiografias foram reveladas todas ao mesmo tempo e identificadas para que fosse possível relacionar a radiografia com o filtro correspondente.

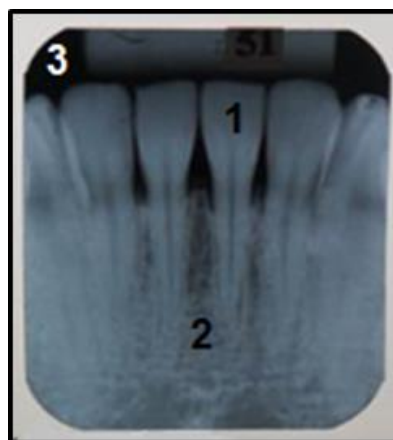
As radiografias foram identificadas com cada filtro, sendo que foram numeradas na sequência de 20A a 29J para molares a 0,3 s, de 30A a 39J para incisivos a 0,2 s e de 40A a 49J para incisivos a 0,3 s.

Os grupos foram avaliados pelo densitômetro, a fim de analisar os valores das densidades ópticas (DO) das radiografias. Foram selecionados três locais para verificação da DO, como mostrado na Figura 18, para os molares e na Figura 19 para os incisivos.



**Figura 18 - (1) coroa do dente 36, (2) região alveolar próxima da raiz distal do dente 37 e a (3) região mais enegrecida do filme no lado superior ao dente 37**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 19 – (1) coroa do dente 31, (2) região alveolar entre os ápices dos dentes 31 e 41 e a (3) região mais enegrecida do filme no canto superior esquerdo ao dente 31**

**Fonte: Autoria própria**

Para análise estatística das densidades ópticas das radiografias os valores foram calculados e o erro foi corrigido por t Student devido ao número reduzido de variáveis. Foram realizadas três medições para cada região em cada radiografia.

Foi utilizado o intervalo de confiança de 95% e 2 graus de liberdade (n-1, onde n é o número de amostras). Assim, o fator de Student vale 4,303 (para n=2).

Com três amostras, foi feita a média dos valores encontrados e o desvio padrão do valor médio. O mesmo foi corrigido pelo fator 4,303, elevado ao quadrado e posteriormente somado com o quadrado do erro experimental do densitômetro (0,02). Da soma foi retirada a raiz quadrada e assim o erro final das medidas.

Para a complementação da avaliação das densidades ópticas, as radiografias foram submetidas à avaliação subjetiva, realizada por dois cirurgiões dentistas. As regiões analisadas foram:

- **Molares:** raiz do dente 36 (junção cimento-esmalte) e região alveolar próxima à raiz do dente 37.
- **Incisivos:** raiz do dente 31 (junção cimento-esmalte) e região alveolar entre os ápices das raízes dos dentes 31 e 41.

Os avaliadores fizeram a avaliação das radiografias (a olho nu) sem saber a qual filtro pertenciam. E para cada radiografia avaliada, deveriam dar uma nota correspondente à tabela de densidades ópticas, verificando assim o contraste das mesmas e relacionando com a qualidade diagnóstica (Tabela 1).

**Tabela 1 – Critérios atribuídos à avaliação subjetiva**

<b>DENSIDADE ÓPTICA</b>	<b>VALOR ATRIBUÍDO</b>
Muito clara	-2
Pouco clara	-1
Ideal	0
Pouco escura	1
Muito escura	2

Com a finalização das especificações dos materiais e dos métodos, os resultados foram analisados e mostrados no capítulo seguinte.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE QUALITATIVA DOS FILTROS DE ALUMÍNIO

A análise qualitativa dos filtros de alumínio está resumida na Tabela 2 e os espectros ilustrados no apêndice A.

**Tabela 2 – Elementos químicos encontrados nos filtros de alumínio através do uso da técnica de EDXRF**

<b>Filtro</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>
<b>Al</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>S</b>				X	X	X	X	X	X	
<b>Cl</b>		X	X							
<b>Ti</b>		X	X	X						
<b>Mn</b>	X	X		X	X	X	X	X	X	X
<b>Fe</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Cu</b>				X	X	X	X	X	X	X
<b>Zn</b>		X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Zr</b>		X			X					

Conclui-se que todos os filtros continham alumínio e ferro na sua composição.

Os elementos cloro e enxofre foram encontrados em dois filtros (B e D) e suas presenças podem ser concluídas pelo fato de que o cloro e o potássio são elementos presentes nas composições corporais do ser humano. Os filtros podem ter sido manuseados sem o uso de proteção (luvas).

O elemento cobre foi encontrado em sete filtros (D, E, F, G, H, I e J). O zinco foi identificado em todos os filtros, exceto em A e o zircônio estava presente nos filtros B e E.

Desse modo, pode-se concluir que os filtros D e E foram os que mais elementos químicos foram identificados e que os filtros F, G, H e I contém a mesma composição elementar de acordo com a análise qualitativa.

### 4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FILTROS DE ALUMÍNIO

Os resultados obtidos com a análise quantitativa estão demonstrados em porcentagem em massa (wt%) e estão detalhados no Apêndice B.

A Tabela 3 mostra os resultados das porcentagens em massa do alumínio nos diferentes filtros, bem como a intensidade do pico do mesmo elemento.

**Tabela 3 – Porcentagens em massa (wt%) e intensidade dos picos de alumínio nos filtros analisados**

<b>FILTROS</b>	<b>Alumínio (wt%)</b>	<b>Intensidade do pico de alumínio (c/s)</b>
A	99,32 ± 0,97	46,78 ± 0,46
B	98,59 ± 0,98	63,06 ± 0,63
C	96,60 ± 1,00	59,37 ± 0,63
D	98,35 ± 0,92	65,52 ± 0,61
E	99,38 ± 0,97	69,48 ± 0,68
F	99,13 ± 0,97	59,70 ± 0,59
G	99,21 ± 0,97	67,98 ± 0,66
H	99,36 ± 0,84	73,44 ± 0,62
I	99,18 ± 0,98	61,53 ± 0,61
J	99,37 ± 0,96	68,93 ± 0,67

O filtro A apresentou uma porcentagem em massa alumínio de 99,32 ± 0,97 wt%. Com uma intensidade de 46,78 ± 0,46 contagens por segundo (c/s), a maior do espectro, o alumínio é o elemento de maior concentração nessa amostra. Seguido pelo ferro, com 0,459 ± 0,005 porcentagem em massa do filtro. A intensidade do pico de ferro foi de 37,02 ± 0,42 contagens por segundo, a segunda maior intensidade do espectro dessa amostra. O erro associado ao alumínio tem alto valor se comparado a outros devido à alta intensidade desse pico e concentração na amostra. Os outros elementos foram considerados como contaminantes devido às baixas porcentagens encontradas na análise.

O resultado do filtro B foi de 98,59 ± 0,98 wt% com uma intensidade de 63,06 ± 0,63 c/s. Nesse filtro, a porcentagem de ferro foi maior que a de cobre, porém, com menos de 1%.

O filtro C apresentou uma contaminação de cloro a 1,570 ± 0,028 wt%. A porcentagem de alumínio foi de 96,6 ± 1,0. Os outros elementos são considerados elementos contaminantes pois suas porcentagens são menores que 1%.

O filtro D revelou a porcentagem de 98,35 ± 0,92 de alumínio na amostra. O manganês aparece na amostra com porcentagem de 0,765 ± 0,007. Apesar da intensidade do pico de manganês ter sido de 71,54 ± 0,65 (maior do que o alumínio), sua porcentagem na amostra não chegou a 1%.



O filtro E tem em sua composição  $99,38 \pm 0,97$  wt% de alumínio, seguido do ferro com  $0,303 \pm 0,004$  wt%. As intensidades dos picos foram  $69,48 \pm 0,68$  c/s e  $36,13 \pm 0,51$  c/s para o alumínio e ferro, respectivamente.

O filtro F também apresentou maior porcentagem de alumínio na composição da liga. Foram  $99,13 \pm 0,97$  wt% de alumínio, sendo que os outros elementos encontrados são contaminantes por conter baixas porcentagens.

Na composição da liga do filtro G foram encontrados  $99,21 \pm 0,97$  wt% de alumínio. Logo, pode-se inferir que os elementos encontrados nessa amostra são apenas contaminantes em pouca concentração.

O filtro H é composto por  $99,36 \pm 0,84$  wt% de alumínio com intensidade do pico de  $73,44 \pm 0,62$  c/s. Os outros elementos correspondem à contaminação da liga.

O filtro I apresentou  $99,18 \pm 0,98$  wt% de alumínio sendo o enxofre o elemento que tem a segunda maior porcentagem, com  $0,308 \pm 0,022$  wt%. O erro associado ao alumínio é relativamente alto devido ao seu alto valor de porcentagem em massa.

O filtro J teve como resultado sua composição metálica de  $99,37 \pm 0,96$  wt% de alumínio. O ferro e o cobre obtiveram concentrações em torno de 0,3 e 0,2 porcentagem em massa.

Apesar desses elementos químicos (Mn, Fe, Cu, entre outros) serem adicionados às ligas de alumínio, devido às suas baixas porcentagens na análise, suas concentrações foram tidas como baixas.

A presença de elementos como o cloro e enxofre podem ser contaminantes que foram adicionados às amostras de maneira acidental, por manuseio indevido das mesmas.

### 4.3 DENSIDADE ÓPTICA DAS RADIOGRAFIAS

Os resultados das análises estatísticas das densidades ópticas das radiografias são demonstrados a seguir.

#### 4.3.1 Radiografias dos dentes molares a 0,3 s.

As Tabelas 4, 5 e 6 se referem às radiografias dos dentes molares a 0,3 s, com a numeração de 20A a 29J.

Na tabela 4, estão demonstrados os resultados das densidades ópticas da região da coroa do dente 36 (região 1).

**Tabela 4 – Valores das densidades ópticas da região da coroa do dente 36 das radiografias**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
20A	0,45	0,44	0,43	0,44 ± 0,05
21B	0,41	0,42	0,42	0,42 ± 0,03
22C	0,40	0,40	0,40	0,40 ± 0,02
23D	0,41	0,41	0,41	0,41 ± 0,02
24E	0,44	0,43	0,43	0,43 ± 0,03
25F	0,43	0,43	0,43	0,43 ± 0,02
26G	0,42	0,42	0,42	0,42 ± 0,02
27H	0,42	0,42	0,42	0,42 ± 0,02
28I	0,43	0,43	0,43	0,43 ± 0,02
29J	0,44	0,43	0,43	0,43 ± 0,03

A média dos valores das densidades óticas da coroa do dente 36 seguem um padrão, sendo que a radiografia 20A (filtro A) teve média um pouco superior às outras e o erro associado também está aumentado. Logo, pode-se inferir que para as radiografias dos molares a 0,3 s, os valores das densidades óticas da região da coroa do dente 36 não obtiveram valor discrepante.

A Tabela 5 contém os valores das densidades óticas da região 2 (região alveolar próxima da raiz do dente 36).

**Tabela 5 – Densidades óticas das regiões alveolares próximas à raiz distal do dente 37 das radiografias**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
20A	0,54	0,55	0,55	0,55 ± 0,03
21B	0,64	0,63	0,62	0,63 ± 0,05
22C	0,60	0,61	0,61	0,61 ± 0,03
23D	0,48	0,48	0,48	0,48 ± 0,02
24E	0,65	0,65	0,65	0,65 ± 0,02
25F	0,59	0,59	0,59	0,59 ± 0,02
26G	0,59	0,59	0,59	0,59 ± 0,02
27H	0,65	0,66	0,65	0,65 ± 0,03
28I	0,60	0,61	0,61	0,61 ± 0,03
29J	0,65	0,65	0,65	0,65 ± 0,02

Os valores das densidades óticas das regiões 2 dos molares a 0,3 s se mostraram diferentes, Por exemplo, a radiografia 23D referente ao filtro D, obteve a

menor média do que as demais, em contrapartida, duas radiografias (24E e 29J) referentes aos filtros E e J alcançaram valores mais altos da média. A radiografia 21B (filtro B) possui um erro associado maior que as demais.

A Tabela 6 mostra os valores das densidades ópticas da região 3 das radiografias.

**Tabela 6 – Densidades ópticas da região enegrecida das radiografias**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
20A	1,52	1,52	1,51	1,52 ± 0,03
21B	1,48	1,48	1,49	1,48 ± 0,03
22C	1,53	1,53	1,53	1,53 ± 0,02
23D	1,51	1,50	1,50	1,50 ± 0,03
24E	1,52	1,52	1,52	1,52 ± 0,02
25F	1,49	1,49	1,49	1,49 ± 0,02
26G	1,47	1,47	1,47	1,47 ± 0,02
27H	1,51	1,51	1,51	1,51 ± 0,02
28I	1,48	1,48	1,48	1,48 ± 0,02
29J	1,48	1,47	1,50	1,48 ± 0,07

Os valores das densidades ópticas das regiões 3 das radiografias dos molares a 0,3 s se mostraram coerentes, exceto a radiografia 29J que demonstrou um erro associado maior que as demais.

#### 4.3.2 Radiografias dos dentes incisivos a 0,2 s

As Tabelas 7, 8 e 9 se referem às radiografias dos dentes incisivos a 0,2 s, com a numeração de 30A a 39J.

A radiografia número 35 foi inutilizada pois ocorreu um erro na processadora dos filmes no momento do processamento, sendo necessário acender a luz da câmara escura e conseqüente velando a mesma.

Na tabela 7, estão demonstrados os resultados das densidades ópticas da região da coroa do dente 31 (região 1).

**Tabela 7 – Valores das densidades ópticas da região da coroa do dente 31 das radiografias a 0,2 s**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
30A	0,58	0,58	0,58	0,58 ± 0,02
31B	0,60	0,60	0,60	0,60 ± 0,02
32C	0,57	0,57	0,57	0,57 ± 0,02
33D	0,62	0,62	0,62	0,62 ± 0,02
34E	0,67	0,67	0,67	0,67 ± 0,02
35F	-	-	-	-
36G	0,57	0,57	0,57	0,57 ± 0,02
37H	0,58	0,58	0,58	0,58 ± 0,02
38I	0,59	0,59	0,59	0,59 ± 0,02
39J	0,59	0,59	0,59	0,59 ± 0,02

As radiografias dos dentes incisivos a 0,2 s tem valores próximos das densidades óticas para as regiões das coroas dos dentes 31.

A Tabela 8 contém os valores das densidades óticas da região 2 (região alveolar entre os ápices dos dentes 31 e 41).

**Tabela 8 – Valores das densidades óticas da região alveolar entre os ápices dos dentes 31 e 41 das radiografias a 0,2 s**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
30A	0,51	0,51	0,51	0,51 ± 0,02
31B	0,51	0,51	0,51	0,51 ± 0,02
32C	0,48	0,48	0,49	0,48 ± 0,03
33D	0,54	0,54	0,54	0,54 ± 0,02
34E	0,55	0,55	0,55	0,55 ± 0,02
35F	-	-	-	-
36G	0,51	0,51	0,51	0,51 ± 0,02
37H	0,49	0,49	0,49	0,49 ± 0,02
38I	0,49	0,49	0,49	0,49 ± 0,02
39J	0,47	0,47	0,47	0,47 ± 0,02

Observando a Tabela 8, pode-se determinar que as regiões 2 das radiografias dos incisivos a 0,2 s estão com valores próximos das densidades óticas.

A Tabela 9 mostra os valores das densidades óticas da região 3 das radiografias.

Tabela 9 – Densidades ópticas da região enegrecida das radiografias a 0,2 s

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
30A	0,76	0,76	0,76	0,76 ± 0,02
31B	0,71	0,71	0,71	0,71 ± 0,02
32C	1,05	1,04	1,05	1,05 ± 0,03
33D	1,08	1,08	1,08	1,08 ± 0,02
34E	1,28	1,28	1,28	1,28 ± 0,02
35F	-	-	-	-
36G	1,02	1,03	1,03	1,03 ± 0,03
37H	0,96	0,97	0,97	0,97 ± 0,03
38I	1,01	1,01	1,01	1,01 ± 0,02
39J	1,01	1,00	1,00	1,00 ± 0,03

Os valores das densidades ópticas das regiões enegrecidas do filme estão variando de 0,69 a 1,30. Essa diferença de valor pode estar associado à dificuldade de análise dessa região, por ser muito pequena nesse tipo de radiografia (periapical dos incisivos).

#### 4.3.3 Radiografias dos dentes incisivos a 0,3 s

As Tabelas 10, 11 e 12 se referem às radiografias dos dentes incisivos a 0,3 s, com a numeração de 40A a 49J.

Na tabela 10, estão demonstrados os resultados das densidades ópticas da região da coroa do dente 31 (região 1).

Tabela 10 – Valores das densidades ópticas da região da coroa do dente 31 das radiografias a 0,3 s

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
40A	0,71	0,70	0,71	0,71 ± 0,03
41B	0,70	0,70	0,70	0,70 ± 0,02
42C	0,70	0,70	0,70	0,70 ± 0,02
43D	0,73	0,73	0,73	0,73 ± 0,02
44E	0,72	0,72	0,72	0,72 ± 0,02
45F	0,68	0,68	0,68	0,68 ± 0,02
46G	0,74	0,74	0,74	0,74 ± 0,02
47H	0,71	0,71	0,71	0,71 ± 0,02
48I	0,75	0,74	0,74	0,74 ± 0,03
49J	0,70	0,70	0,70	0,70 ± 0,02

Os valores das densidades ópticas das regiões 1 das radiografias dos incisivos a 0,3 s estão próximos. Em comparação com os mesmos valores das radiografias dos

incisivos a 0,2 s, percebe-se um aumento da densidade ótica. Isso se deve ao aumento de 0,1 s no tempo de exposição, contribuindo mais para a diferença de contraste e enegrecimento do filme.

A Tabela 11 contém os valores das densidades óticas da região 2 (região alveolar entre os ápices dos dentes 31 e 41).

**Tabela 11 – Valores das densidades óticas das regiões alveolares entre os ápices dos dentes 31 e 41 das radiografias a 0,3 s**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
40A	0,61	0,61	0,61	0,61 ± 0,02
41B	0,60	0,60	0,60	0,60 ± 0,02
42C	0,59	0,59	0,59	0,59 ± 0,02
43D	0,62	0,62	0,62	0,62 ± 0,02
44E	0,58	0,58	0,58	0,58 ± 0,02
45F	0,60	0,60	0,60	0,60 ± 0,02
46G	0,59	0,59	0,59	0,59 ± 0,02
47H	0,63	0,63	0,63	0,63 ± 0,02
48I	0,60	0,60	0,60	0,60 ± 0,02
49J	0,60	0,60	0,60	0,60 ± 0,02

As regiões 2 das periapicais dos incisivos a 0,2 s compreendem valores próximos da média e erro associado para as densidades óticas.

A Tabela 12 mostra os valores das densidades óticas da região 3 das radiografias.

**Tabela 12 – Densidades óticas da região enegrecida das radiografias a 0,3 s**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>VALORES OBTIDOS</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>
40A	1,13	1,13	1,13	1,13 ± 0,02
41B	1,22	1,23	1,23	1,23 ± 0,03
42C	1,21	1,22	1,22	1,22 ± 0,03
43D	1,23	1,23	1,23	1,23 ± 0,02
44E	1,07	1,07	1,08	1,07 ± 0,03
45F	1,36	1,37	1,37	1,37 ± 0,03
46G	1,27	1,28	1,28	1,28 ± 0,03
47H	1,30	1,30	1,30	1,30 ± 0,02
48I	1,10	1,10	1,10	1,10 ± 0,02
49J	1,09	1,09	1,09	1,09 ± 0,02

A região enegrecida dos filmes apresentou valores maiores das densidades óticas. Além da variação desses (1,04 a 1,32) os valores ficaram próximos às radiografias a 0,2 s.

Pode inferir que o incremento de 0,1 s no tempo de exposição aos raios X promoveu o aumento de aproximadamente 0,1 no valor da densidade ótica.

#### 4.4 AVALIAÇÃO SUBJETIVA DAS RADIOGRAFIAS

A avaliação subjetiva está dividida em dois avaliadores, número 1 e 2 respectivamente.

As radiografias dos dentes molares a 0,3 s (20A a 29J) foram avaliadas na região da raiz do dente 36 (junção cimento-esmalte) e região alveolar próxima à raiz do dente 37 (Tabela 13).

**Tabela 13 – Radiografias dos dentes molares a 0,3 s avaliadas pelos avaliadores 1 e 2**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>AVALIADOR 1</b>	<b>AVALIADOR 2</b>
20	-1	-1
21	0	-1
22	0	-1
23	0	-1
24	0	-1
25	-1	0
26	-1	-1
27	0	-1
28	0	-1
29	-1	0

A Tabela 13 mostra que o avaliador 1 definiu que o grupo das radiografias dos molares compreendem em seis radiografias ideais (21B, 22C, 23D, 24E, 27H e 28I) e quatro radiografias com baixo contraste (20A, 25F, 26G e 29J).

Em contrapartida, o avaliador 2 classificou oito radiografias como baixo contraste (20A, 21B, 22C, 23D, 24E, 26G, 27H e 28I) e apenas duas como ideais (25F e 29J).

Percebe-se que as radiografias ideais para os avaliadores não correspondem à mesma escolha.

A avaliação das radiografias dos dentes incisivos a 0,2 s (30A a 39J) está demonstrado na Tabela 14 e as regiões avaliadas são da raiz do dente 31 (junção cimento-esmalte) e região alveolar entre os ápices das raízes dos dentes 31 e 41.

**Tabela 14 – Radiografias dos dentes incisivos a 0,2 s avaliadas pelos avaliadores 1 e 2**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>AVALIADOR 1</b>	<b>AVALIADOR 2</b>
30	-2	1
31	-2	1
32	-2	1
33	-2	1
34	-2	1
35	-	-
36	-2	1
37	-2	1
38	-2	1
39	-2	1

Para as radiografias da sequência 30A a 39J, o avaliador 1 as classificou como “muito clara”. Isso se deve ao pequeno tempo de exposição, logo os raios X não foram suficientes para sensibilizarem o filme de maneira adequada, oferecendo baixo contraste.

Já o avaliador 2 classificou-as como baixo contraste, porém podem ser aceitas para diagnóstico.

A avaliação dos dentes incisivos a 0,3 s estão mostrados na Tabela 15 e as regiões avaliadas são da raiz do dente 31 (junção cimento-esmalte) e região alveolar entre os ápices das raízes dos dentes 31 e 41.

**Tabela 15 – Radiografias dos dentes incisivos a 0,3 s avaliadas pelos avaliadores 1 e 2**

<b>RADIOGRAFIAS</b>	<b>AVALIADOR 1</b>	<b>AVALIADOR 2</b>
40	-1	-1
41	-1	0
42	0	0
43	0	-1
44	-1	-1
45	-1	-1
46	-1	-1
47	-1	-1
48	-1	-1
49	-1	-1

O avaliador 1 classificou as radiografias 42C e 43D como radiografias ideais para o diagnóstico. As radiografias restantes foram avaliadas como baixo contraste (40A, 41B e 44E a 49J).



O avaliador 2 classificou apenas as radiografias 41B e 42C como ideais e as demais (40A, 43D a 49J) como baixo contraste.

Nesse caso, os dois avaliadores encontraram a radiografia 42C como ideal.

Quanto à submissão das radiografias para análise subjetiva, o resultado revelou que os profissionais avaliaram de maneira igual 19 radiografias das 30 realizadas. No primeiro grupo de radiografias (20A a 29J) a divergência de valores atribuídos ficou entre radiografia ideal e baixo contraste para nove das dez. No grupo 30A a 39J, com exceção da radiografia 35F, todas foram classificadas como baixo contraste (muito clara e pouco escura). No grupo 40A a 49J somente duas radiografias tiveram a avaliação de maneira divergente.

A radiografia de número 41B foi considerada como baixo contraste para o avaliador 1 e ideal para o avaliador 2. A medida da região de coroa para essa radiografia teve média de  $0,70 \pm 0,02$ , sendo o mesmo valor para a radiografia 42C (considerada ideal). A composição elementar desses dois filtros (B e C) foi identificada como diferente, logo percebe-se que mesmo com dois filtros diferentes os resultados foram os mesmos na média da densidade ótica.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com relação à avaliação da composição metálica dos filtros de alumínio de equipamentos de raios X odontológicos intrabucais, essa foi satisfatória, através da técnica de EDXRF.

A identificação e quantificação dos elementos foi realizada por meio da técnica e verificou a presença de nove elementos químicos, sendo eles o alumínio, enxofre, cloro, titânio, manganês, ferro, cobre, zinco e zircônio. Dos elementos identificados pela análise qualitativa, dois elementos (enxofre e cloro) não são considerados metais.

A análise quantitativa demonstrou que os filtros eram compostos de alumínio, mais de 96% da porcentagem em massa da composição da amostra. Sendo os outros elementos que estavam presentes nas amostras contaminantes e com pouca porcentagem em massa.

O objeto simulador criado a partir de uma mandíbula macerada com o incremento da cera utilidade se mostrou ideal para simulação de um paciente e para realizar radiografias.

As radiografias realizadas com um *phantom* foram bem sucedidas, o que propiciou a análise com o densitômetro e a análise subjetiva pelos profissionais.

O densitômetro foi utilizado e as densidades óticas foram analisadas nos locais pré-definidos. Os valores mais distantes estavam representados pelas regiões escuras das radiografias periapicais dos dentes incisivos. Provavelmente pela dificuldade da análise ser feita no local exato devido ao seu pequeno espaço. Os erros associados à essas medidas variam de 0,02 a 0,05.

As radiografias foram submetidas aos cirurgiões dentistas que avaliaram as mesmas e tiveram opiniões opostas em 19 das 30 radiografias realizadas.

Relacionando a qualidade da imagem com a composição elementar dos filtros, conclui-se que a qualidade da imagem de uma radiografia periapical independe da composição elementar do filtro, bem como suas concentrações. A análise feita por um profissional demonstra que a composição elementar e pequenas diferenças nas densidades óticas não são identificadas a olho nu.

Com relação às sugestões para trabalhos futuros, sugere-se que os filtros sejam avaliados em relação à taxa de kerma do ar, e relacionar os resultados com a composição elementar dos mesmos.

Há também sugestões para determinar a concentração elementar dos filtros em  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  para relacionar os achados com as porcentagens em massa.

## REFERÊNCIAS

AMPTEK. **Miniature X-Ray Source**. 2010. Disponível em: <<http://www.amptek.com/pdf/minix.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

AMPTEK. **MP1 XRF Mounting Plate for use with XR100/X-123 and Mini-X X-Ray Tube**, 2009. Disponível em: <<http://www.amptek.com/mp1.html>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

BELMONTE, E. P. **Espectrometria por Fluorescência de raios X por Reflexão Total**: um estudo simulado utilizando o método de Monte Carlo. 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BONTRAGER, Kenneth L. **Tratado de técnica radiológica e base anatômica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, c2003. 814 p

BUSHONG, Stewart C.. **Radiologic science for technologists: physics, biology, and protection**. 9. ed. St.louis: Mosby, 2008.

CARVALHO, P.L. Erros técnicos nas radiografias intrabucais realizadas por alunos de graduação. **Rgo - Revista Gaúcha de Odontologia**, Porto Alegre, v. 57, n. 2, p.151-155, abr - jun. 2009.

CAPELOZZA, A.L.A. **Manual técnico de radiologia odontológica**. Goiânia: Ab, 2009.

CROSSROADS SCIENTIFIC: **XRS - FP Software Guide V.4.6.0**. El Granada, 2010.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. 8. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

FÍSICA. **Raios X**. 2011. Disponível em: <[http://www.tecnologiaradiologica.com/materia\\_fisica\\_rx.htm](http://www.tecnologiaradiologica.com/materia_fisica_rx.htm)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

GONÇALVES, A. **Estudo da liga de alumínio-cobre, como filtração alternativa, para radiação X.** 2000. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Radiologia Odontológica, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2000.

GRIEKEN, R.E.V.; MARCOWICZ, A.A. **Handbook of X-Ray Spectrometry.** 2. ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2002.

HAITER, C. **Estudo da liga alumínio-zinco como filtração alternativa para a radiação X.** 2000. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Odontologia, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2000.

HENDEE, W.R.; CHANEY, E.L.; ROSSI, R.P. **Radiologic physics, equipment and quality control.** Chicago: Year Book Medical, 1991. 289p.

LACERDA J., M.A.S. **Análise crítica da medida da camada semi-redutora em radiologia diagnóstica.** 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e Técnicas Nucleares, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <[http://biblioteca.cdn.br/cdn/arpel/adobe/Dissertacao\\_MarcoAurelio\\_SLacerda.pdf](http://biblioteca.cdn.br/cdn/arpel/adobe/Dissertacao_MarcoAurelio_SLacerda.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2013.

LIFSHIN, E. **X-ray Characterization of Materials.** New York: Wiley - Vch, 1999.

LIRA, R.; CAVALCANTI, Y.W.; ALMEIDA, L.F.D.; SALES, M.A.O. Panorama da Radiologia Odontológica no Brasil: disponibilidade de aparelhos e produção ambulatorial de radiografias. **Revista Cubana de Estomatologia**, Havana, v. 49, n. 3, p.1-1, jul - set. 2012.

MARTINS, C.; IBALDO, J.; KLAUS T.; SCHWARZ, A.P. Comparação da atenuação do feixe de raios-X com espessuras variadas de alumínio nacional e alumínio usado em controle de qualidade. **Disc Scientia: Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p.11-18, 1 jan. 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 453, de 01 de junho de 1998. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico**, 2014.

NAGATA, N.; BUENO, M.I.M.S.; PERALTA-ZAMORA, P.G. Métodos matemáticos para correção de interferências espectrais e efeitos interelementos na análise quantitativa por Fluorescência de Raios X. **Química Nova**, Campinas, v. 24, n. 4, p.531-539, 2001.

NASCIMENTO F., V.F. **Técnicas analíticas nucleares de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (ED-XRF) e por Reflexão Total (TXRF)**. São Paulo, 1999.

PARREIRA, P.S. Metodologia de EDXRF e aplicações com um sistema portátil. **Lfnatec**: Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, Londrina, p.1-16, jun. 2006.

PRADOS, E.F.; SORDI, V.L.; FERRANTE, M. Desenvolvimento microestrutural e resistência mecânica de uma liga Al-4%Cu submetida a extrusão em canal angular. In: CONGRESO INTERNACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE METALURGIA Y MATERIALES, 7., 2007, San Nicolás. **Anais**. San Nicolás: Conamet, 2007. p. 249 - 254.

REVISÃO DE FÍSICA. **Radiação X**. 2010. Disponível em: <<http://blogtecrad.blogspot.com.br/2010/06/revisao-de-fisica.html>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

SCHWAB, N.V. **Determinação do dióxido de titânio em creme dentais por Fluorescência de Raios X e calibração multivariada**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

STECKE, J. **Filtros alternativos de raios X para sistema de radiografia digital**. 2010. 24 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Odontologia, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2010.

TOSONI, G.M.; CAMPOS, D.M.; SILVA, M.R. Freqüência de Cirurgiões-Dentistas que Realizam exame Radiográfico Intrabucal e Avaliação das Condições para a Qualidade do Exame. **Revista de Odontologia da Unesp**, Araraquara, v. 32, n. 1, p.25-29, 2003. Disponível em: <<http://www.revodontolunesp.com.br/files/v32n1/v32n1a04.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS (Rio Grande do Sul). **Capítulo 5 - raios X**: Produção de raios X. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m\\_s01.html](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

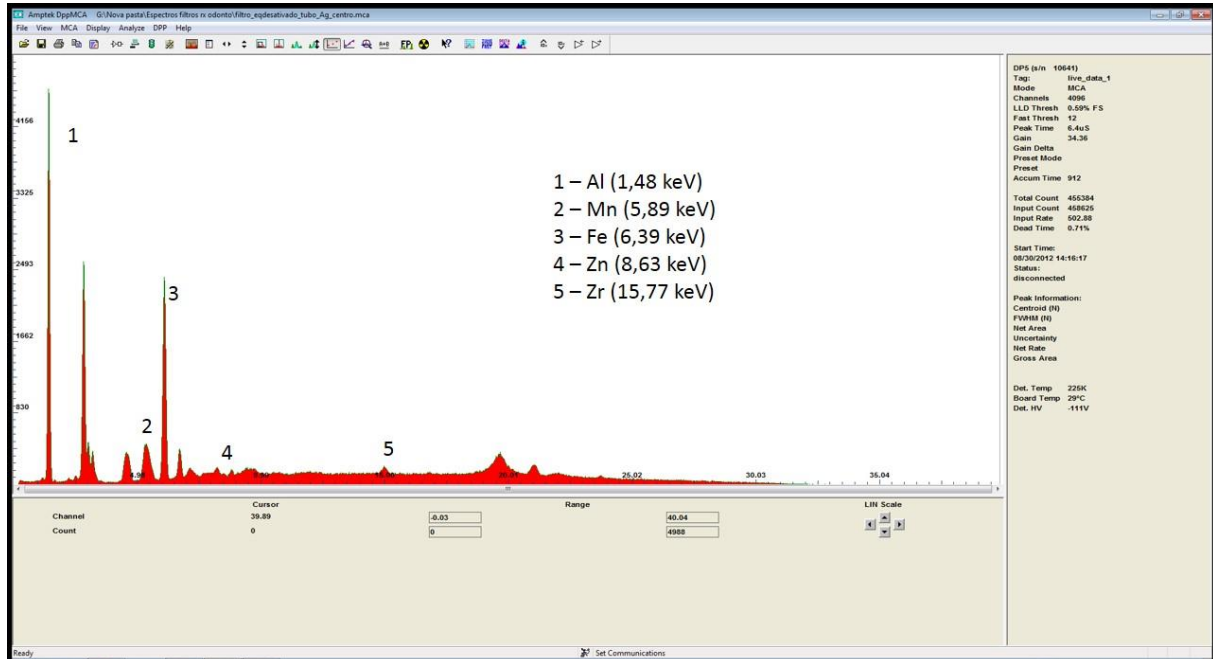
VERMA, H R. **Atomic and Nuclear Analytical Methods**. New York: Springer, 2007

YACOBENCO, A. Análise dos problemas mais frequentes da radiografia na prática odontológica. **Revista da ABRO: Sociedade Brasileira de Radiologia Odontológica**, Campos dos Goytacazes, v. 2, n. 1, p.29-39, 01 jun. 2001.

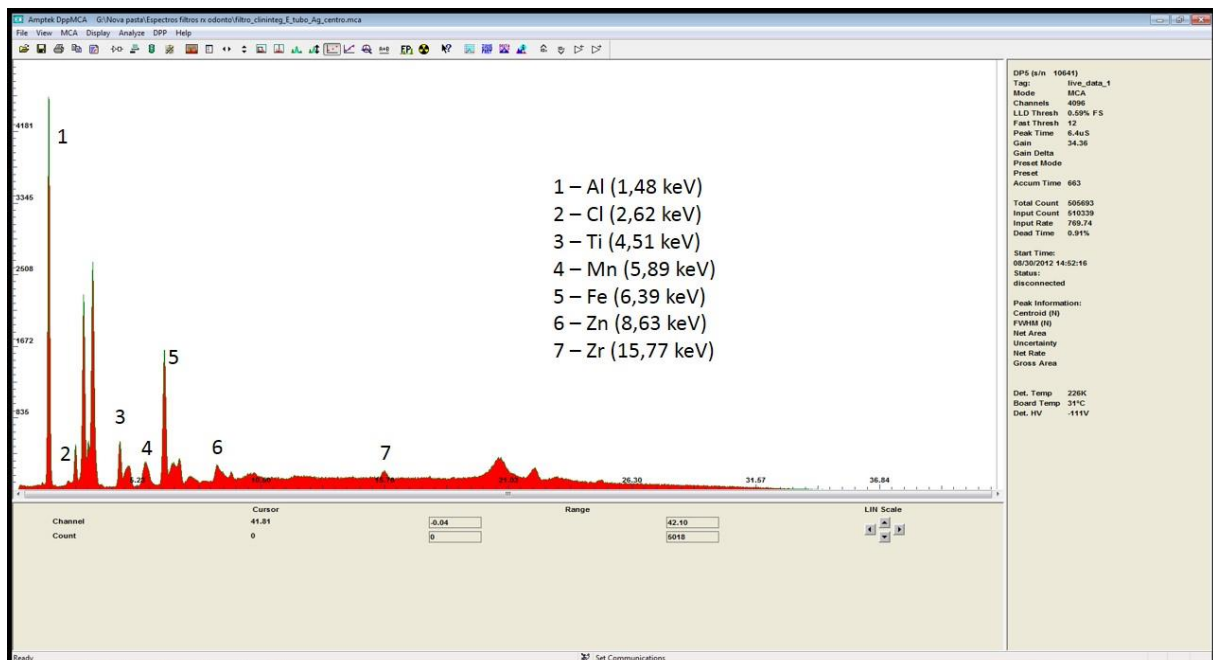
WHAITES, E.; CAWSON, R.A. **Princípios de radiologia odontológica**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2009. xiv, 408 p.

## APÊNDICE A – ESPECTROS DE EMISSÃO DOS FILTROS

### • FILTRO A

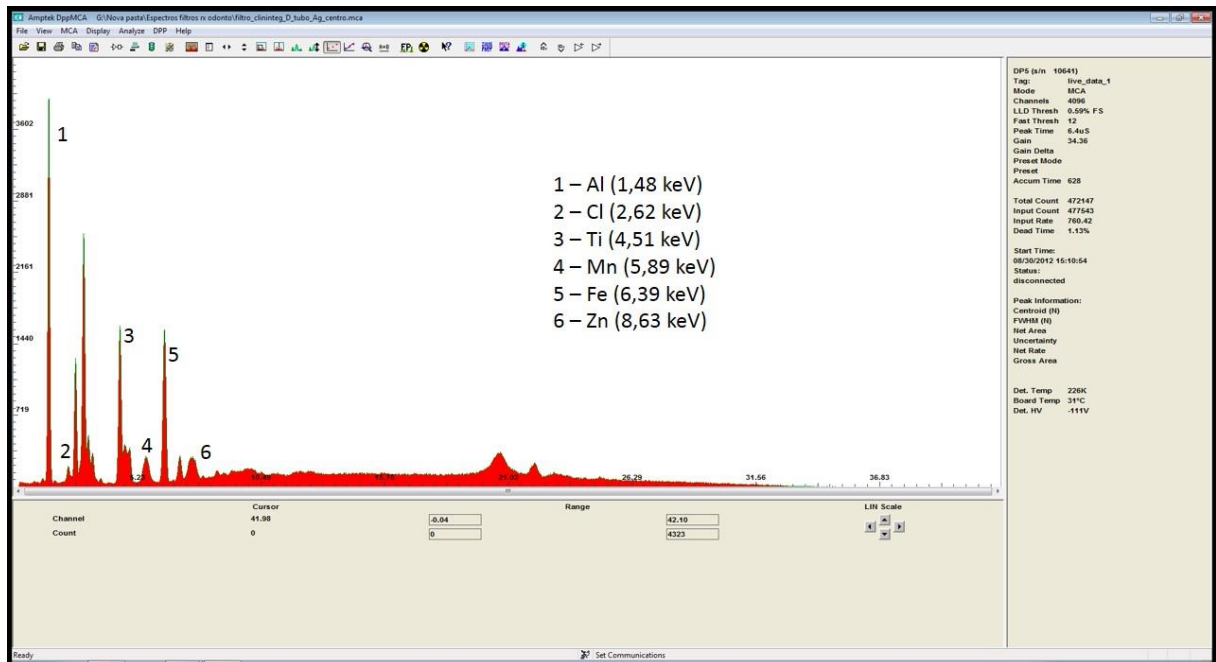


### • FILTRO B

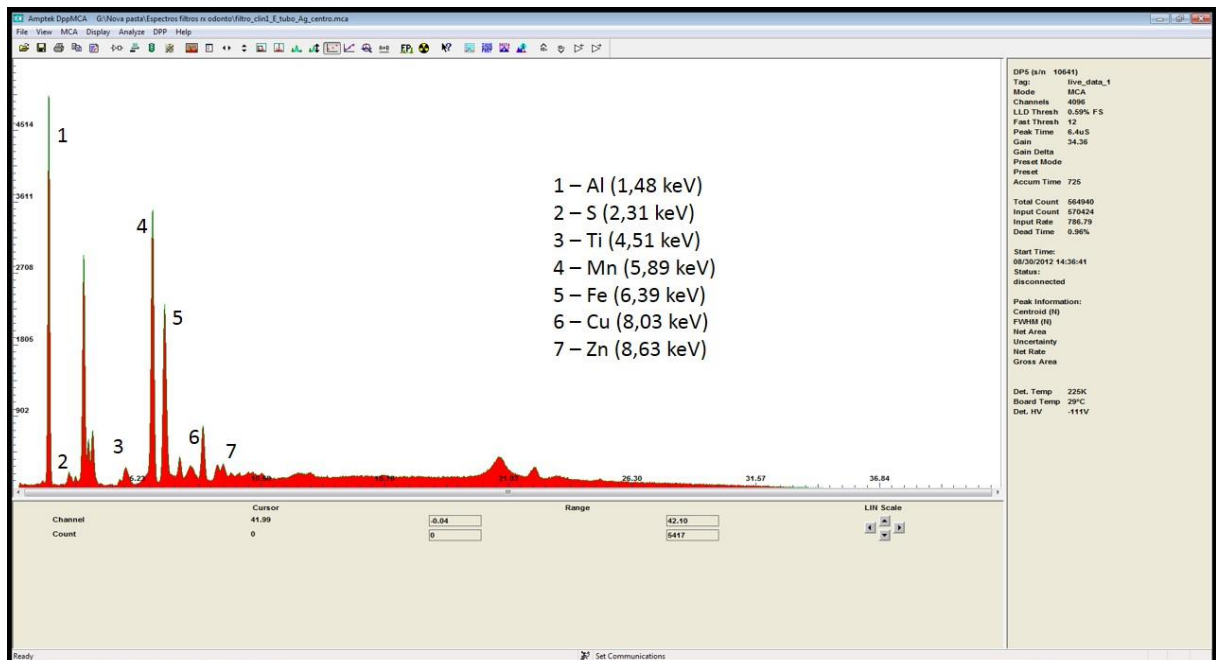




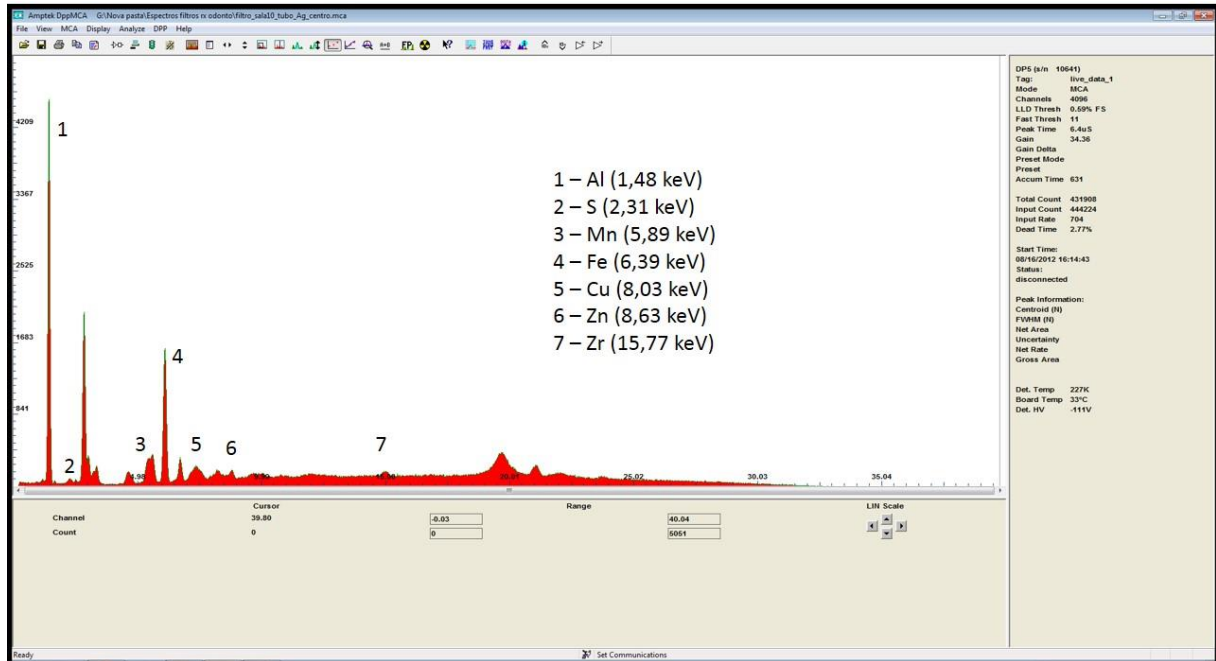
- FILTRO C**



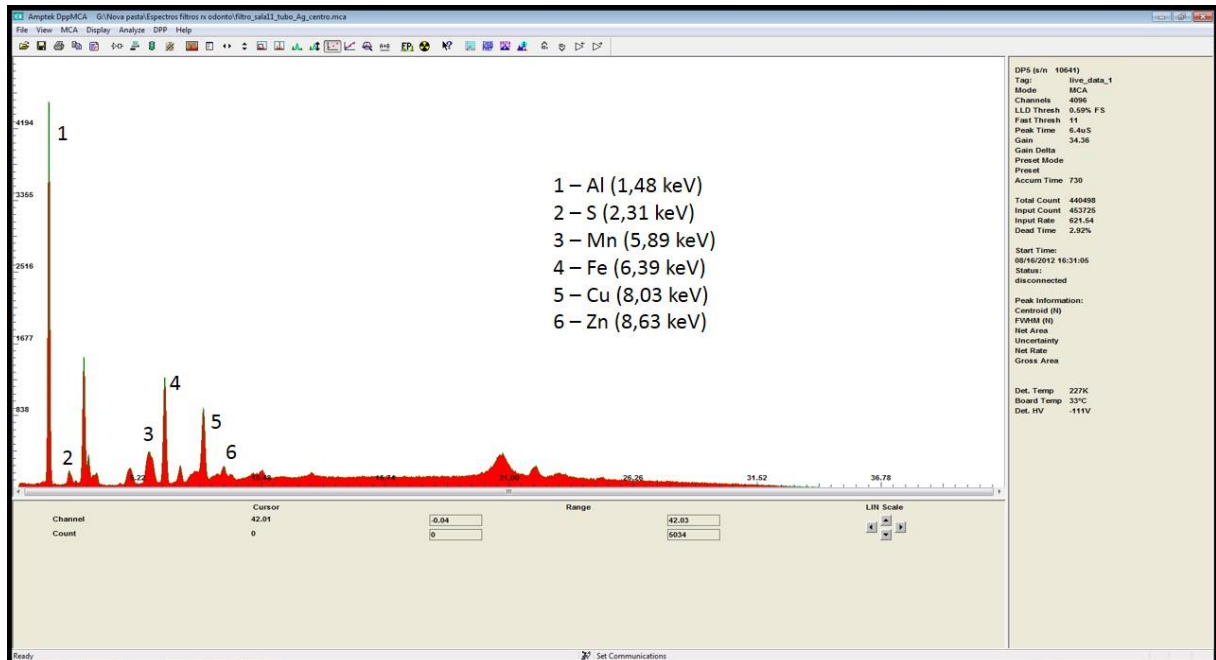
- FILTRO D**



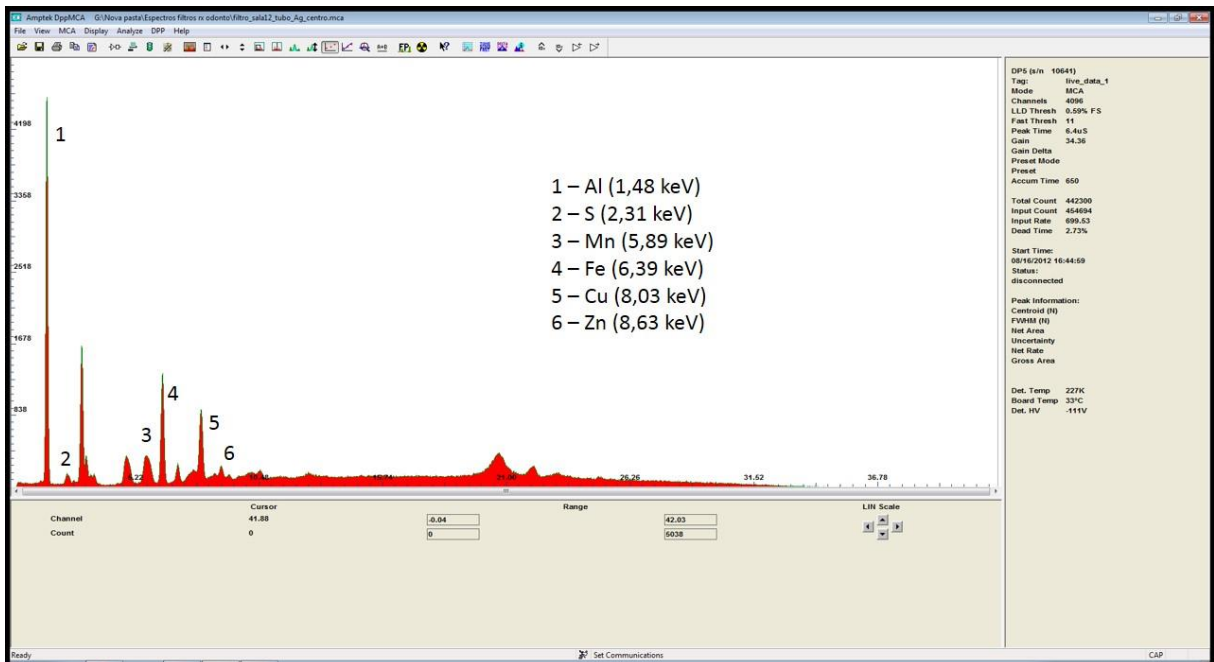
- FILTRO E



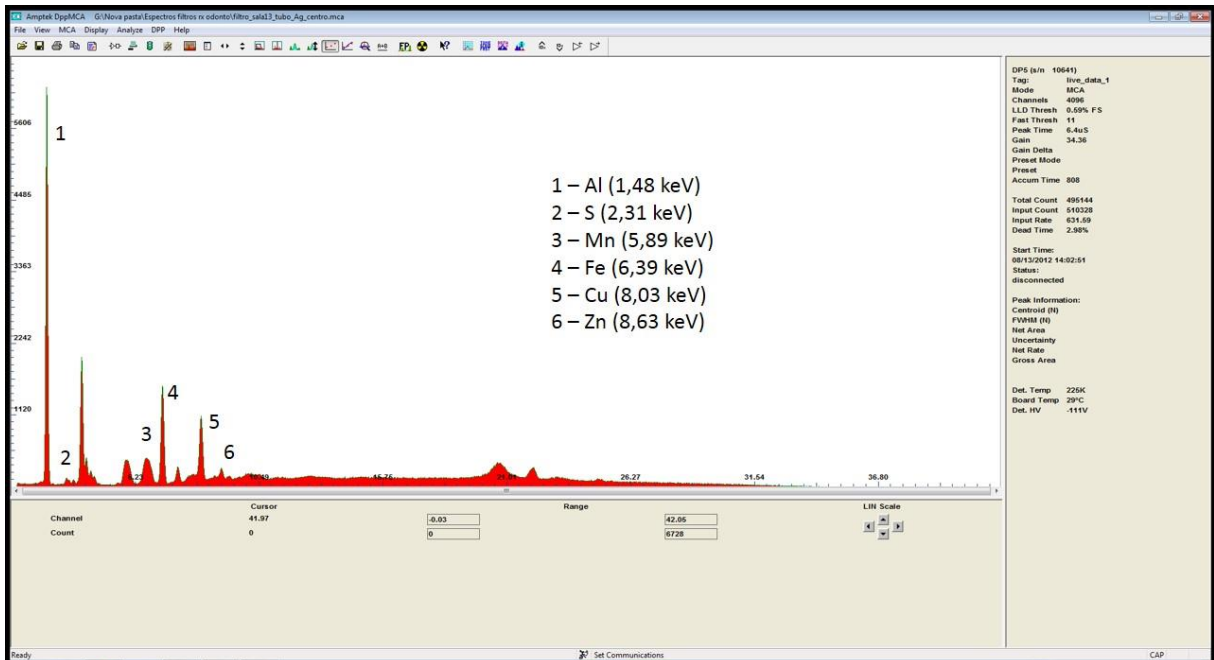
- FILTRO F



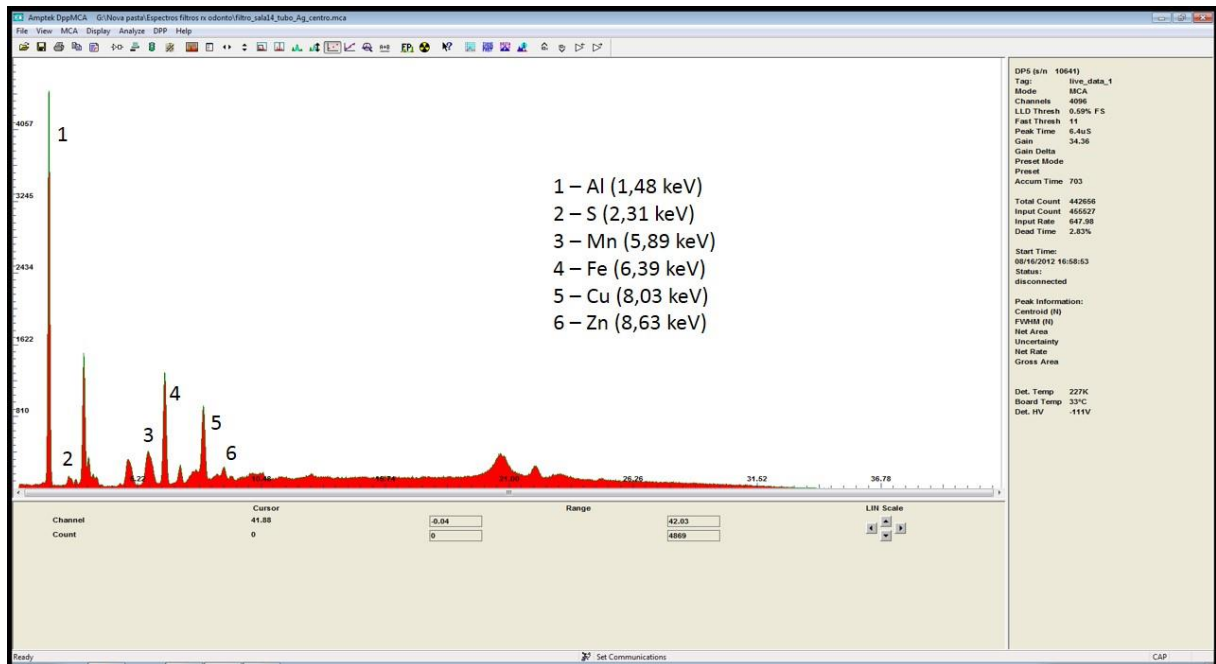
• **FILTRO G**



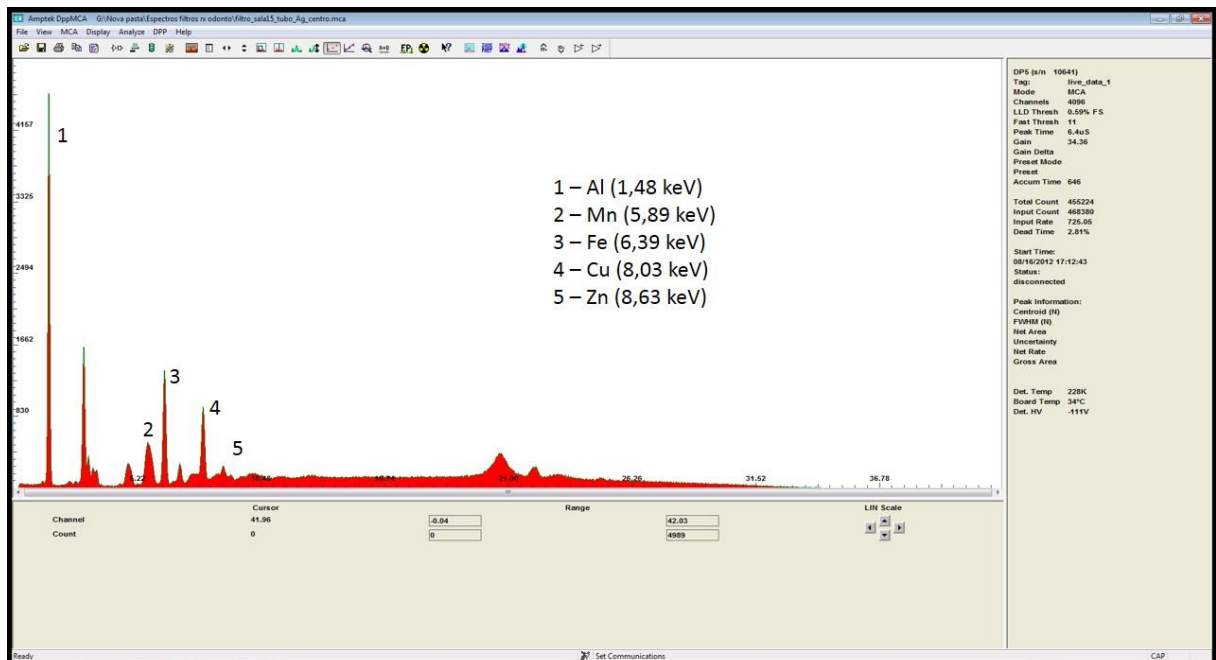
• **FILTRO H**



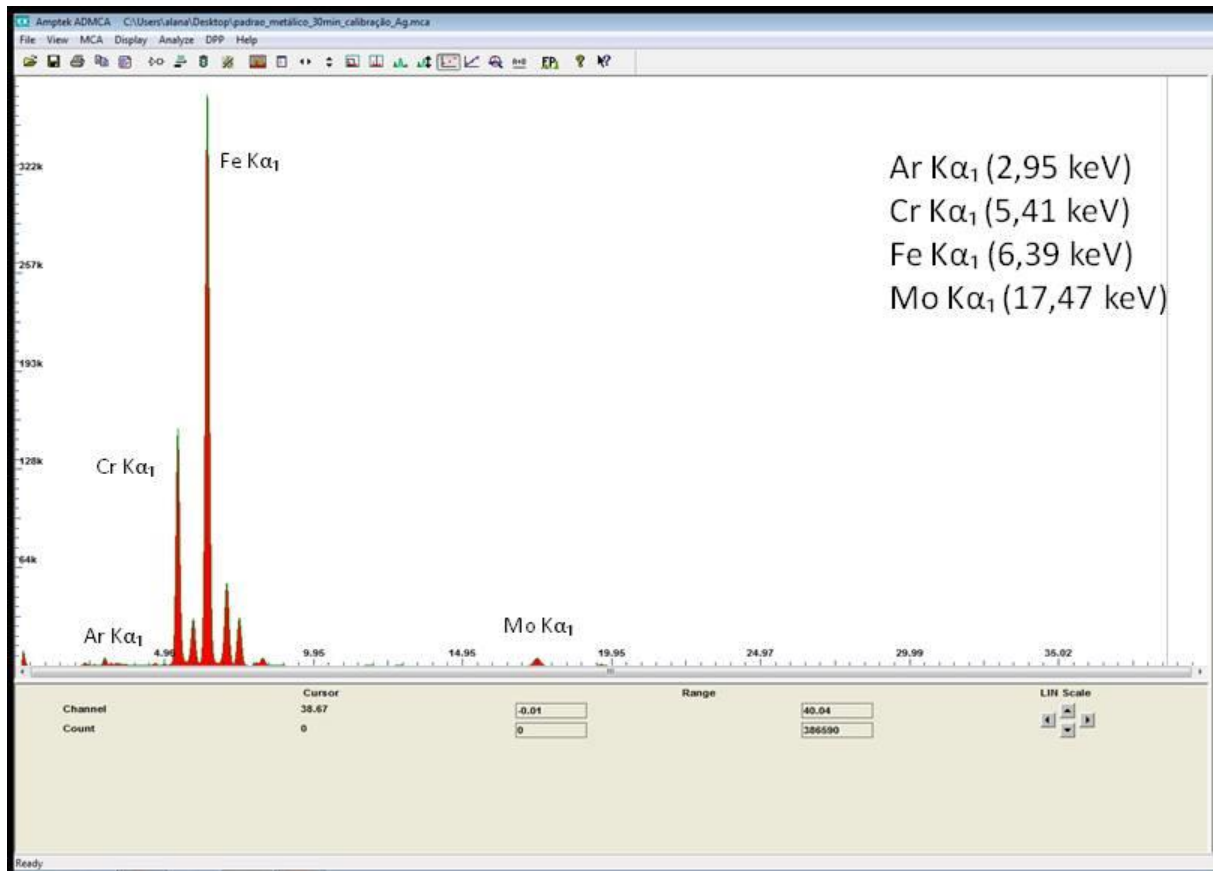
- FILTRO I



- FILTRO J



- CALIBRAÇÃO



## APÊNDICE B – RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FILTROS

### • Filtro A

#### Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_eqdesativado\_tubo  
19:51:17 07-??-14

Comment line

Layer Table =====

#	Thick	Type	Error	Units	Density	Norm.	Total
1	0.00	Bulk	0.00	mg/cm2	0.00	On	100.00

Sample Table =====

Layer	Component	Type	Concn.	Error	Units	Mole%	Error
1	Al	Calc	99.323	0.973	wt.%	99.626	0.976
1	Cl	Calc	0.000	0.000	wt.%	0.000	0.000
1	S	Calc	0.134	0.017	wt.%	0.113	0.015
1	Ti	Calc	0.010	0.003	wt.%	0.006	0.001
1	Mn	Calc	0.042	0.002	wt.%	0.021	0.001
1	Fe	Calc	0.459	0.005	wt.%	0.223	0.003
1	Cu	Calc	0.007	0.001	wt.%	0.003	0.000
1	Zn	Calc	0.014	0.001	wt.%	0.006	0.000
1	Zr	Calc	0.011	0.001	wt.%	0.003	0.000

Element Table =====

Elmt	Line	Cond	Ratio	Intensity	Error	Intensity	Conc.	Conc	Calibration
	Code	Code	Method	(c/s)	(c/s)	Method		Method	Coefficient
Al	Ka	1	None	46.781	0.4584	Gaussian	99.323	FP	0.000
S	Ka	1	None	0.605	0.0789	Gaussian	0.134	FP	0.000
Cl	Ka	1	None	0.000	0.0635	Gaussian	0.000	FP	0.000
Ti	Ka	1	None	0.313	0.0793	Gaussian	0.010	FP	0.000
Mn	Ka	1	None	2.750	0.1469	Gaussian	0.042	FP	0.000
Fe	Ka	1	None	37.021	0.4193	Gaussian	0.459	FP	0.000
Cu	Ka	1	None	0.889	0.1518	Gaussian	0.007	FP	0.000
Zn	Ka	1	None	2.063	0.1760	Gaussian	0.014	FP	0.000
Zr	Ka	1	None	2.206	0.2245	Gaussian	0.011	FP	0.000

Analysis Conditions =====

#	Target	Filter	Thick.	kV	uA	---Detector---	Thick.	Atmos	Preset	Actual
			(um)			Type Filter	(um)		Time (s)	Time (s)
1	Ag	None	0.8	40.0	5.0	Si drift None	500.0	Air	0.0	905.6

Processing Conditions =====

#	No.	Escape	Sum	Back	C/R	Blank	----Blank----
		Smths	Peaks	Peaks	Type	Ratio	Rem. ----File----
1	2	Yes	Yes	Auto	Yes	No	

Compton/Rayleigh Results =====

#	Compton	---ROI (keV)---	Rayleigh	---ROI (keV)---
	(c/s)	Low High	(c/s)	Low High
1	14.06	19.940 21.680	4.07	21.680 22.500

- FILTRO B**

### Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_clininteg\_E\_tubo\_19:53:28 07-??-14

Comment line

Layer Table =====

#	Thick	Type	Error	Units	Density	Norm.	Total
1	0.00	Bulk	0.00	mg/cm2	0.00	On	100.00

Sample Table =====

Layer	Component	Type	Concn.	Error	Units	Mole%	Error
1	Al	Calc	98.592	0.978	wt.%	99.068	0.983
1	Cl	Calc	0.501	0.016	wt.%	0.383	0.012
1	S	Calc	0.252	0.021	wt.%	0.213	0.018
1	Ti	Calc	0.276	0.007	wt.%	0.156	0.004
1	Mn	Calc	0.013	0.002	wt.%	0.006	0.001
1	Fe	Calc	0.324	0.004	wt.%	0.157	0.002
1	Cu	Calc	0.003	0.001	wt.%	0.001	0.000
1	Zn	Calc	0.028	0.001	wt.%	0.012	0.001
1	Zr	Calc	0.011	0.001	wt.%	0.003	0.000

Element Table =====

Elmt	Line	Cond	Ratio	Intensity	Error	Intensity	Conc.	Conc	Calibration
	Code	Code	Method	(c/s)	(c/s)	Method		Method	Coefficient
Al	Ka	1	None	63.061	0.6255	Gaussian	98.592	FP	0.000
S	Ka	1	None	1.565	0.1312	Gaussian	0.252	FP	0.000
Cl	Ka	1	None	6.896	0.2242	Gaussian	0.501	FP	0.000
Ti	Ka	1	None	11.738	0.2859	Gaussian	0.276	FP	0.000
Mn	Ka	1	None	1.153	0.1572	Gaussian	0.013	FP	0.000
Fe	Ka	1	None	35.239	0.4864	Gaussian	0.324	FP	0.000
Cu	Ka	1	None	0.491	0.1937	Gaussian	0.003	FP	0.000
Zn	Ka	1	None	5.708	0.2735	Gaussian	0.028	FP	0.000
Zr	Ka	1	None	3.052	0.3179	Gaussian	0.011	FP	0.000

Analysis Conditions =====

#	Target	Filter	Thick.	kV	uA	---Detector---	Thick.	Atmos	Preset	Actual
			(um)			Type Filter	(um)		Time(s)	Time(s)
1	Ag	None	0.8	40.0	5.0	Si drift None	500.0	Air	0.0	656.8

Processing Conditions =====

#	No.	Escape	Sum	Back	C/R	Blank	----Blank----
		Smths	Peaks	Peaks	Type	Ratio	Rem. ----File-----
1	2	Yes	Yes	Auto	Yes	No	

Compton/Rayleigh Results =====

#	Compton	---ROI (keV)---	Rayleigh	---ROI (keV)---
	(c/s)	Low High	(c/s)	Low High
1	17.37	19.940 21.680	6.37	21.680 22.500

• **FILTRO C**

Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_clininteg\_D\_tubo\_19:55:44 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
 # Thick Type Error Units Density Norm. Total  
 1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
 Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
 1 Al Calc 96.634 1.017 wt.% 97.633 1.028  
 1 Cl Calc 1.570 0.028 wt.% 1.208 0.022  
 1 S Calc 0.601 0.030 wt.% 0.511 0.025  
 1 Ti Calc 0.821 0.012 wt.% 0.467 0.007  
 1 Mn Calc 0.010 0.002 wt.% 0.005 0.001  
 1 Fe Calc 0.345 0.005 wt.% 0.169 0.002  
 1 Cu Calc 0.004 0.001 wt.% 0.002 0.001  
 1 Zn Calc 0.012 0.001 wt.% 0.005 0.001  
 1 Zr Calc 0.003 0.001 wt.% 0.001 0.000

Element Table =====  
 Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
 Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
 Al Ka 1 None 59.372 0.6250 Gaussian 96.634 FP 0.000  
 S Ka 1 None 3.703 0.1832 Gaussian 0.601 FP 0.000  
 Cl Ka 1 None 21.306 0.3841 Gaussian 1.570 FP 0.000  
 Ti Ka 1 None 33.813 0.4802 Gaussian 0.821 FP 0.000  
 Mn Ka 1 None 0.839 0.1534 Gaussian 0.010 FP 0.000  
 Fe Ka 1 None 35.711 0.5020 Gaussian 0.345 FP 0.000  
 Cu Ka 1 None 0.657 0.2045 Gaussian 0.004 FP 0.000  
 Zn Ka 1 None 2.269 0.2421 Gaussian 0.012 FP 0.000  
 Zr Ka 1 None 0.689 0.3002 Gaussian 0.003 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
 # Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
 (um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
 1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 621.2

Processing Conditions =====  
 # No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----  
 Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----  
 1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
 # Compton ---ROI (keV)--- Rayleigh ---ROI (keV)---  
 (c/s) Low High (c/s) Low High  
 1 26.63 19.940 21.680 6.44 21.680 22.500



- FILTRO D

## Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_clinl\_E\_tubo\_Ag\_c  
19:57:38 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
# Thick Type Error Units Density Norm. Total  
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
1 Al Calc 98.347 0.915 wt.% 99.052 0.921  
1 Cl Calc 0.026 0.007 wt.% 0.020 0.005  
1 S Calc 0.375 0.022 wt.% 0.317 0.018  
1 Ti Calc 0.025 0.003 wt.% 0.014 0.002  
1 Mn Calc 0.765 0.007 wt.% 0.378 0.003  
1 Fe Calc 0.351 0.004 wt.% 0.171 0.002  
1 Cu Calc 0.085 0.002 wt.% 0.036 0.001  
1 Zn Calc 0.023 0.001 wt.% 0.010 0.000  
1 Zr Calc 0.003 0.001 wt.% 0.001 0.000

Element Table =====  
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
Al Ka 1 None 65.520 0.6095 Gaussian 98.347 FP 0.000  
S Ka 1 None 2.465 0.1431 Gaussian 0.375 FP 0.000  
Cl Ka 1 None 0.381 0.0967 Gaussian 0.026 FP 0.000  
Ti Ka 1 None 1.160 0.1249 Gaussian 0.025 FP 0.000  
Mn Ka 1 None 71.537 0.6459 Gaussian 0.765 FP 0.000  
Fe Ka 1 None 40.645 0.4997 Gaussian 0.351 FP 0.000  
Cu Ka 1 None 15.512 0.3435 Gaussian 0.085 FP 0.000  
Zn Ka 1 None 4.811 0.2486 Gaussian 0.023 FP 0.000  
Zr Ka 1 None 0.892 0.2765 Gaussian 0.003 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
# Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
(um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 717.9

Processing Conditions =====  
# No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----  
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----  
1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
# Compton ---ROI(keV)--- Rayleigh ---ROI(keV)---  
(c/s) Low High (c/s) Low High  
1 25.66 19.940 21.680 5.94 21.680 22.500

- FILTRO E

## Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_sala10\_tubo\_Ag\_ce  
19:49:17 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
# Thick Type Error Units Density Norm. Total  
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
1 Al Calc 99.379 0.971 wt.% 0.000 0.000  
1 Cl Calc 0.000 0.000 wt.% 0.000 0.000  
1 S Calc 0.167 0.018 wt.% 0.000 0.000  
1 Ti Calc 0.004 0.002 wt.% 0.000 0.000  
1 Fe Calc 0.303 0.004 wt.% 0.000 0.000  
1 Cu Calc 0.013 0.001 wt.% 0.000 0.000  
1 Zn Calc 0.017 0.001 wt.% 0.000 0.000  
1 Zr Calc 0.008 0.001 wt.% 0.000 0.000  
1 Mn Calc 0.108 0.003 wt.% 0.000 0.000  
1 Calc 0.000 0.000 wt.% 0.000 0.000

Element Table =====  
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
Al Ka 1 None 69.482 0.6787 Gaussian 99.379 FP 0.000  
S Ka 1 None 1.121 0.1200 Gaussian 0.167 FP 0.000  
Cl Ka 1 None 0.000 0.0888 Gaussian 0.000 FP 0.000  
Ti Ka 1 None 0.200 0.0979 Gaussian 0.004 FP 0.000  
Mn Ka 1 None 10.436 0.2909 Gaussian 0.108 FP 0.000  
Fe Ka 1 None 36.133 0.5071 Gaussian 0.303 FP 0.000  
Cu Ka 1 None 2.588 0.2260 Gaussian 0.013 FP 0.000  
Zn Ka 1 None 3.818 0.2561 Gaussian 0.017 FP 0.000  
Zr Ka 1 None 2.466 0.3155 Gaussian 0.008 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
# Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
(um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 613.3

Processing Conditions =====  
# No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----  
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----  
1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
# Compton ---ROI (keV)--- Rayleigh ---ROI (keV)---  
(c/s) Low High (c/s) Low High  
1 23.62 19.940 21.680 5.66 21.680 22.500

- FILTRO F

## Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_salal1\_tubo\_Ag\_ce  
19:46:48 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
# Thick Type Error Units Density Norm. Total  
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
1 Al Calc 99.133 0.973 wt.% 0.000 0.000  
1 S Calc 0.392 0.023 wt.% 0.000 0.000  
1 Cl Calc 0.000 0.000 wt.% 0.000 0.000  
1 Ti Calc 0.009 0.002 wt.% 0.000 0.000  
1 Mn Calc 0.102 0.003 wt.% 0.000 0.000  
1 Cu Calc 0.115 0.002 wt.% 0.000 0.000  
1 Fe Calc 0.238 0.004 wt.% 0.000 0.000  
1 Zn Calc 0.011 0.001 wt.% 0.000 0.000  
1 Zr Calc 0.001 0.001 wt.% 0.000 0.000  
1 Calc 0.000 0.000 wt.% 0.000 0.000

Element Table =====  
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
Al Ka 1 None 59.699 0.5861 Gaussian 99.133 FP 0.000  
S Ka 1 None 2.275 0.1355 Gaussian 0.392 FP 0.000  
Cl Ka 1 None 0.000 0.0790 Gaussian 0.000 FP 0.000  
Ti Ka 1 None 0.348 0.0936 Gaussian 0.009 FP 0.000  
Mn Ka 1 None 8.485 0.2459 Gaussian 0.102 FP 0.000  
Fe Ka 1 None 24.507 0.3924 Gaussian 0.238 FP 0.000  
Cu Ka 1 None 19.468 0.3678 Gaussian 0.115 FP 0.000  
Zn Ka 1 None 2.087 0.2048 Gaussian 0.011 FP 0.000  
Zr Ka 1 None 0.202 0.2544 Gaussian 0.001 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
# Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
(um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 708.5

Processing Conditions =====  
# No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----  
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----  
1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
# Compton ---ROI (keV)--- Rayleigh ---ROI (keV)---  
(c/s) Low High (c/s) Low High  
1 27.33 19.940 21.680 4.87 21.680 22.500

- FILTRO G

## Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_sala12\_tubo\_Ag\_ce  
19:42:04 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
# Thick Type Error Units Density Norm. Total  
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
1 Al Calc 99.207 0.966 wt.% 99.501 0.969  
1 S Calc 0.336 0.022 wt.% 0.284 0.019  
1 Cl Calc 0.000 0.000 wt.% 0.000 0.000  
1 Ti Calc 0.013 0.002 wt.% 0.007 0.001  
1 Fe Calc 0.243 0.004 wt.% 0.118 0.002  
1 Cu Calc 0.111 0.002 wt.% 0.047 0.001  
1 Zn Calc 0.009 0.001 wt.% 0.004 0.000  
1 Mn Calc 0.079 0.003 wt.% 0.039 0.001  
1 Zr Calc 0.002 0.001 wt.% 0.001 0.000

Element Table =====  
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
Al Ka 1 None 67.975 0.6617 Gaussian 99.207 FP 0.000  
S Ka 1 None 2.214 0.1454 Gaussian 0.336 FP 0.000  
Cl Ka 1 None 0.000 0.0863 Gaussian 0.000 FP 0.000  
Ti Ka 1 None 0.594 0.1097 Gaussian 0.013 FP 0.000  
Mn Ka 1 None 7.438 0.2496 Gaussian 0.079 FP 0.000  
Fe Ka 1 None 28.552 0.4467 Gaussian 0.243 FP 0.000  
Cu Ka 1 None 21.376 0.4090 Gaussian 0.111 FP 0.000  
Zn Ka 1 None 1.909 0.2261 Gaussian 0.009 FP 0.000  
Zr Ka 1 None 0.616 0.2890 Gaussian 0.002 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
# Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
(um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 632.7

Processing Conditions =====  
# No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----  
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----  
1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
# Compton ---ROI(keV)--- Rayleigh ---ROI(keV)---  
(c/s) Low High (c/s) Low High  
1 30.78 19.940 21.680 5.99 21.680 22.500

- FILTRO H

## Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_salal3\_tubo\_Ag\_ce  
19:36:14 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
# Thick Type Error Units Density Norm. Total  
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
1 Al Calc 99.362 0.835 wt.% 99.618 0.837  
1 S Calc 0.212 0.016 wt.% 0.179 0.013  
1 Cl Calc 0.006 0.005 wt.% 0.004 0.004  
1 Ti Calc 0.015 0.002 wt.% 0.008 0.001  
1 Mn Calc 0.079 0.002 wt.% 0.039 0.001  
1 Fe Calc 0.217 0.003 wt.% 0.105 0.002  
1 Cu Calc 0.101 0.002 wt.% 0.043 0.001  
1 Zn Calc 0.006 0.001 wt.% 0.003 0.000  
1 Zr Calc 0.001 0.001 wt.% 0.000 0.000

Element Table =====  
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
Al Ka 1 None 73.438 0.6168 Gaussian 99.362 FP 0.000  
S Ka 1 None 1.506 0.1129 Gaussian 0.212 FP 0.000  
Cl Ka 1 None 0.091 0.0768 Gaussian 0.006 FP 0.000  
Ti Ka 1 None 0.738 0.1015 Gaussian 0.015 FP 0.000  
Mn Ka 1 None 8.024 0.2298 Gaussian 0.079 FP 0.000  
Fe Ka 1 None 27.407 0.3937 Gaussian 0.217 FP 0.000  
Cu Ka 1 None 20.943 0.3653 Gaussian 0.101 FP 0.000  
Zn Ka 1 None 1.471 0.1974 Gaussian 0.006 FP 0.000  
Zr Ka 1 None 0.463 0.2464 Gaussian 0.001 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
# Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
(um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 783.6

Processing Conditions =====  
# No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----  
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----  
1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
# Compton ---ROI(keV)--- Rayleigh ---ROI(keV)---  
(c/s) Low High (c/s) Low High  
1 17.09 19.940 21.680 6.71 21.680 22.500

• **FILTRO I**

Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_sala14\_tubo\_Ag\_ce  
19:31:32 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
# Thick Type Error Units Density Norm. Total  
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
1 Al Calc 99.182 0.976 wt.% 99.491 0.979  
1 S Calc 0.308 0.022 wt.% 0.260 0.018  
1 Cl Calc 0.031 0.007 wt.% 0.023 0.005  
1 Ti Calc 0.018 0.003 wt.% 0.010 0.001  
1 Fe Calc 0.252 0.004 wt.% 0.122 0.002  
1 Mn Calc 0.074 0.003 wt.% 0.037 0.001  
1 Cu Calc 0.124 0.002 wt.% 0.053 0.001  
1 Zn Calc 0.011 0.001 wt.% 0.004 0.000  
1 Zr Calc 0.001 0.001 wt.% 0.000 0.000

Element Table =====  
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
Al Ka 1 None 61.527 0.6054 Gaussian 99.182 FP 0.000  
S Ka 1 None 1.840 0.1306 Gaussian 0.308 FP 0.000  
Cl Ka 1 None 0.405 0.0943 Gaussian 0.031 FP 0.000  
Ti Ka 1 None 0.726 0.1074 Gaussian 0.018 FP 0.000  
Mn Ka 1 None 6.361 0.2260 Gaussian 0.074 FP 0.000  
Fe Ka 1 None 26.739 0.4173 Gaussian 0.252 FP 0.000  
Cu Ka 1 None 21.581 0.3954 Gaussian 0.124 FP 0.000  
Zn Ka 1 None 2.146 0.2180 Gaussian 0.011 FP 0.000  
Zr Ka 1 None 0.377 0.2661 Gaussian 0.001 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
# Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
(um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 683.5

Processing Conditions =====  
# No. Escape Sum Back C/R Blank ----Blank----  
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ----File-----  
1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
# Compton ---ROI (keV)--- Rayleigh ---ROI (keV)---  
(c/s) Low High (c/s) Low High  
1 19.14 19.940 21.680 5.81 21.680 22.500

- FILTRO J

## Amptek Inc XRF Analysis Report

File: C:\Documents and Settings\Aluno\Desktop\Espectros filtros rx odonto\filtro\_sala15\_tubo\_Ag\_ce  
19:25:37 07-??-14

Comment line

Layer Table =====  
# Thick Type Error Units Density Norm. Total  
1 0.00 Bulk 0.00 mg/cm2 0.00 On 100.00

Sample Table =====  
Layer Component Type Conc. Error Units Mole% Error  
1 Al Calc 99.374 0.964 wt.% 0.000 0.000  
1 S Calc 0.141 0.017 wt.% 0.000 0.000  
1 Cl Calc 0.000 0.000 wt.% 0.000 0.000  
1 Ti Calc 0.014 0.002 wt.% 0.000 0.000  
1 Mn Calc 0.096 0.003 wt.% 0.000 0.000  
1 Fe Calc 0.250 0.004 wt.% 0.000 0.000  
1 Cu Calc 0.114 0.002 wt.% 0.000 0.000  
1 Zn Calc 0.010 0.001 wt.% 0.000 0.000  
1 Zr Calc 0.001 0.001 wt.% 0.000 0.000  
1 Calc 0.000 0.000 wt.% 0.000 0.000

Element Table =====  
Elmt Line Cond Ratio Intensity Error Intensity Conc. Conc Calibration  
Code Code Method (c/s) (c/s) Method Method Coefficient  
Al Ka 1 None 68.926 0.6684 Gaussian 99.374 FP 0.000  
S Ka 1 None 0.936 0.1133 Gaussian 0.141 FP 0.000  
Cl Ka 1 None 0.000 0.0869 Gaussian 0.000 FP 0.000  
Ti Ka 1 None 0.633 0.1106 Gaussian 0.014 FP 0.000  
Mn Ka 1 None 9.250 0.2745 Gaussian 0.096 FP 0.000  
Fe Ka 1 None 29.710 0.4597 Gaussian 0.250 FP 0.000  
Cu Ka 1 None 22.140 0.4201 Gaussian 0.114 FP 0.000  
Zn Ka 1 None 2.197 0.2345 Gaussian 0.010 FP 0.000  
Zr Ka 1 None 0.382 0.2917 Gaussian 0.001 FP 0.000

Analysis Conditions =====  
# Target Filter Thick. kV uA ---Detector--- Thick. Atmos Preset Actual  
(um) Type Filter (um) Time(s) Time(s)  
1 Ag None 0.8 40.0 5.0 Si drift None 500.0 Air 0.0 627.7

Processing Conditions =====  
# No. Escape Sum Back C/R Blank ---Blank---  
Smths Peaks Peaks Type Ratio Rem. ---File---  
1 2 Yes Yes Auto Yes No

Compton/Rayleigh Results =====  
# Compton ---ROI (keV)--- Rayleigh ---ROI (keV)---  
(c/s) Low High (c/s) Low High  
1 32.08 19.940 21.680 5.87 21.680 22.500