



NÚMERO ATÔMICO EFETIVO DO ESMALTE DENTARIO

J., E. Rodas Duran e

Maria do Socorro Nogueira

*Departamento de Física e Matemática da
FFCLRP – USP 14040-901 Ribeirão Preto, SP,
Brasile-mail jerduran @ffclrp.usp.br*

Resumo

Os números atômicos efetivos \bar{Z} , são bastantes utilizados para caracterizar às interações da radiação ionizante com a matéria. Em particular para o cálculo do \bar{Z} de tecidos biológicos e/ou materiais compostos, precisamos conhecer as relações entre as seções de choque das diversas interações da radiação com a matéria e os números atômicos Z dos elementos constituintes do tecido ou material composto. Normalmente a seção de choque por átomo σ^a é proporcional a Z^m . O valor de m depende do tipo de processo interativo e da energia dos fótons incidentes. No caso da interação fotoelétrica, os valores de m variaram entre 4,698 e 4,799, para energias entre 10 a 200 keV. Foi verificado que elementos constituintes com Z altos (> 20), tiveram uma contribuição maior. Os valores de m , para a interação Compton e espalhamento coerente, foram calculados de forma similar. Conhecido os valores de m , podemos calcular os \bar{Z} parciais de um material composto. Para o cálculo do \bar{Z} total podemos usar alternativas a partir do número atômico equivalente correspondente à seção de choque total $\sigma_{tot,mc}^a$ do material composto. Neste

trabalho, para o cálculo dos valores do \bar{Z} correspondentes às diversas interações, aplicamos uma regressão linear aos valores $\text{Ln}\sigma^a \times \text{Ln}Z$, para diferentes energias. Em geral, para caracterizar-se um material simulador de um tecido ou material composto, precisamos conhecer o \bar{Z} total em função da energia. Quando a energia dos fótons aplicada ao esmalte dentário, aumenta até algumas centenas de keV, os valores parciais de \bar{Z} devido ao efeito fotoelétrico e ao espalhamento coerente crescem, isto é devido, a que, o esmalte tem uma grande concentração de elementos com Z altos.

Introdução

O cálculo de \bar{Z} , exige conhecer a relação entre as seções de choque e o número atômico Z dos elementos constituintes do material composto. A seção de choque parcial σ^a por átomo é proporcional a Z^m , ou $\sigma^a = kZ^m$, onde k e m , são constantes que dependem do processo interativo ser efeito fotoelétrico, espalhamento coerente ou espalhamento incoerente. Os valores de k e m , também mudam com a energia dos fótons incidentes. Determinando-se valores para m , podemos calcular os \bar{Z} parciais de um material composto, pela relação (1),



$[\sum_i \alpha_i Z_i^{m-1}]^{1/(m-1)}$ onde α_i , é o número fracional de elétrons de um elemento constituinte do material composto. α_i é calculado pela relação: $\alpha_i = (\omega_i Z_i / A_i) / [\sum \omega_i Z_i / A_i]$. ω_i e A_i são a proporção de peso e a massa atômica respectivamente do i -ésimo constituinte do material composto. Também se pode definir o número atômico efetivo \bar{Z} , como o número atômico associado à seção de choque atômica total $\sigma_{tot,mc}^a$ do material composto. Conforme foi sugerido por Rao et al.(2), pode-se calcular $\sigma_{tot,mc}^a$, fazendo-se uma média sobre os elementos constituintes do material:

$$\sigma_{tot,mc}^a = (\mu/\rho)_{mc} / [\sum_i N_o \omega_i / A_i]. \quad \text{Onde,}$$

$(\mu/\rho)_{mc}$ é o coeficiente de atenuação de massa do material composto e N_o é o número de Avogadro. Como $(\mu/\rho)_{mc}$ depende da energia E dos fótons incidentes, teremos que, $\bar{Z} = \bar{Z}(E)$.

Materiais e métodos

A determinação dos elementos constituintes do esmalte de dente humano, foi feito por Rodas e Baffa (3) utilizando-se diversas técnicas experimentais. As amostras de esmalte dentário foram retiradas de diversos tipos de dentes humanos, dependendo da medida a ser feita, foi muitas vezes necessário reduzir a amostra a pó. Cuidados especiais foram tomados para retirar-se a dentina dos dentes. Os constituintes atômicos do esmalte estão concentrados em sua parte mineral e na água presente neste tecido. Sua parte orgânica foi desconsiderada devido a que, o percentual em que esta presente, da ordem de 1,4% é muito pequeno. Os elementos presentes em maior percentual foram, Oxigênio (O), Cálcio (Ca) e Fósforo (P). Outros elementos também presentes foram:

Hidrogênio (H), Carbono (C), Sódio (Na), Cloro (Cl), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Flúor (F) e Potássio (K). Foram encontrados traços de Al, Si, Zn, Sr e Cu. O procedimento seguido no cálculo das frações de peso de cada constituinte da amostra, dão resultados que tem um bom suporte experimental, principalmente quando estudamos os efeitos da radiação ionizante no material.

Resultados e discussão

Para o cálculo dos números atômicos efetivos \bar{Z} , associado a cada tipo de interação da radiação com a matéria, foi utilizado a relação: $[\sum_i \alpha_i Z_i^{m-1}]^{1/(m-1)}$. Ao

calcular o \bar{Z} do material composto utilizamos para cada valor de energia, diferentes valores de m , em cada interação. Os valores de m , correspondentes à interação fotoelétrica, foram calculados assumindo-se que, $\sigma^a = kZ^m$, ou $\ln \sigma^a \propto \ln Z$. k e m , são constantes para cada valor da energia dos fótons incidentes. Para encontrar os valores de m correspondentes a cada energia dos fótons, inicialmente construímos o gráfico $\ln \sigma^a \times \ln Z$, levando-se em conta todos os elementos constituintes do esmalte dentário. A seguir aplicamos a cada gráfico uma regressão linear. Os valores de m correspondentes às interações incoerente e coerente, foram determinados seguindo-se um processo similar ao caso da absorção fotoelétrica. Na tabela 1 mostramos os valores de m para cada tipo de interação.

Tabela 1. Valores calculados de m, para cada tipo de interação dos fótons incidentes com a matéria a diversas energias.

Energia (KeV)	m para a interação:		
	Fotoelétrica	Incoerente	Coerente
10	4,698	0,802	2,457
15	4,767	0,857	2,538
20	4,392	0,891	2,584
30	4,478	0,927	2,638
40	4,547	0,947	2,676
50	4,602	0,958	2,742
60	4,625	0,968	2,719
80	4,674	0,979	2,621
100	4,712	0,979	2,62
150	4,769	0,991	2,645
200	4,799	0,994	2,656

Nestes cálculos encontramos que os elementos com $Z > 20$, tem uma grande contribuição na absorção fotoelétrica. Na figura 1, mostramos para três valores da energia dos fótons incidentes, que o logaritmo da seção de choque devido ao efeito fotoelétrica em função do logaritmo do número atômico dos elementos constituintes do esmalte, é uma relação linear. Obtendo-se assim para cada valor de energia, um valor constante para m. Por um processo similar encontramos os valores de m correspondentes às interações incoerente e coerente.

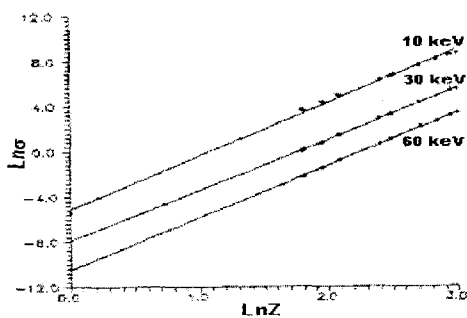


Fig.1 $\text{Ln}\sigma$ em função de $\text{Ln}Z$, onde σ (barn/ átomo) é a seção de choque atômica correspondente ao efeito fotoelétrico

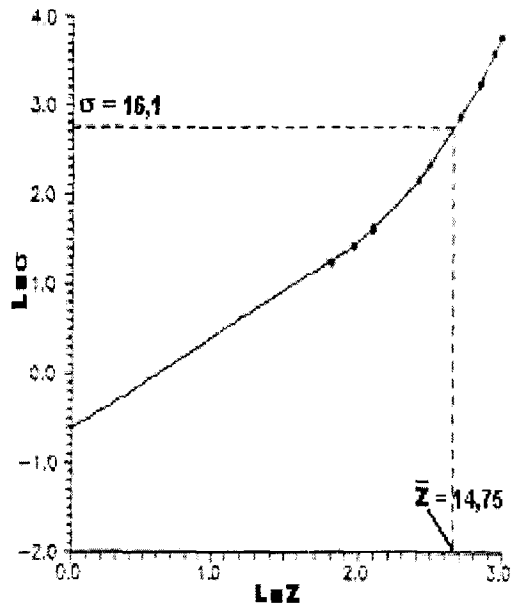


Fig. 2 $\text{Ln}\sigma$ em função de $\text{Ln}Z$, onde σ (embarn/átomo) é a seção de choque total. Os valores de σ , para os elementos do esmalte, foram tomados das tabelas de Storm⁽⁴⁾.

Os valores utilizados para as seções de choque atômicas, dos elementos constituintes do esmalte foram retirados das tabelas de Storm et al.(4), para o intervalo de energia de 10 a 200 keV. O cálculo dos números atômicos efetivos correspondentes às interações incoerente, coerente e absorção fotoelétrica, foram feitos a partir da equação: $[\sum_i \alpha_i Z_i^{m-1}]^{1/(m-1)}$.

Em geral para caracterizar-se um material que simule um material composto, precisamos do número atômico efetivo total \bar{Z} . As maiores contribuições ao valor de \bar{Z} , são os números atômicos efetivos dos processos parciais fotoelétrico e espalhamento coerente (5). Para calcular o valor de \bar{Z} , procedemos da seguinte maneira: escolhemos um valor E_0 para a energia dos fótons incidentes, e construímos um gráfico dos valores da seção de choque atômica total em função do número atômico para elementos individuais. No gráfico colocamos o valor de $\sigma_{\text{tot},mc}^a$ calculado para a energia E_0 , o correspondente valor do número atômico, será \bar{Z} o número atômico efetivo do



material composto. Este procedimento foi feito para valores de energia, dentro do intervalo de 10 a 200 keV.

Na figura 2 esta apresentado o gráfico $\text{Ln}\sigma \times \text{Ln}Z$ correspondente a fótons incidentes de 60 keV de energia. Neste caso encontramos para o esmalte um número atômico efetivo de 14,75. A tabela 2 apresenta, para diversas energia dos fótons, os correspondentes valores das seções de choque do esmalte, para as interações incoerente, coerente e fotoelétrico. É apresentado também os correspondentes valores das seções de choque total.

Tabela 2. Seções de choque do esmalte dentário para diversas energias dos fótons incidentes

Energia (KeV)	Seção de choque para a interação:			Seção de Choque total
	Incoerente	Coerente	Fotoelétrico	
10	4,486	23,020	1838,00	1865,0
15	5,195	14,130	570,00	590,3
20	5,588	9,445	244,00	259,7
30	5,942	5,077	72,00	83,0
40	6,061	3,188	29,80	39,1
50	6,061	2,200	14,90	23,2
60	6,021	1,620	8,46	16,1
80	5,824	0,964	3,42	10,2
100	5,628	0,642	1,69	7,9
150	5,155	0,298	0,47	5,9
200	4,722	0,172	0,19	5,1

Conclusões

Analisando-se os valores do número atômico efetivo total do esmalte apresentados na tabela 3, podemos ver que, conforme se aumenta a energia dos fótons, os valores do \bar{Z} total e do \bar{Z} parcial devido ao espalhamento incoerente se aproximam. Isto é devido a que, na faixa de energias que estamos considerando, a interação dominante é, devido ao efeito Compton.

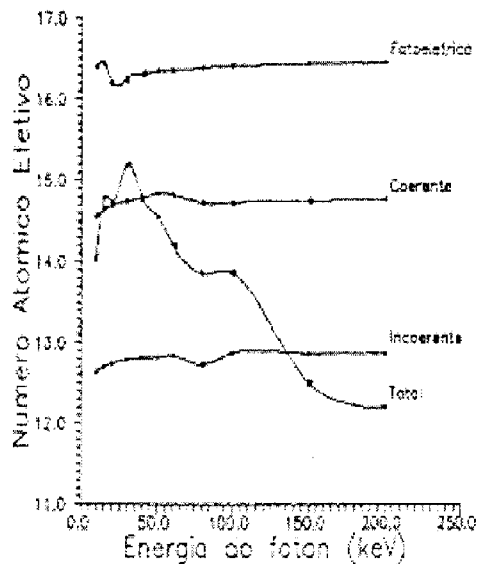
Tabela 3. Números atômicos efetivos parciais e totais do esmalte dentário

Energia (KeV)	Número Atômico Efetivo para interação			Número Atômico Efetivo total
	Incoerente	Coerente	Fotoelétrico	
10	12,64	14,57	16,41	14,01
15	12,71	14,65	16,45	14,79
20	12,75	14,70	16,21	14,75
30	12,79	14,75	16,27	15,19
40	12,82	14,79	16,31	14,79
50	12,86	14,86	16,35	14,57
60	12,84	14,83	16,36	14,21
80	12,73	14,73	16,39	13,86
100	12,88	14,74	16,42	13,87
150	12,87	14,76	16,45	12,50
200	12,87	14,77	16,47	12,21

Na figura 3, apresentamos o gráfico dos valores parciais e totais de \bar{Z} em função da energia dos fótons incidentes. Pode-se observar que o número atômico efetivo total tem um decrescimento, para energias acima dos 30 keV. Conforme aumentamos a energia, os valores de \bar{Z} aproximam-se ao \bar{Z} devido ao efeito Compton. Isto se deve a que, a contribuição à seção de choque total, das seções de choque devido ao espalhamento coerente e ao efeito fotoelétrico, tem decrescimento rápido em relação à contribuição devido ao espalhamento incoerente



Fig 3. Números atômicos efetivos para o esmalte em função da energia dos fótons



Bibliografia

1. Yang, N.C., Lechner, P.K. and Hawkins, W.G. (1987). "Effective atomic numbers for low-energy total photon interactions in human tissues". *Med. Phys.* 14(5), 759-766.
2. Rao, B.V.T., Raju, M.L.N., Narasimhan, K.L. Par-tasaradhi, K. and Rao, B.M. (1985). *Med. Phys.* 12, 745-748.
3. Rodas Duran, J.E. and Baffa, O. (1998). "Calculation of f factor and kerma for human teeth enamel in the range of 0,01 to 10 MeV". Submitted to *Radiation Research*.
4. Ellry, S. and Harvey, I. I. "Photon cross section from 1 keV to 100 MeV for elements Z=1 to Z=100". (1970). *Nuclear Data Tables*, A7, 565-681.
5. Weber, J. and Van Dem Berge, D.J. (1969). "The effective atomic number and the composition of phantom materials". *J.Radiol.*, 42(497), 378-383.