

---

JOÃO GERALDO MARTINS DE SOUZA

- Cirurgião Dentista -

ARGAMASSA BARITADA: TESTE DA PROPORÇÃO E DA ESPESURA DO  
REVESTIMENTO, PARA USO COMO BARREIRA DE PROTEÇÃO PARA RAIOS-X  
DE 30KeV DE ENERGIA EFETIVA, EM CLÍNICAS ODONTOLÓGICAS

Tese apresentada a Faculdade de  
Odontologia de Piracicaba da Univer  
sidade Estadual de Campinas, para a  
obtenção do Grau de MESTRE em  
Odontologia, na área de Radiologia.

PIRACICABA - SP

1992

So89a

16057/BC

UNICAMP  
BIBLIOTECA GERAL

*Ex. 1444/1992  
Bibliotecário  
e CPD / 030/85  
Piracicaba 27/12/92  
9209560/BC*

---

JOÃO GERALDO MARTINS DE SOUZA

- Cirurgião Dentista -

ARGAMASSA BARITADA: TESTE DA PROPORÇÃO E DA ESPESSURA DO  
REVESTIMENTO, PARA USO COMO BARREIRA DE PROTEÇÃO PARA RAIOS-X  
DE 30KeV DE ENERGIA EFETIVA, EM CLÍNICAS ODONTOLÓGICAS

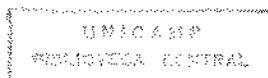
Tese apresentada a Faculdade de  
Odontologia de Piracicaba da Univer  
sidade Estadual de Campinas, para a  
obtenção do Grau de MESTRE em  
Odontologia, na área de Radiologia.

Orientador: Prof. Dr. FRAB NORBERTO BÔSCOLO\*

PIRACICABA - SP

1992

---



Aos meus pais, HEITOR e JULIETA, pelo  
apoio e compreensão.

A minha esposa SUZANA, que sempre  
me apoiou e incentivou, e a minha  
filha ISADORA.

afetuosamente dedico este trabalho

### Agradecimento Especial

A Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universida  
de Estadual de Campinas, nas pessoas de seu Diretor,  
Professor Doutor RENATO ROBERTO BIRAL e do Diretor as-  
sociado Professor Doutor OSVALDO DI HIPOLITO JUNIOR,  
por nos possibilitar fazer o curso e desenvolver este  
trabalho de pesquisa.

### Agradecimento Especial

Ao professor Doutor FRAB NORBERTO BOSCOLO,  
pela orientação na realização deste trabalho,  
e pelo incentivo e estímulo.

### Agradecimento Especial

A bacharel em física ROSANGELA FRANCO COELHO, da área de física médica da UNI CAMP. pela valiosa colaboração e incentivo oferecidos, durante o desenvolvimento deste trabalho.

**Agradecimento Especial**

**Ao professor Doutor VIRGILIO NASCIMENTO  
FILHO, da seção de radioisotopos do CENA  
USP, pela colaboração neste trabalho.**

## AGRADECIMENTOS

Aos funcionários da disciplina de Radiologia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, pela colaboração e boa vontade.

A bibliotecária SUELI DUARTE DE OLIVEIRA SOLIANI, diretora técnica da biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, pela colaboração.

Aos colegas da turma de radiologia e a todos que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração deste trabalho.

## ÍNDICE

Página

CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II	
REVISTA DA LITERATURA.....	4
CAPÍTULO III	
PROPOSIÇÃO.....	14
CAPÍTULO IV	
MATERIAL E MÉTODOS.....	16
CAPÍTULO V	
RESULTADOS.....	38
CAPÍTULO VI	
DISCUSSÃO.....	50
CAPÍTULO VII	
CONCLUSÕES.....	57
CAPÍTULO VIII	
RESUMO.....	59
CAPÍTULO IX	
SUMMARY.....	61
CAPÍTULO X	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
APÊNDICE.....	68

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUÇÃO**

## INTRODUÇÃO

No primeiro ano da descoberta dos raios-X em 1895 por Wilhelm Roentgen, segundo HOLLIDAY<sup>6</sup>, os efeitos nocivos das radiações ionizantes, já haviam sido verificados, mas não amplamente divulgados. Com isto, pela ignorância e a falta de proteção, provocou entre os radiologistas grande incidência de dermatites crônicas, sendo que parte delas evoluíram para lesões malignas. A partir daí, segundo MANSON-HING<sup>10</sup>, foram utilizados meios de proteção às exposições do paciente, profissional, pessoal auxiliar e áreas adjacentes aos aparelhos de raios-X. Para isso, o material eleito foi o chumbo, por sua alta densidade e número atômico, nas formas de revestimento de ambientes, blombos, vidros e aventais plumbíferos.

Quanto ao revestimento de ambientes, além do chumbo, outros materiais foram testados e aplicados. Segundo os trabalhos de TIRPAK<sup>21</sup> e PETRUCCI<sup>18</sup>, em 1950 teve início as pesquisas com o concreto pesado, com a adição de agregados de alta densidade para a construção de barreiras radioprotetoras. Entre estes agregados, foi estudado o sulfato de bário, sendo que o bário, é o elemento básico e predominante do mineral barita, segundo DANA, HURLBUT JUNIOR<sup>5</sup>. Com o alto custo de aplicação do chumbo e as dificuldades estruturais na aplicação do concreto pesado, os testes concentram-se em materiais de mais fácil aplicação e menor peso, contudo, com o poder de atenuar radiações o mais próximo possível

ao do chumbo. Com isto o mineral barita, foi utilizado em diversas proporções e formas. Porém, na literatura observou-se que muitos autores citaram-na como um material utilizado na radioproteção, mas sem grande ênfase ou sem discriminar as proporções e espessuras adequadas para uma determinada energia.

Neste trabalho utilizou-se, raios-X de aproximadamente 30keV de energia efetiva (93,7kVp), para testar uma determinada argamassa, com a adição de pó de barita aos materiais comuns de construção, para blindagens de salas, que envolvam aparelhos de raios-X odontológicos. Para isso, baseou-se nas pesquisas de BRUNI<sup>3</sup>, ABREU<sup>4</sup> e MILLER<sup>13</sup>, quanto as propriedades físicas, químicas ocorrência das jazidas da barita. Foram ainda, utilizados dois sistemas de leituras para a determinação da radiação (Dosímetros de LiF 700 e Câmara de ionização), comparados ainda a um cálculo teórico a partir dos componentes da argamassa.

Com isto, procurou-se apresentar uma opção para o uso deste material em proteção ambiental, nas clínicas de radiologia odontológica.

CAPITULO II  
REVISTA DA LITERATURA

## REVISTA DA LITERATURA

Na literatura ao nosso alcance, encontramos inúmeros trabalhos referentes a radioproteção, uns descrevem normas de proteção, outros técnicas para atenuar a exposição do paciente e profissional, utilizando para tal, certos materiais de construção, comparando sua atenuação com a do chumbo, material normalmente utilizado para esse fim.

Em 1951, TIRPAK<sup>21</sup> em seu trabalho, estudou a utilização do concreto como material de proteção às radiações, comparando-o com outros materiais. As vantagens apresentadas foram a fácil adaptabilidade e o custo relativamente baixo, e como desvantagem a grande espessura necessária, para proteção, quando comparado a outros materiais mais densos. Testou um concreto pesado com o agregado barita, para determinar uma atenuação 50% superior e economicamente viável em relação ao concreto comum. Após os testes, concluiu que a barita pode ser utilizada com sucesso na confecção de concreto com grande densidade para radioproteção, sendo economicamente viável.

Em 1955, BRAESTRUP<sup>2</sup> citou a importância do custo para promover boa proteção às radiações  $x$  e  $\gamma$ , e o material mais adequado. Apresentou o chumbo como o principal, comparando-o com outros materiais de construção: concreto (leve ou com agregados pesados: ferro ou barita), tijolo e o mármore, sendo estes, mais leves e tendo sido aplicados em espessuras calculadas que poderiam

dar o mesmo grau de proteção. Descreve também, a necessidade de levar-se em consideração os fatores de uso e ocupação das salas adjacentes; recomendando ainda, pessoas habilitadas para calcular estes fatores, utilizando as normas e especificações de proteção.

TROUT, KELLEY, LUCAS<sup>22</sup>, em 1959 estudaram a atenuação de raios-X com 50 a 300kVp pelo concreto, e comparando com a atenuação de raios-X de 300kVp pelo chumbo. Aproveitaram a grande aplicação do concreto em estruturas e na construção de paredes, tetos e pisos, para utilizá-lo como barreira radioprotetora. Porém, os dados de atenuação do concreto têm sido avaliados para altas e não para baixas voltagens, pela dificuldade de confeccionar-se placas finas e homogêneas. Para isto, apoiados nos trabalhos de WYCKOFF, KENNEDY, BRAEDFORD<sup>25</sup>, e de MILLER, KENNEDY<sup>13</sup> fizeram uma comparação com o alumínio, que tem densidade, número e peso atômico aproximados ao do concreto, pela sua facilidade de manuseio. Para os testes, calcularam o fator de conversão do alumínio em relação ao concreto ( $fc = 1,11$ ). Após os testes concluíram o trabalho com duas tabelas, uma do equivalente de chumbo para o concreto e outra da camada semi-redutora (HVL) do chumbo e do concreto.

Em 1961, MOOS et al<sup>15</sup> estudaram a variação da eficiência das barreiras aos raios-X, confeccionadas por alguns materiais de construção comumente utilizados. Utilizaram como fontes de radiação dois aparelhos de raios-X: um modelo Weber n°11, gerando uma tensão nominal entre 45 e 70kVp, com 0,375mm de cobre como filtro inerente e 0,5mm de Al como filtro adicional; e outro Weber 12RM

com tensão nominal entre 40 e 90kVp, com 0,125mm de cobre filtro inerente e 0,5mm de Al filtro adicional. Apresentaram uma tabela dos materiais utilizados e descreveram as dimensões das placas testadas. Como instrumentos de leituras da radiação, utilizaram: Westinghouse Probitron modelo FAX16X, e Câmara de ionização Victoreen 1r modelo 70. Após os testes, obtiveram para argamassa comum uma camada semi-redutora (HVL) de 16mm.

Ainda em 1962, TRUOT, KELLEY, LUCAS<sup>23</sup> testaram materiais convencionais da construção civil em barreiras protetoras para raios-X de 70 kVp a 125kVp e filtração equivalente a 0,5mm de Al. Para seus testes, construíram secções de parede com os vários materiais propostos e espessuras variadas, seguindo as normas de construções convencionais. Após os testes concluíram que, as paredes convencionais proporcionam uma proteção significativa para a média das voltagens odontológicas, quando feito um plano para a proteção de salas de radiologia odontológica.

Em 1969, DANA, HURLBUT JUNIOR<sup>5</sup> apresentou as formas cristalinas da barita, e descreveu algumas propriedades físicas, composição química, densidade, ocorrência na natureza e aplicações industriais.

Em 1970, MASSEY<sup>12</sup> relacionou em seu trabalho a qualidade da radiação com a espessura do absorvedor. Definiu a espessura semi-redutora, e demonstrou, através de gráficos e diagramas, como se obter a medida da espessura de um absorvedor para atenuar ou reduzir à metade a intensidade de um feixe de energia.

Em 1971, MANSON-HING<sup>10</sup> descreveu os perigos das radiações ionizantes, os riscos do emprego dos aparelhos de raios-X nos consultórios odontológicos, tanto para o profissional como para o paciente, pessoal auxiliar e salas adjacentes. Ressaltou a importância dos meios de redução das doses de radiação aos pacientes e proteção aos profissionais diretamente envolvidos. Relacionou a quantidade de exposição a fatores como a quilovoltagem utilizada, rendimento dos aparelhos de raios x, capacidade de absorção das paredes e do período de ocupação das áreas adjacentes.

Em seu trabalho publicado em 1973, BRUNI<sup>9</sup> cita que: "as referências mais antigas ao sulfato de bário natural, denominado barita, termo derivado da palavra grega "barys" que significa pesado, por sua alta densidade. Encontra-se na obra de F. LICETUS, publicadas em 1640, onde esta espécie mineral é considerada uma variedade de gipsita e descrita com os nomes de *Lapis bononiensis* e *litheosphorus*. Outras denominações posteriormente também foram aplicadas: *Lysesten*, *Bononiesiskten* e *Gygsun lamellosum* (Wallerius 1747). *Marmor metallicum* (Crostedt 1758), *Gypsum poderosum* (Born 1772), *Spathpesant* (Romé de l'Isle 1772), *Baritita* (Delametherie, 1792), *Barita* (Rasten, 1800).

Ainda segundo BRUNI<sup>9</sup>, a obtenção de derivados de bário remonta desde quando Schile preparou inicialmente, o óxido, e Berzwlilus em 1808 isolou o metal ainda que em forma impura. Posteriormente, Davyes e Bunsen prepararam-no na forma mais pura. Liebig, entretanto, foi o primeiro a aquecer uma mistura de sulfa

to de bário com carvão para obter o sulfeto, estabelecendo assim o princípio básico para a obtenção de produtos industrializados de bário.

Os principais minerais compostos por bário são: Barita e a Viterita, constituem-se em minerais dos quais podem ser obtidos comercialmente: o metal e os compostos de bário, sendo que a Viterita tem sua importância comercial limitada em virtude da escassez de suas jazidas, constituindo-se uma fonte de bário de menor importância.

A barita é um sulfato de bário, teoricamente composto de 65,7% de monóxido de bário ( $BaO$ ) ou 59,8% de bário e 34,3% de trióxido de enxofre. Cristalizando-se no sistema ortorrômbico, classe bipiramidal-rômbica, apresentando clivagem perfeita a  $0,01$  e menos perfeita a  $210$ . Apresenta-se com brilho vítreo, com dureza normalmente de 3 a 3,5 e densidade de  $4,3g/cm^3$  a  $4,6g/cm^3$ . Sua cor pode variar desde o branco até o rosa podendo ser manchado pelo óxido de ferro ou matéria carbonácea. Ocorre nas formas "dura" e "mole" sendo esta última preferida quando o material deve ser finalmente moído.

Quanto as suas especificações e usos, a barita sofre processos de moagem apropriados com densidade  $4,3g/cm^3$  ou superior, ela contém 90% ou mais de  $BaSO_4$ . Por ser resistente ou barrar radiações  $\gamma$  e raios-X, a barita moída é utilizada para preparação de concreto de alta densidade para revestimento de ambientes que envolvam fontes de radiações".

ABREU<sup>1</sup> em 1973, descreveu o mineral barita, quanto a sua forma na natureza, cor, densidade e constituição, e ainda descreveu algumas aplicações e ocorrência das jazidas no Brasil.

Ainda em 1973, HOLLIDAY<sup>6</sup> descreveu em seu trabalho os problemas causados pelas radiações ionizantes logo após a descoberta dos raios-X em 1895, pela falta de divulgação dos efeitos nocivos e das técnicas de proteção, resultando na grande incidência de dermatites crônicas entre os radiologistas da época.

Em 1977, MILLER, SCKUCAS<sup>14</sup> apoiados em outros pesquisadores descreveram as propriedades básicas do sulfato de bário ( $BaSO_4$ ), e entre elas ressaltaram sua alta densidade e radiopacidade, como substância de contraste, para exames radiográficos do tubo digestivo e outras estruturas do organismo humano, por ser o sulfato de bário uma substância inerte e não absorvida pelo organismo. Comentam ainda, a ocorrência do sulfato de bário na natureza, sua ligação com outros elementos ou impurezas, e como o mineral barita é constituído.

Em 1981, PETRUCCI<sup>18</sup> relatou em seu trabalho, no item sobre radioproteção, que inicialmente a proteção radiológica era feita com metais, principalmente o chumbo, mas o alto custo, obrigou a pesquisa de outros materiais. E a partir de 1950, iniciaram-se os estudos de utilização do concreto como elemento de radioproteção, verificando-se que era uma solução adequada e econômica. Com o aumento da potência das fontes de radiações utilizadas, foi necessário a adoção de barreiras mais espessas, mas para

solucionar o problema, foram testados concretos com massas específicas maiores, isto é, concretos pesados pela adição de agregados especiais, tais como: minerais de ferro, minerais de bário, minerais de chumbo, Grenalha de ferro e Alumina.

Ainda segundo PETRUCCI<sup>18</sup>, a análise elementar do concreto comum, apresenta os seguintes valores médios; 50% de Oxigênio, 30% de Silício, 10% de Cálcio e 1% de Hidrogênio, além de outros elementos. O oxigênio e o hidrogênio, ambos de baixo peso atômico, freiam os neutrons, sendo o hidrogênio 120 vezes mais ativo que o oxigênio. E para barrar neutrons rápidos e raios  $\gamma$ , é necessário incorporar agregados à base de ferro, ou de chumbo, ou mesmo de bário.

Em 1982, OKUNO, CALDAS, CHOW<sup>17</sup> descreveram algumas propriedades físicas das radiações, demonstrando os componentes básicos de um sistema de produção de raios-X. Descreveram ainda, a produção de raios x através de fórmulas e gráficos, e também, apresentaram a fórmula adaptada para o cálculo de atenuação. E ainda, definiram camada semi-redutora, apresentando a equação do HVL ou camada semi-redutora.

Em 1987, COALTER, METCALFE<sup>4</sup> compararam o custo efetivo dos materiais para barrar radiações em salas de exames radiográficos. Fizeram um paralelo entre o chumbo e as placas de argamassa baritada, descrevendo as vantagens da utilização das placas, pela facilidade de aplicação e menor custo. Descreveram rapidamente a constituição do material, sendo 60% de sulfato de bário,

35% de sulfato de cálcio (Gesso) e 5% de uma mistura filtrada que proporciona dureza e acabamento superficial, e a confecção dos corpos de prova. Utilizaram como fonte de radiação um aparelho Philips RT-100 e um Stanford 140-10, e como instrumentos de leituras de radiação uma câmara de ionização Farmer de 6cm<sup>3</sup> e um eletrômetro Therados RDM 2A. Após os testes, concluíram que a barita, quando é aplicada nos dois lados da parede, serve realmente como barreira primária e secundária para radiações de até 100kVp, proporcionando uma proteção equivalente a 2mm de chumbo, sendo o custo aproximadamente a metade ao da aplicação do chumbo.

Em 1991, MARQUES, FONTOURA, SOUTO<sup>11</sup> estudaram a eficiência das barreiras de proteção, constituídas de materiais de construção comumente utilizados, para raios-X de 50kVp. Utilizaram um aparelho de raios-X Dabi-Atlante, tipo Spectro II de 50kVp-7mA, para irradiar seus corpos de prova, e como instrumento de leitura da radiação, uma câmara de ionização Nardeux-Loches modelo Babyline 31, tipo E433. No arranjo descrito para exposição dos corpos de prova, foi utilizado como colimador um anteparo de concreto, 1x1m de área e 10cm de espessura e com um orifício central de 20x20cm. Após os testes, concluíram que os materiais normalmente utilizados na construção civil, como o tijolo maciço ou tijolo furado, acrescidos ou não de reboco, com ou sem azulejos, bem como o concreto (5cm), oferecem eficiente absorção às radiações x, sendo bons protetores quando utilizado um aparelho de raios-X odontológico.

CAPÍTULO III  
PROPOSIÇÃO

## PROPOSIÇÃO

Considerando as dificuldades de aplicação e de comercialização do chumbo, em função da espessura e dimensões, e, considerando as propriedades da barita como material opcional na composição de barreiras contra a radiação, nos propomos a:

1. Determinar uma proporção adequada do mineral barita na mistura de uma argamassa para revetimento, que proporcione resistência ao material, aderência à paredes e que aumente o grau de absorção de radiações.
2. Determinar a espessura ideal, por meio de um fator de conversão para a argamassa baritada, equivalente a uma espessura de chumbo, necessária para absorver ou barrar raios-X de aproximadamente 30keV de energia efetiva.

CAPITULO IV  
MATERIAL E MÉTODOS

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa, foi inicialmente executado um plano piloto o qual possibilitou determinar a forma e metodologia adequada à confecção de corpos de prova, bem como as porcentagens dos materiais que comporiam esses corpos de prova. Assim sendo, temos:

### MATERIAL:

#### 1. Corpo de Prova:

- Barita em pó (figura n.1.)
- Cimento CPE 32
- Areia fina
- Areia grossa
- Gesso Paris (gypsum)
- Água (em volume adequado para consistência do reboco em condições consideradas ideais para a sua aplicação).
- Cantoneiras de alumínio, para a confecção das formas (15x15cm).
- Placas de vidro na medida das formas, para receber o reboco.
- Isolantes - Placas de cera n.º 7, e uma película de pvc (magicpack).
- Recipiente para a proporção volumétrica dos materiais que compõem o reboco (lata de 18 litros).



Figura n.1. Mineral Barita ( rocha e o pó ).

- Colher de pedreiro e recipiente para homogeneização da massa.

2. Equipamentos:

- Aparelho de raios x - GE 100 modelo A0061.
- Câmara de ionização Victoreen modelo 660-4 mais o Eletrômetro Victoreen modelo 660. (figura n.2.)

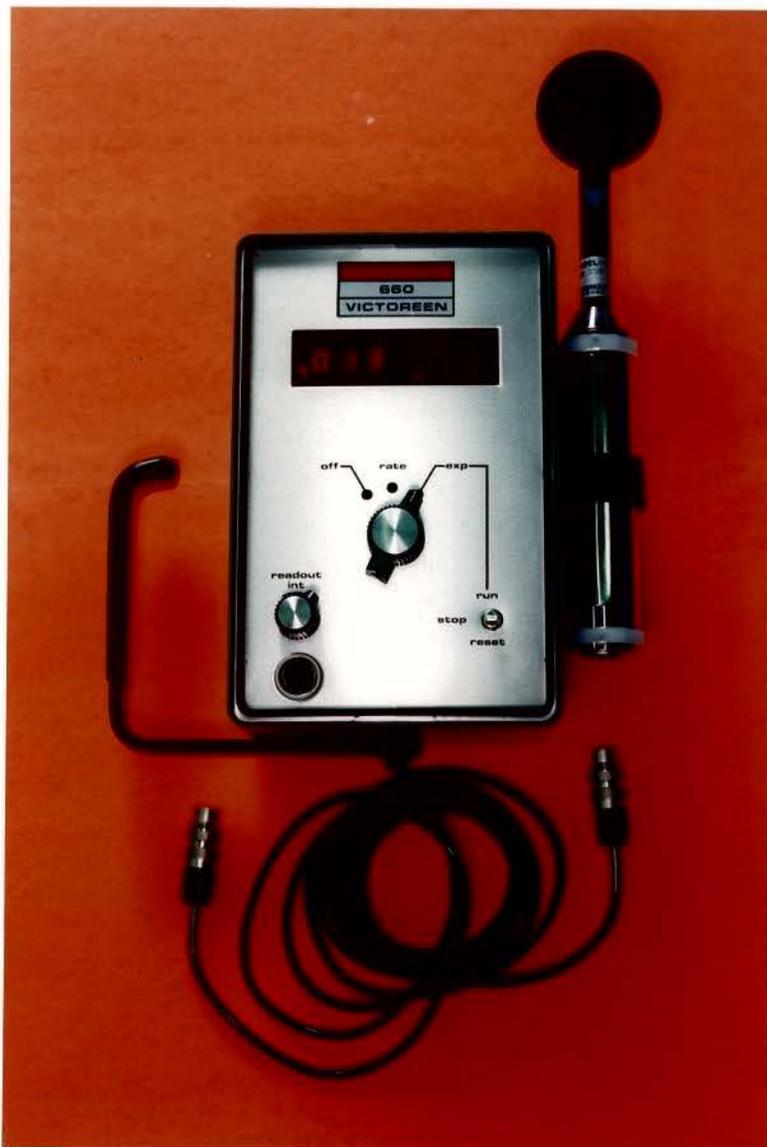


Figura n.2. Câmara de ionização e Eletrômetro.

- Sistema Harshaw modelo 2000A+2000B, para leitura dos dosímetros termoluminescentes. (figura n.3.)



Figura n.3. Sistema HARSHAW modelo 2000A+2000B.

- Sistema Nero ( Non-invasive Evaluator of Radiation Outputs) da Victoreen modelo 6000A. (figura n.4.)



Figura n.4. Sistema NERO, modelo 6000A.

- Forno Bravac automático
- Estufa Fanem com termostato regulável e termómetro

### 3. Filme e Dosímetros

- Filme AGFA Dentus M2, sensibilidade D.
- Dosímetro termoluminescente de fluoreto de Lítio 700, ou TLD (LiF 700). (figura n.5.)

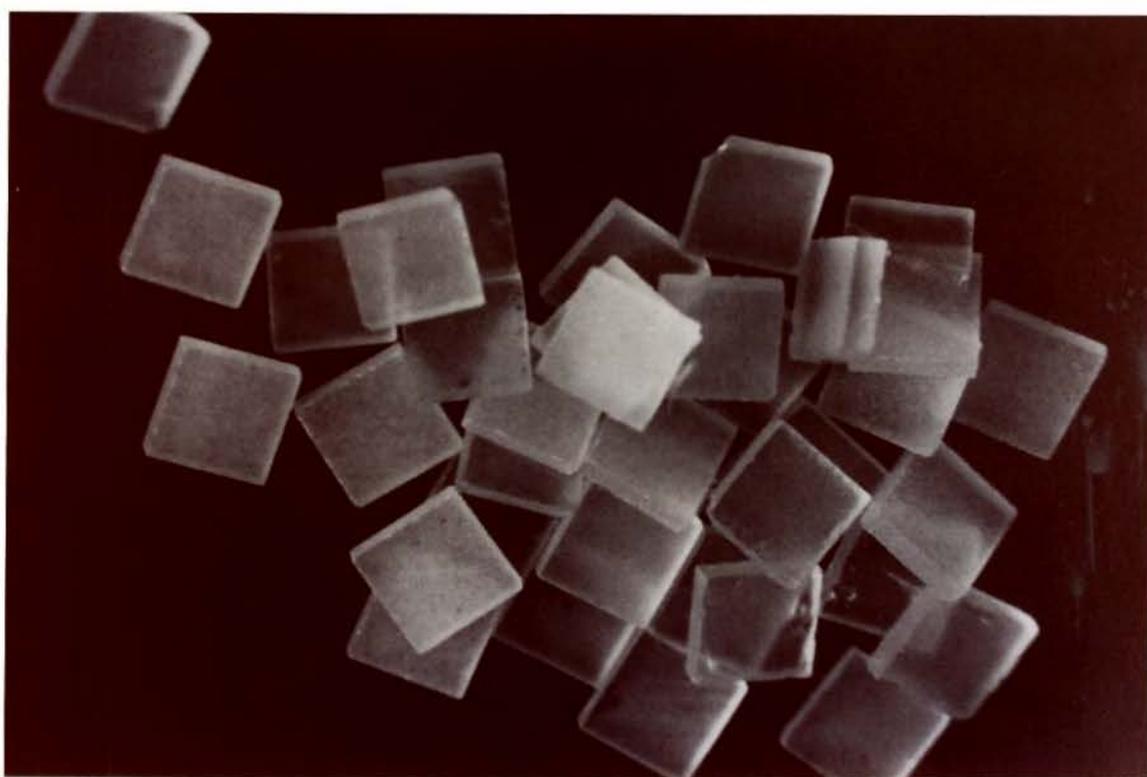


Figura n.5. TLD (LiF 700).

#### MÉTODO:

Durante a execução do plano piloto, procurou-se utilizar uma proporção para a confecção da massa de revestimento (rebo

co) de parede, que fosse a normalmente utilizada nas construções civis, para tal fim. Esta proporção foi:

1 lata (18 litros) de areia grossa $\pm$ 27Kg.....	17,5%
1 lata (18 litros) de areia fina... $\pm$ 27Kg.....	17,5%
1 saco de cimento CPE 32.....	50Kg.....32,5%
1saco de barita.....	50Kg.....32,5%

Na confecção dos corpos de prova, foram feitas diferentes proporções dos materiais que compunham o reboco. Essas diferentes proporções foram divididas em 5 grupos e para cada grupo foram feitos 5 corpos de prova, nas seguintes espessuras; 5,0; 7,0; 9,0; 12; 15mm. (figura n.6.)



Figura n.6. Formas e corpos de prova.

OS 5 grupos foram assim constituídos:

#### GRUPO I

- Barita.....	667g.....	32,5%
- Cimento CPE 32 .....	667g.....	32,5%
- Areia fina.....	360g.....	17,5%
- Areia grossa.....	<u>360g.....</u>	<u>17,5%</u>
	2054g	100,0%

#### GRUPO II

- Barita.....	1124g.....	45%
- Cimento CPE 32.....	867g.....	32%
- Areia fina.....	<u>673g.....</u>	<u>23%</u>
	2664g	100%

#### GRUPO III

- Barita.....	1800g.....	60%
- Cimento CPE 32.....	600g.....	20%
- Areia fina.....	<u>600g.....</u>	<u>20%</u>
	3000g	100%

#### GRUPO IV

- Barita.....	1800g.....	60%
- Gypsum(gesso).....	1050g.....	35%
- Cimento CPE 32.....	<u>150g.....</u>	<u>5%</u>
	3000g	100%

#### GRUPO V

- Cimento CPE 32.....	1332g.....	50%
- Areia fina.....	<u>1332g.....</u>	<u>50%</u>
	2664g	100%

Para cada grupo proposto, após a homogeneização da massa, esta foi vertida, sobre a forma de alumínio, sem vibrar, e obtidos os corpos de prova nas espessuras determinadas. Após o preenchimento das formas, esperou-se que a massa tomasse presa e fosse considerada seca, para então serem removidos os corpos de prova.

Cada um dos corpos de prova foi posicionado em um suporte de isopor, de forma a ficar a uma distância ponto focal/filme de 25cm, e que o feixe central de radiação foi direcionado para o centro do corpo de prova. Atrás e encostado ao conjunto corpo de prova/isopor, foi colocado um filme periapical, identificado com um número de chumbo, na mesma direção do feixe central, como mostra o Figura n.7.

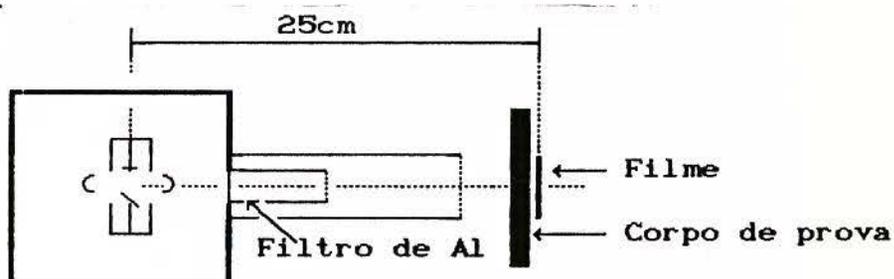


Figura n.7. Arranjo para a exposição dos corpos de prova com os filmes periapicais.

Para cada um dos corpos de prova dos 5 grupos testados, foi utilizado 1 filme periapical AGFA DENTUS M2 sensibilidade D.

Os fatores utilizados neste primeiro teste foram; 93,7 kVp, 15mA, 1,5 segundos de tempo de exposição e uma filtragem inerte de 2,5mm de alumínio.

Após a revelação dos filmes, foram levados ao negatoscópio e feita leitura visual, comparando as imagens dos corpos de prova entre os grupos e à densidade base do filme padrão. Daí foi retirado o grupo de corpo de prova com o material que melhor barrou o feixe de radiação. (figura n.8.)

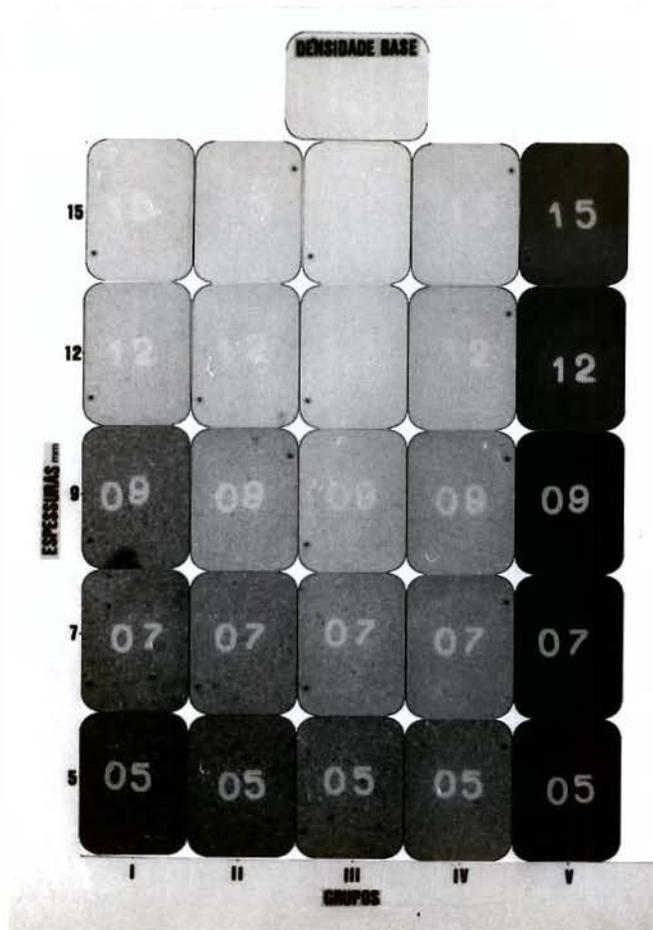


Figura n.8. Quadro demonstrativo da imagem radiográfica dos V grupos de corpos de prova testados.

Por essa comparação, foi escolhido um grupo cuja composição dos materiais, mostrou nos filmes periapicais, imagem cuja densidade fosse a mais próxima da densidade base do filme padrão.

Tendo o grupo selecionado a seguinte composição:

- Barita.....1800g.....60%
- Cimento CPE 32.....600g.....20%
- Areia fina.....600g.....20%

Sendo este, o grupo III do plano piloto, estabeleceu-se confeccionar um novo conjunto de corpos de prova nas seguintes espessuras: 1,4; 1,7; 2,5; 3,2; 4,1; 5,4; 6,4; 8,7; 12,5; 15,1mm. Tais espessuras foram determinadas de forma a pode-se calcular a camada semi-redutora (HVL)\* do material proposto para estudo.

#### DETERMINAÇÃO DA CAMADA SEMI-REDUTORA (HVL) DA ARGAMASSA BARITADA, POR MEIO DA CÂMARA DE IONIZAÇÃO.

Cada um dos corpos de prova foi posicionado em um suporte de isopor, de forma a ficar a uma distância ponto focal/corpo de prova de 45cm, sendo que o feixe central de radiação foi direcionado para o centro do corpo de prova. Atrás do conjunto, corpo de prova/isopor, e na mesma direção do feixe central, foi colocado a distância de 45cm, uma câmara de ionização. Desta forma, a câmara de ionização foi posicionada a 90cm da fonte de radiação. O esquema a seguir, mostra as condições em que foram feitas as ir

---

\* Camada semi-redutora ou "Half-Value-Layer", sendo a espessura necessária de um material, para reduzir a metade a intensidade de um feixe incidente de radiação, segundo MASSEY<sup>12</sup> e SCAFF<sup>19</sup>.

radiações dos corpos de prova, utilizando a câmara de ionização (1) e o eletrômetro (2), figura n.9.

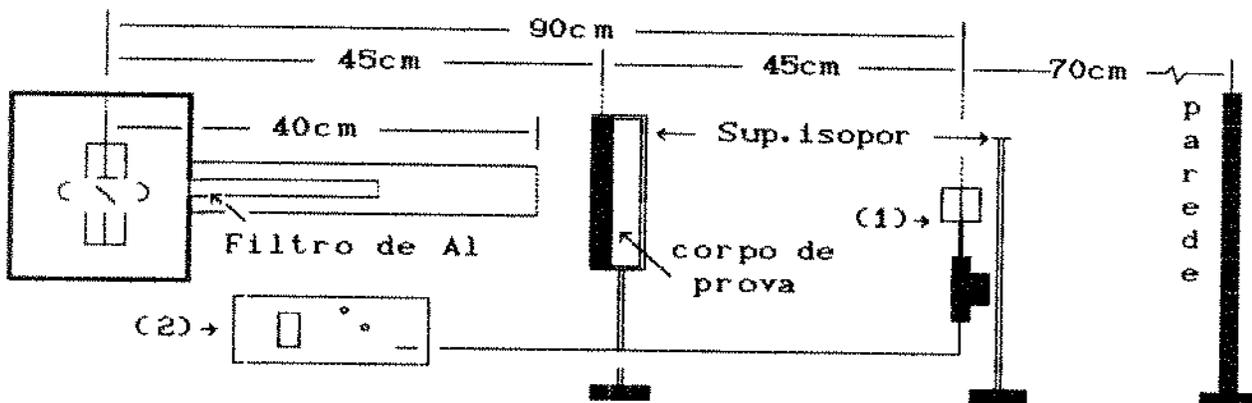


Figura n.9. Arranjo para exposição dos corpos de prova com a câmara de ionização.

Durante os testes, para a determinação dos níveis de radiação, tomou-se o cuidado de que não houvesse obstáculo que porventura pudesse produzir radiação secundária, e assim, obter registro irreal de radiação na câmara de ionização. Daí a opção pelo uso do isopor como material de suporte e por manter todo o conjunto a uma distância superior a 70cm da parede.

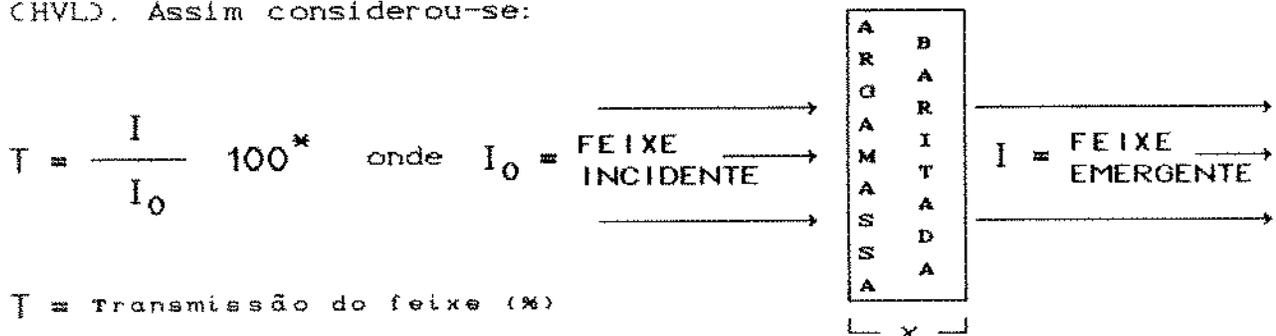
Com os corpos de prova em posição, conforme a figura n. 9, procedeu-se as incidências de radiação. Para tal, foi utilizado o aparelho GE 100 e regulado com os seguintes parâmetros: 93,7 kVp, 15 mA e 4 segundos de tempo de exposição. Para essas condições, a filtragem total foi de 2,5mm de alumínio. A tensão foi de 93,7kVp real, determinada pelo sistema de medição NERO, sendo de

≅ 30keV a energia efetiva durante cada disparo.

Esses parâmetros, foram utilizados para todos os corpos de prova do grupo estudado.

A média das leituras feitas com a câmara de ionização à 90cm do foco, sem a interposição dos corpos de prova, foram consideradas como valor de referência para o feixe incidente. A seguir foram irradiados os corpos de prova, um por vez, sendo feitas várias leituras para cada um deles. Foram então calculadas as médias das leituras (tabela n.2), o desvio padrão (S), e por meio da regra de três simples, considerando o valor médio do feixe incidente como 100%, calculou-se a porcentagem de transmissão para cada espessura (corpo de prova).

Desse modo, com os dados obtidos, construiu-se a curva dos logaritmos neperianos das porcentagens de transmissão (T) em função das espessuras (x) dos corpos de prova. Para tanto, foi feito um ajuste de curva, para a obtenção da camada semi-redutora (HVL). Assim considerou-se:



T = Transmissão do feixe (%)

x = Espessura do corpo de prova (mm)

\* Multiplicado por 100, porque a leitura da transmissão é em %.

Da equação geral, apresentada por SCAFF<sup>16</sup> e OKUNO, CALDAS, CHOW<sup>17</sup>,

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

onde,

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot x} \quad \text{ou} \quad \frac{I}{I_0} \cdot 100 = e^{-\mu \cdot x} \cdot 100$$

obtemos a equação teórica;

$$T = 100 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad \text{ou} \quad \ln T = \ln 100 - \mu \cdot x \cdot \ln e \quad (2)$$

onde  $\mu$  = coeficiente de atenuação linear

$e$  = Base neperiana

$\ln$  = Logarítmo neperiano

Com os valores, logarítmo neperiano da transmissão ( $\ln T$ ) obtidos, e as espessuras ( $x$ ) testadas, foi deduzida a equação experimental.

A partir da equação experimental, construiu-se o gráfico do ajuste de curva dos logarítimos neperianos das porcentagens de transmissão em função das espessura ( $x$ ).

Pela comparação entre as equações teórica (2) e experimental, pode-se afirmar que o coeficiente angular da reta corresponde ao coeficiente de atenuação linear ( $\mu$ ). Com o valor de ( $\mu$ ), foi calculada a camada semi-redutora (HVL) do material estudado, usando a fórmula n.3, apresentada por SCAFF<sup>19</sup> e OKUNO, CALDAS, CHOW<sup>17</sup>;

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} \quad (3)$$

Finalmente, calculando o valor da camada semi-redutora para a argamassa baritada, construiu-se a curva de regressão das porcentagens de transmissão em função das espessuras ( $x$ ) dos cor-

pos de prova.

#### DETERMINAÇÃO DA CÂMADA SEMI-REDUTORA (HVL) DA ARGAMASSA BARITADA. POR MEIO DE DOSÍMETROS TERMOLUMINESCENTES.

Durante os teste de incidência de radiação dos corpos de prova, foram colocados, além da câmara de ionização a 45cm dos corpos de prova, dosímetros termoluminescentes de Fluoreto de Lítio (LiF 700) nas seguintes posições: posição 1 - dosímetro à frente do corpo de prova e na direção do feixe central de radiação. Posição 2 - dosímetro imediatamente atrás e encostado no corpo de prova e na direção do feixe central de radiação; e na posição 3 - dosímetro atrás do corpo de prova e na direção do feixe central de radiação, conforme se observa na figura n.10. Os dosímetros na posição 3, foram presos em uma placa de isopor de 20mm de espessura de forma a ficarem na direção do feixe central de radiação.

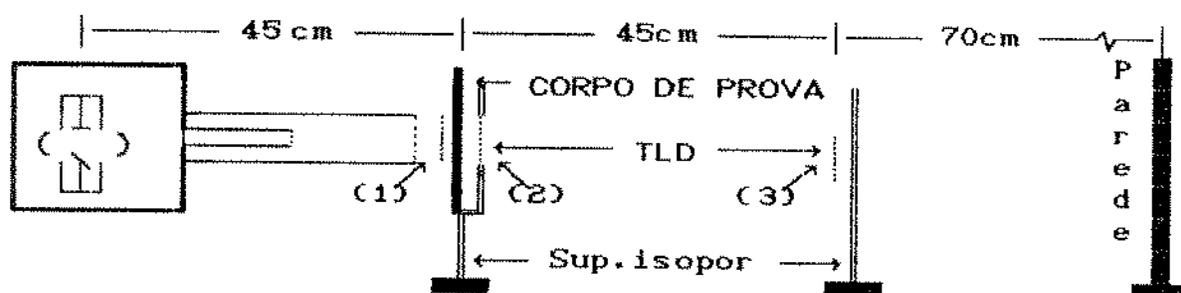


Figura n.10. Arranjo para a exposição dos corpos de prova com dosímetros termoluminescentes de LiF 700.

Para cada corpo de prova foram usados 14 dosímetros de

de LiF 700, sendo 4 para a posição 1, 4 para a posição 2 e 6 para a posição 3, perfazendo um total de 100 dosímetros para o conjunto de corpos de prova testados, mais 80 para a radiação controle e 12 para determinação do BG\*, conforme mostra o tabela n.1.

Com os dosímetros expostos, procedeu-se a leitura da energia neles acumulada, utilizando para isso o sistema HARSHAW de leitura.

Considerando como valor de referência, a energia média absorvida pelos dosímetros na posição 1, procurou-se por meio da fórmula n.4 estabelecer o fator de correção de distância (Fd), o

$$Fd = \left( \frac{45 + x}{45} \right)^2 \quad ( 4 )$$

x = Espessura do corpo de prova

que possibilita ter uma diminuição na leitura, com relação à distância dos dosímetros posicionados atrás dos corpos de prova (posições 2 e 3), graças somente a atenuação da radiação pelo corpo de prova. Assim sendo, a fórmula:

$$\% \text{ transm.} = \frac{(L_{45+cp}) \cdot Fd}{VR} \cdot 100 \quad ( 5 )$$

onde  $L_{45+cp}$  = leitura média dos dosímetros da posição 2 (para cada corpo de prova).

Fd = fator de correção da distância ( fórmula n.4 )

VR = valor de referência (média das leituras da posição 1)

foi aplicada para a posição 2, a qual possibilitou obter os valo-

---

\* BG (BACKGROUND) = Radiação de fundo.

Tabela n.1. Número de dosímetros termoluminescentes de LiF 700 em relação a distância e a espessura.

Espessuras dos cp*(mm)	Distância:foco dosim. (mm)	Número de dosímetro
0,0.....	45.....	64
0,0.....	90.....	16
1,4.....	45.....	04
1,4.....	90.....	06
1,7.....	45.....	04
1,7.....	90.....	06
2,5.....	45.....	04
2,5.....	90.....	06
3,2.....	45.....	04
3,2.....	90.....	06
4,1.....	45.....	04
4,1.....	90.....	06
5,4.....	45.....	04
5,4.....	90.....	06
6,4.....	45.....	04
6,4.....	90.....	06
8,7.....	45.....	04
8,7.....	90.....	06
12,5.....	45.....	04
12,5.....	90.....	06
15,1.....	45.....	04
15,1.....	90.....	06
<hr/>		
Total de dosímetros expostos.....		180
Dosímetros para o BG.....		12
<hr/>		
Total de dosímetros.....		192

res das porcentagens de transmissão e usa-los para construir a curva das porcentagens de transmissão pelas espessuras do absorvedor. Desta forma, foi obtida a espessura do material correspondente a uma porcentagem de leitura de 50% (feixe atenuado em 50 %). Essa espessura é a camada semi-redutora (HVL) da massa baritada para revestimento, no estudo proposto.

Seguindo o mesmo raciocínio, e aplicando a fórmula n.5,

---

\* cp = corpo de prova.

para a posição 3, observou-se que a energia acumulada no TLD apresentava sinais muito baixos, o que levou a ser descartada tal posição.

#### DETERMINAÇÃO DA CAMADA SEMI-REDUTORA (HVL) DA ARGAMASSA BARITADA, POR MEIO DO CÁLCULO TEÓRICO DE SEUS COMPONENTES.

Optou-se ainda por determinar a camada semi-redutora ou (HVL) da argamassa baritada, através dos elementos componentes, com o intuito de comparar esses dados aos obtidos tanto pela câmara de ionização como pelos dosímetros termoluminescentes.

Inicialmente, foi medida a camada semi-redutora do alumínio, onde os fatores utilizados foram os mesmos já descritos para o sistema de medida NERO. Com isto, obteve-se a camada semiredutora e a tensão real utilizada. A seguir, calculou-se a Energia efetiva com o valor da camada semi-redutora já obtido. Para isto, foi calculado o Coeficiente de Atenuação Linear ( $\mu$ ), por meio da fórmula n.3. Na seqüência, foi calculado o Coeficiente de atenuação de massa ( $\mu/\rho$ ), sendo que o ( $\rho$ )<sup>\*</sup> do alumínio foi obtido de JOHNS, CUNNINGHAM<sup>o</sup> (tabela A-4e)<sup>\*\*</sup>. Com os dados desta mesma tabela, foi possível construir um gráfico do ( $\mu/\rho$ ) pela energia do fóton, onde foi colocado no eixo dos y o valor do ( $\mu/\rho$ ) do alumínio e através da curva, localizado no eixo dos x o valor da energia efetiva do feixe de radiação.

Determinada a tensão de 93,7kVp, e utilizando a tabela

---

\*  $\rho$  (densidade)

\* Tabela A 4-e de JOHNS, CUNNINGHAM<sup>o</sup>, vide apêndice II.

n.3. do boletim 33 do ICRP<sup>8</sup> de 1982, para as espessuras do chumbo, construiu-se um gráfico das tensões (kVp) em função das espessuras do chumbo (mm), e através da curva, encontrou-se o valor da camada semi-redutora (HVL) do chumbo.

Para calcular a camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada, foi inicialmente feita a análise química\* de cada um dos seus componentes, e relacionados os compostos e suas porcentagens.

Inicialmente foi calculado para cada elemento ou composto o coeficiente de atenuação de massa ( $\mu/\rho$ ), utilizando HUBBEL<sup>7</sup> (tabela 1) para os elementos, e SELTZER, BERGER<sup>20</sup> (tabela 7) para os compostos. Com podemos ver na seguinte indicação da seqüência de cálculos:

Através da tabela n.1. de HUBBEL<sup>7</sup> obteve-se a porcentagem de cada elemento, em relação ao seu respectivo número atômico, para cada composto de cada material componente da argamassa baritada. A seguir, com a tabela n.7 de SELTZER, BERGER<sup>20</sup>, obteve-se o  $\mu/\rho$  para cada elemento, e para cada composto de cada material componente da argamassa, em relação a energia efetiva utilizada. Logo após calculou-se o ( $\mu/\rho$ ) de todos os componentes da barita, estes foram multiplicados por suas respectivas porcentagens, e os resultados foram somados e obteve-se o ( $\mu/\rho$ ) total da barita. Em seguida, calculou-se o ( $\mu/\rho$ ) do cimento e da areia\*\*, com a mesma seqüência de cálculo usado para a barita.

---

\* Laudo laboratorial da barita e do cimento, vide apêndice IV e V

\*\* A areia utilizada foi considerada quartzosa ( $\text{SiO}_2$ ), pelo sistema Brasileiro de classificação de solos, segundo VIEIRA<sup>24</sup> (1988)

A partir da obtenção dos coeficientes de atenuação de massa da barita, do cimento e da areia, foi calculado o  $(\mu/\rho)$  da argamassa. Multiplicou-se os coeficientes de atenuação de massa dos constituintes da argamassa por suas respectivas porcentagens. Posteriormente foram somados os resultados, obtendo-se o coeficiente de atenuação de massa da argamassa baritada. Com o  $(\mu/\rho)$  da argamassa, foi calculado o coeficiente de atenuação linear  $(\mu)$ , utilizando a densidade  $(\rho)$  da argamassa e aplicando-se a fórmula n.3 do HVL, calculou-se a camada semi-redutora teórica da argamassa testada.

Finalmente, comparou-se as camadas semi-redutoras obtidas pela câmara de ionização, dosímetros termoluminescentes (LiF 700) e cálculo teórico. A partir desta comparação foram obtidos a camada semi-redutora média, o desvio padrão e a porcentagem de erro utilizada em cálculo de radioproteção.

Com a camada semi-redutora (HVL) do chumbo, calculou-se o fator de conversão (fc), dividindo a camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada pelo (HVL) do chumbo. Este é o fator calculado para determinar a espessura necessária da argamassa na proporção proposta, equivalente a uma determinada espessura de chumbo.

**CAPITULO V**  
**RESULTADOS**

## RESULTADOS

Nos testes realizados neste trabalho com argamassa bari\_ tada, foram obtidos os seguintes resultados:

Com a câmara de ionização, foram obtidas as seguintes leituras:

Tabela n.2.

*Das porcentagens de transmissão em relação as espessuras dos corpos de prova.*

ESPESSURA mm	LEITURAS mR						MEDIAS	S	%TRANS T
0,0	239,0	242,0	243,0				241,00	2,08	100,0
1,4	101,0	98,9	98,7	99,8	99,3	99,3	99,50	0,80	41,3
1,7	74,9	79,9	82,9	81,9	75,0	76,3	78,50	3,50	32,6
2,5	60,1	59,8	59,7	60,0			59,90	0,20	24,8
3,2	43,1	43,0	44,3	44,9			43,60	0,90	18,2
4,1	24,0	24,6	24,0				24,20	0,30	10,0
5,4	14,9	14,8	14,9				14,87	0,06	6,2
6,4	7,2	7,3	7,3				7,27	0,06	3,0
8,7	2,9	2,9	2,9				2,90	0,00	1,2
12,5	0,7	0,7	0,7				0,70	0,00	0,3
15,2	0,3	0,3	0,3				0,30	0,00	0,1

Tendo definido na metodologia o ajuste da curva, para os valores do logaritmo neperiano (ln) das porcentagens de transmissão (T) em função das espessuras (x) dos corpos de prova, calculou-se a equação experimental;

$$\ln T = 4,462 - 0,5037 \cdot x \quad \text{ou} \quad T = 86,63 \cdot e^{-0,5037 \cdot x} \quad (7)$$

Tal ajuste se fez necessário, tendo-se em vista a obtenção de melhor correlação linear entre os dados obtidos. Desta forma, por meio do programa ANALQUIM\* em um computador PCXT, foi possível determinar o coeficiente de correlação linear, que foi

\* Equação e ajuste da curva foram obtidos pelo programa ANALQUIM de NASCIMENTO FILHO, V.F.<sup>10</sup>, 1991. (Comunicação pessoal)

$r = 0,9972$ , significativo em nível de 1%.

A partir da equação n.7 supra citada, foi construída a reta de regressão para as porcentagens de transmissão (T) em função das espessuras (x) dos corpos de prova, como podemos ver na figura n.11.

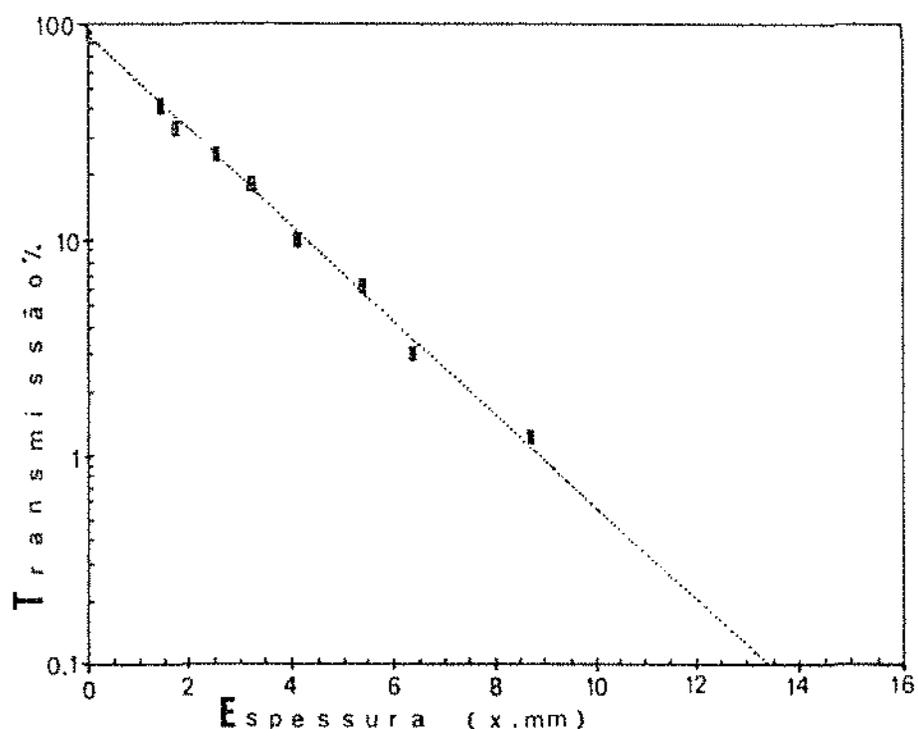


Figura n.11. Curva das porcentagens de transmissão pelas espessuras dos corpos de prova, com o ajuste da curva.

Através da comparação das equações teórica n.2 e experimental n.7;  $T = 100 \cdot e^{-\mu \cdot x}$  (2)  $T = 86,63 \cdot e^{-0,5037 \cdot x}$  (7), pode-se retirar o valor para o coeficiente de atenuação linear ( $\mu$ ) que é:  $\mu = 0,5037 \text{mm}^{-1}$ . Com este valor de  $\mu$ , e utilizando a fórmula n.3 calculou-se a camada semi-redutora (HVL) do material estudado;

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu} \quad \text{ou} \quad \text{HVL} = \frac{0,693}{0,5037}$$

resultando num  $HVL = 1,38\text{mm}$  de espessura para a argamassa baritada.

A partir do valor da camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada, construiu-se a curva de regressão para as porcentagens de transmissão em função das espessuras, para o teste com a câmara de ionização, figura n.12.

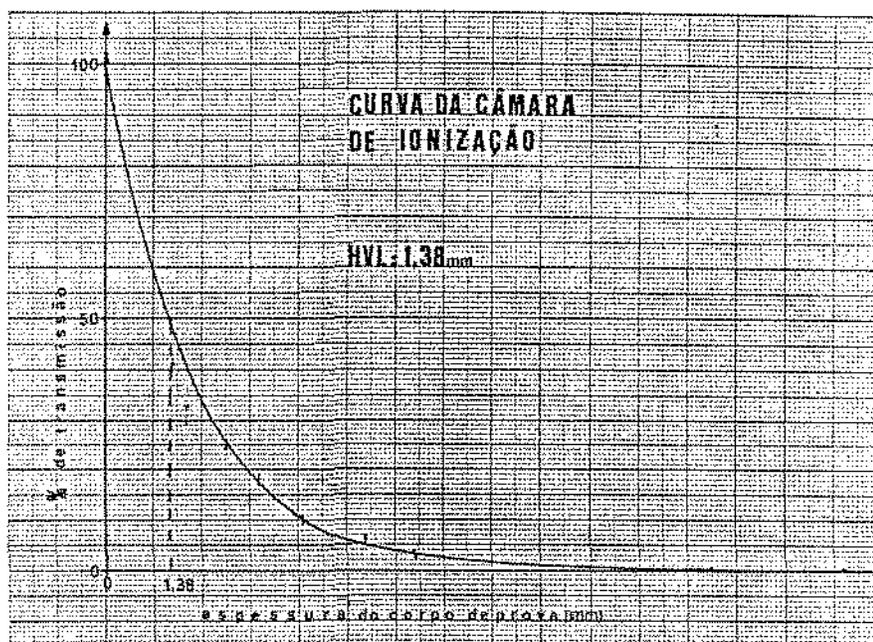


Figura n.12. Curva das porcentagens de transmissão em função das espessuras dos corpos de prova.

Com os dosímetros termoluminescentes (LiF 700), foram encontrados níveis de energia, com os quais calculou-se as médias das leituras (em nanoCoulomb nC), o desvio padrão (S) e as porcentagens de transmissão (T), já calculado o fator de correção da distância (fd), como mostra tabela n.3.

Tabela n.3.

Das porcentagens de transmissão pelas espessuras dos corpos de prova.

ESPESSURA do CP (mm)	Média das leituras nC**	S	% de *** TRANSMISSÃO
0,00	18,153	2,2	100,00
1,40	9,278	1,8	51,10
1,70	6,448	1,0	35,56
2,50	5,255	1,2	29,10
3,20	3,880	0,9	21,54
4,10	2,463	0,8	13,73
5,40	1,961	0,5	10,99
6,40	0,970	0,2	5,46
8,70	0,436	0,0	2,49
12,50	0,119	0,0	0,69
15,10	0,057	0,0	0,33

De posse das espessuras dos corpos de prova, e das porcentagens de transmissão da tabela n.3 acima, foi construída a curva das porcentagens de transmissão em função das espessuras dos corpos de prova, na qual foi possível determinar a camada semi-redutora (HVL) do material estudado, como mostra a figura n.13.

Desta forma, a camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada para as proporções estudadas, e determinada pela dosimetria termoluminescentes com cristais de LiF 700, foi de:

$$\text{HVL} = 1,25\text{mm}$$

\* CP (Corpo de prova).

\*\* Já retirado o BG=0,009.

\*\*\* Já calculado o fator de correção de distância.

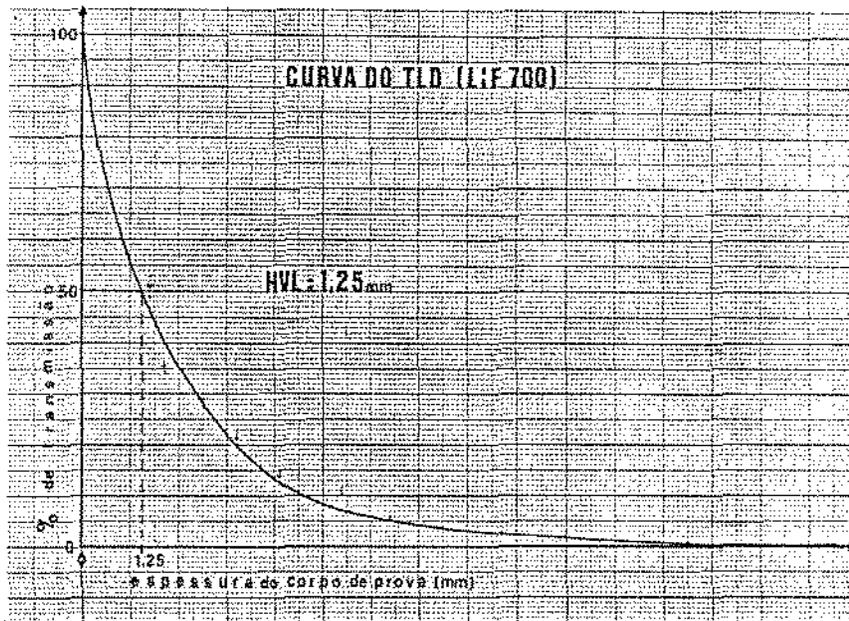


Figura n.13. Curva das porcentagens de transmissão em função das espessuras dos corpos de prova, pelos TLD de LiF 700.

Na obtenção do cálculo teórico da camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada, foi inicialmente obtido, pelo sistema Nero de medidas, o HVL do alumínio, que foi de 2,22mm, tornando possível a obtenção do coeficiente de atenuação linear  $\mu$ . Para isso, com o valor do HVL do alumínio (2,22mm), empregou-se a seguinte fórmula;  $HVL = \frac{0,693}{\mu}$  (3), desta forma deduzimos

que  $\mu = \frac{0,693}{HVL}$  onde  $\mu = \frac{0,693}{0,222cm}$   $\mu_{Al} = 3,122cm^{-1}$

Assim sendo, com  $\mu_{Al} = 3,122cm^{-1}$ , foi possível calcular o coeficiente de atenuação de massa  $\mu/\rho$  do alumínio, onde  $\rho$  (densidade) foi obtido de JOHNS, CUNNINGHAM<sup>9</sup>(tabela A-4e).

Portanto:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{3,122\text{cm}^{-1}}{2,7\text{g/cm}^3} \quad \text{onde} \quad \boxed{\mu/\rho_{\text{Al}} \cong 1,2\text{cm}^2/\text{g}}$$

Utilizando-se a seguir os valores da energia do fóton (keV) e os valores de  $\mu/\rho_{\text{Al}}$ , encontrados em JOHNS, CUNNINGHAM<sup>o</sup> (tabela A 4-e), construiu-se o gráfico (figura n.14) dos coeficientes de atenuação de massa ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) em função da energia do fóton (keV).

De posse desse gráfico (figura n.14), e tendo-se  $\mu/\rho_{\text{Al}}$ , já calculado, ( $\mu/\rho_{\text{Al}} = 1,2\text{cm}^2/\text{g}$ ), foi possível, aplicando seu valor no gráfico, determinar a energia efetiva do feixe incidente (keV) utilizada no trabalho, que foi de aproximadamente 30keV, como pode ser visto na figura n.14.

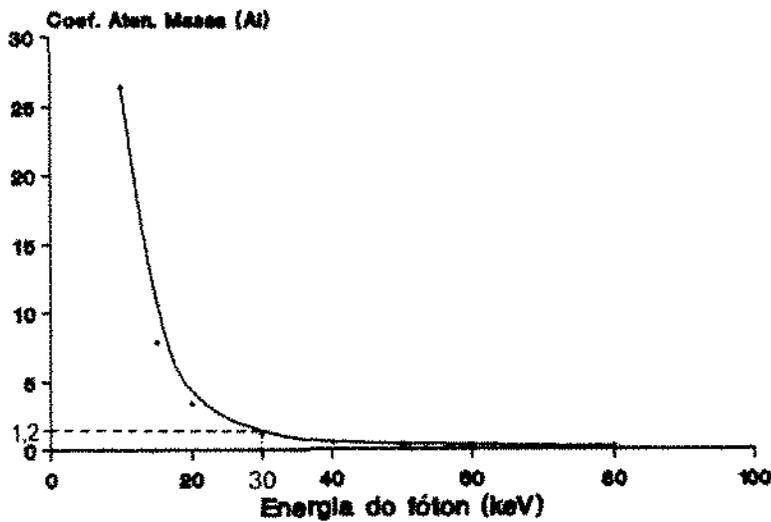


Figura n.14. Curva dos coeficientes de atenuação de massa ( $\mu/\rho_{\text{Al}}$ ) em função da energia do fóton (keV).

Conhecendo-se a energia efetiva do feixe incidente que foi de  $\cong 30\text{keV}$ , para uma tensão de  $93,7\text{kVp}$ , e tendo-se os dados do boletim 33 de 1982 do ICNRP<sup>B</sup>(tabela n.3)\*, construiu-se o gráfico das tensões (kVp) em função das espessuras para o chumbo (mm). Conhecendo-se a energia utilizada nesse trabalho, que foi de aproximadamente  $30\text{keV}$  para  $93,7\text{kVp}$ , e aplicando-se essa tensão no gráfico, obteve-se a camada semi-redutora (HVL) do chumbo que foi de  $0,22\text{mm}$ , como mostra a figura n.15.

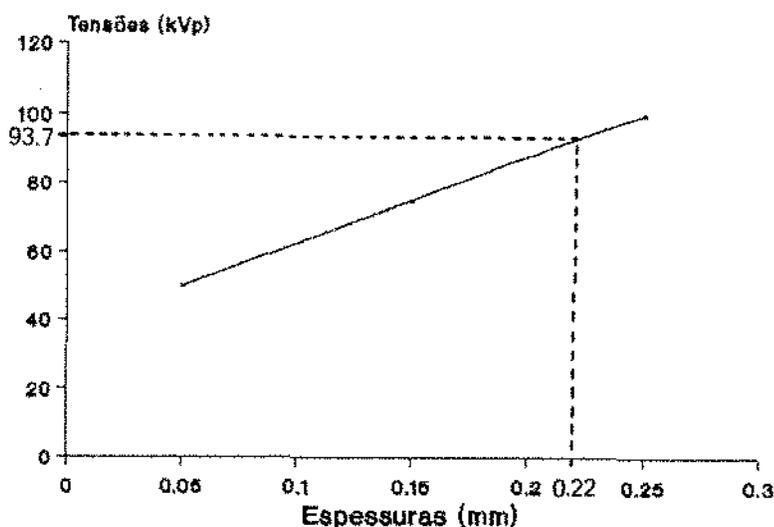


Figura n.15. Curva das tensões (kVp) em função das espessuras para o chumbo (mm).

No cálculo da camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada, foi feita a análise química para obtenção do percentual

\* Tabela n.3 do boletim 33 do INCRP de 1982, vide apêndice III.

de seus componentes. Utilizando-se os resultados de HUBBELL<sup>7</sup> (tabela n.1) e SELTZER, BERGER<sup>20</sup> (tabela n.7)\* respectivamente, para a obtenção do  $\mu/\rho$  dos elementos para a energia efetiva de 30keV, e as porcentagens dos elementos em relação aos respectivos números atômicos.

De posse dos coeficientes de atenuação de massa ( $\mu/\rho$ ) dos elementos e das porcentagens dos compostos, obtidos das tabelas supra citadas; calculou-se o ( $\mu/\rho$ ) para cada composto de cada material (barita, cimento e areia) da composição da argamassa. Com estes resultados, calculou-se o ( $\mu/\rho$ ) da argamassa baritada, como pode ser observado nos cálculos a seguir.

COMPOSTOS	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)		%	: Z	=	
BaSO <sub>4</sub> .....	6,2169	x	0,537		=	3,338
SiO <sub>2</sub> .....	1,1759	x	0,447		=	0,526
AlO <sub>3</sub> .....	0,7659	x	0,007		=	0,006
FeO .....	5,7800	x	0,003		=	0,017
CaO .....	2,9940	x	0,0005		=	0,001
MgO .....	0,7266	x	0,0004		=	0,0003
BARITA .....	$\mu/\rho$ .....					3,888cm <sup>2</sup> /g

\* Tabelas de HUBBELL<sup>7</sup> e a de SELTZER, BERGER<sup>20</sup> (vide apêndice I).

COMPOSTO	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)		% : Z	
SiO <sub>2</sub> .....	1,1759	x	0,2030	= 0,239
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5,784	x	0,0355	= 0,205
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,766	x	0,0469	= 0,036
CaO.....	2,994	x	0,605	= 1,811
MgO.....	0,702	x	0,0415	= 0,029
SO <sub>3</sub> .....	0,307	x	0,0244	= 0,007
Na <sub>2</sub> O.....	0,623	x	0,0016	= 0,001
K <sub>2</sub> O.....	2,522	x	0,012	= 0,030
CIMENTO.....	( $\mu/\rho$ ).....			= 2,358cm <sup>2</sup> /g

COMPOSTO	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)
SiO <sub>2</sub> .....	1,1759
AREIA*.....	1,1759cm <sup>2</sup> /g

MATERIAIS	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)		%	
BARITA.....	3,89	x	0,60	= 2,334
CIMENTO.....	2,358	x	0,20	= 0,472
AREIA.....	1,1769	x	0,20	= 0,235
ARGAMASSA BARITADA.....	( $\mu/\rho$ ).....			= 3,041cm <sup>2</sup> /g

Sabendo-se que a densidade é igual a massa sobre o volume, foi possível determinar a densidade por meio de um bloco de argamassa baritada, onde a massa foi de 304,8g e o volume de 144

\* A areia utilizada foi considerada quartzosa (SiO<sub>2</sub>), pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, segundo VIEIRA<sup>24</sup> (1988)

$\text{cm}^3$ . Substituindo-se estes valores na fórmula;  $D = \frac{m}{V}$  ( 8 )  
 temos;  $D = \frac{304,8\text{g}}{144\text{cm}^2} \rightarrow D = 2,1\text{g/cm}^3$  onde,  $D = \rho$

então  $\rho_{AB} = 2,1\text{g/cm}^3$

Pelos cálculos já efetuados, tem-se que  $\mu/\rho = 3,041\text{cm}^2/\text{g}$  e sabendo-se que  $\rho = 2,1\text{g/cm}^3$ , pode-se então obter o valor de  $\mu$  para a argamassa baritada na proporção estudada, da seguinte forma:

$$\frac{\mu}{\rho} = 3,041\text{cm}^2/\text{g} \rightarrow \mu = 3,041\text{cm}^2/\text{g} \cdot 2,1\text{g/cm}^3$$

$$\mu_{AB} = 6,386\text{cm}^{-1}$$

Portanto, sabendo-se que o  $\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu}$  e querendo-se obter a camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada em estudo, pode-se deduzir, por substituição dos valores já calculados acima, que:

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{6,386\text{cm}^{-1}} \quad \text{HVL} = 0,1085\text{cm} \quad \text{ou}$$

$$\text{HVL} = 1,085\text{mm}$$

Com os resultados da camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada, já determinados pelos métodos onde foram utilizados câmara de ionização, dosímetros termoluminescentes de LiF 700 e cálculo teórico, com os valores; 1,38mm, 1,25mm e 1,085mm respectivamente, determinou-se o valor médio da camada semi-redutora do material estudado, que foi de  $\text{HVL} = 1,24\text{mm}$ . Calculou-se também o desvio padrão (S), que foi de  $\pm 0,1478$  e a porcentagem de erro que foi de 11,9%.

Obteve-se, ainda, o fator de conversão (Fc), a partir da camada semi-redutora (HVL) do chumbo (Pb) e da camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada, assim sendo, temos que:

$$F_c = \frac{HVL_{AB}}{HVL_{Pb}} \rightarrow F_c = \frac{1,24mm}{0,22mm} \quad \text{onde} \quad \boxed{F_c = 5,6}$$

Este valor permite determinar para a argamassa baritada em estudo, as espessuras equivalentes às diferentes espessura de chumbo.

CAPÍTULO VI

DISCUSSÃO

## DISCUSSÃO

Muito antes da explosão da primeira bomba atômica, já haviam estudos na seleção de materiais que pudessem servir como barreira contra radiações, e que, ao mesmo tempo, fossem materiais alternativos ao uso do chumbo. Dentre esses materiais, vemos o concreto, que é empregado em estruturas pela engenharia de construção civil, além de servir como barreira à radiação. Uma das desvantagens do concreto, como barreira à radiação, é a necessidade de grande espessura, desvantagem essa que autores como TIRPAK<sup>21</sup> e PETRUCCI<sup>18</sup>, desenvolveram pesquisas onde agregaram ao concreto, maior quantidade de pedras, ferro e até barita, na tentativa de obterem uma mistura que pudesse diminuir a espessura, em relação ao concreto normal.

Ainda, com relação à barreira contra a radiação, deve-se citar o Professor PETRUCCI<sup>18</sup>, que no capítulo 18 de seu livro Concreto de Cimento Portland, onde refere-se a concretos especiais, dedica um item, 18.8.3, que cita proteção contra radiação, e lembra que os neutrons rápidos são freados por elementos de baixo peso atômico, enquanto os raios  $\gamma$  e  $x$  são absorvidos por elementos de alto peso atômico, daí solucionar o problema com o uso de concreto de alta massa específica, os concretos feitos com agregados especiais.

Considerando que este estudo está voltado para o uso de proteção contra a radiação  $x$ , produzida por aparelhos odontológi-

cos, e aproveitando as observações do professor PETRUCCI<sup>18</sup>, demonstramos a viabilidade do uso da argamassa baritada com a propriedade de barrar a radiação x, onde a espessura empregada dessa argamassa, no revestimento de ambientes que contenham aparelhos de raios-X odontológicos operando com até 30keV de energia, seja igual ou menor do que a espessura da argamassa normal de revestimento.

Ainda com relação ao material opcional a utilização do chumbo, e que apresenta menor custo, concordamos com o trabalho de BRAESTRUP<sup>2</sup>, pois também como em nosso trabalho, o revestimento de uma parede, com o intuito de proteger ambientes circunvizinhos, feito com argamassa baritada, em uma espessura equivalente a 1,5mm de chumbo, teria um custo muito menor, do que se o fizéssemos com chumbo.

Pode-se ainda comparar os resultados com os apresentados por TROUT, KELLEY e LUCAS<sup>22</sup> (tabelas II e III), fazendo-se logicamente uma ressalva, pois os autores citados estudaram o concreto comum como barreira. Contudo, a tensão (kVp) utilizada na fonte de radiação foi praticamente a mesma. Os autores supra citados encontraram para a barreira de concreto espessuras na ordem de 12,70cm, com fator de conversão na ordem de 74,1. Porém, neste trabalho para a mesma tensão, necessitou-se de apenas 9,12mm de argamassa baritada, com fator de conversão da ordem de 5,6.

Os resultados por nós encontrados, utilizando uma mistur

ra de cimento, areia fina e barita, foi de densidade igual a  $2,1 \text{ g/cm}^3$ , resultado que também foi encontrado por TROUT, KELLEY e LUCAS<sup>23</sup>, com argamassa cuja mistura foi de uma parte de pó de bário, 4 partes de areia e 1,5 partes de cimento, com densidade de  $2,2 \text{ g/cm}^3$ . Porém os autores utilizaram essa argamassa para a fixação do revestimento, que foi o azulejo e ladrilho, o que aumentou a camada de proteção, e contribuiu para a obtenção desse valor de  $2,2 \text{ g/cm}^3$  de densidade. Pelos nossos achados, apenas a argamassa baritada, com espessura de 9,12mm, seria eficiente para fazer uma barreira à radiação x, de aparelhos odontológicos que operassem com até 90kVp.

Podemos ainda comparar a espessura da camada semi-redutora (HVL) da argamassa por nós estudada, que foi de 1,24mm, com a espessura da camada semi-redutora (HVL) da argamassa convencional para revestimento, encontrada por MOOS et al<sup>15</sup>, que foi de 16 mm, para a mesma energia utilizada, ou seja aparelho de raios-X odontológico operando com 90kVp. A comparação desses resultados demonstra a grande eficiência da barita como material para proteção contra radiação.

Ainda sobre o estudo da barita como material alternativo no uso da proteção contra a radiação, podemos relacionar aos dados encontrados por COALTER, METCALFE<sup>4</sup>, quando estudaram a eficiência das placas baritadas, fabricadas pela New Zeland Fibrous Plaster Association, e os dados por nós encontrados para a argamassa de revestimento. As placas estudadas pelos autores su

pra citados, possuem uma composição de 60% de sulfato de bário (barita), 35% de sulfato de cálcio (gesso) e 5% de uma mistura de filtro não relatada. Essas placas possuem uma densidade de  $1,8 \text{ g/cm}^3$ , contudo notamos nos trabalhos ao nosso alcance, que todas as tentativas feitas onde foi agregado o sulfato de cálcio (gesso) à argamassa de revestimento, com um intuito de melhorar a proteção, não apresentaram resultados satisfatórios, inclusive também nós, por ocasião do plano piloto, onde um dos testes foi com uma mistura contendo gesso, os resultados foram bem inferiores quando comparados aos das misturas que, no lugar do gesso, foi adicionado a areia. No nosso entender, esse melhor resultado pode ser relacionado com o tipo de ligação entre os componentes da barita, do cimento e da areia, pois em outro dos nossos testes, fizemos corpos de prova com somente cimento e areia, na proporção de 1 para 1, e o resultado também não foi satisfatório, isto é, foi absorvido uma pequena parte do feixe incidente de radiação. Daí a hipótese de que o arranjo molecular da argamassa proposta por nós, ser bastante eficiente na absorção da energia estudada.

Lembramos ainda, que nos estudos feitos por COALTER , METCALFE<sup>4</sup> , preconizam o revestimento das paredes, com placas de ambos os lados, já que essas placas apresentavam áreas de menor resistência à passagem da radiação, ou então o uso de duas placas no mesmo lado o que daria espessura de 25mm, suficiente para atenuar radiações de 30keV de energia. Se compararmos esses achados

dos com os nossos, para a mesma energia, precisaríamos de uma espessura de 11,76mm da argamassa estudada. Esses dados, tanto os dos autores citados como os nossos, são dados, ou espessuras necessárias para oferecer proteção à radiação de 30keV de energia, que seria atenuada pela espessura equivalente a 2,1mm de chumbo.

MARQUES, FONTOURA, SOUTO<sup>14</sup>, também estudaram materiais que pudessem servir como barreira à radiação x, principalmente aquela utilizada pelos Cirurgiões dentistas, onde a energia efetiva foi ao redor de 17keV ou seja, aparelhos operando com 50kVp, e demonstraram que 10cm de concreto convencional seria suficiente para que a porcentagem de transmissão fosse da ordem de 0,0054%, praticamente igual a porcentagem de transmissão para uma lâmina de 2mm de chumbo. Se compararmos esses achados com os nossos, onde a argamassa na proporção estudada, proporcionou o fator de conversão de 5,6, ou seja para cada milímetro de chumbo teremos 5,6 mm de argamassa; para 2mm de chumbo precisaríamos de 11,2mm da argamassa proposta, que seria uma proteção tão efetiva quanto 10cm de concreto comum. Porém, o nosso fator de conversão foi determinado para 30keV de energia ou seja, o aparelho de raios-X operando com 90kVp, sendo praticamente o dobro da energia utilizada no trabalho dos autores citados.

Finalmente, devemos lembrar que a nossa preocupação em determinar um Fator de conversão, para uma mistura de argamassa baritada para revestimento, onde as proporções estudadas foram de 60% de barita com teor de 53,7% de sulfato de bário, 20% de areia

fina e 20% de cimento CPE 32, tem a finalidade de apresentar um material que possa ser empregado como alternativa à aplicação do chumbo, e eficiência muito próxima. Porém, esse estudo é válido para esta mistura, e para a energia efetiva aplicada, até 30keV.

Embora neste estudo a preocupação não fosse custos, podemos afirmar que, para uma mesma área, a blindagem com chumbo teria custo bem mais elevado, do que o revestimento com a argamassa baritada.

CAPITULO VII

CONCLUSÕES

## CONCLUSÕES

Considerando a possibilidade de profissionais da área de odontologia operarem aparelhos de raios-X, com até 90kVp de tensão, sendo 30keV de energia efetiva, estudou-se o uso de uma argamassa baritada, com a finalidade de proteção, como alternativa ao equivalente em chumbo e conclui-se que:

1. Para a energia proposta, a melhor mistura encontrada foi de :
  - 60% de Barita, com 53,7% de Sulfato de Bário.
  - 20% de areia fina.
  - 20% de cimento CPE 32.
2. O Fator de Conversão obtido para a mistura da argamassa estudada foi de 5,6 para cada milímetro de chumbo.

CAPITULO VIII

RESUMO

## RESUMO

O presente estudo teve o propósito de determinar a proporção ideal do mineral barita em argamassa de revestimento, e a espessura necessária e equivalente à espessura de chumbo para barrar ou absorver raios-X de aproximadamente 30keV de energia efetiva, para blindagens em clínicas de radiol<sup>o</sup>gia odontol<sup>o</sup>gica. Foram confeccionados blocos de argamassa baritada com 150x150mm e espessuras de 1,4 a 15,1mm. Foi utilizado como fonte de radiaç<sup>o</sup> um aparelho GE 100 modelo A0061. Os feixes incidentes e emergentes de radiaç<sup>o</sup>, foram medidos por meio de dosímetros termoluminescentes de Fluoreto de Lítio 700, e por câmara de ionizaç<sup>o</sup> e eletr<sup>o</sup>metro Victoreen modelos 600-4 e 600 respectivamente, e ainda foi feito um cálculo te<sup>o</sup>rico a partir dos elementos componentes da argamassa, para uma comparaç<sup>o</sup> com os resultados nos testes.

Os resultados evidenciaram que a barita, numa proporç<sup>o</sup> de 60%, em relaç<sup>o</sup> aos demais componentes da argamassa estudada, para raios-X de aproximadamente 30keV de energia efetiva (93,7 kVp), foi obtido por meio de um fator de convers<sup>o</sup> de 5,6 da espessura da argamassa para espessura necess<sup>o</sup>ria de chumbo. A camada semi-redutora (HVL) da argamassa baritada foi de 1,24mm e a camada semi-redutora (HVL) do chumbo foi de 0,22mm. Assim sendo, para cada milímetro de chumbo seria necess<sup>o</sup>rio 5,6mm da argamassa de revestimento para uma proteç<sup>o</sup> eficiente.

**UNITERMOS:** Barita - Proteç<sup>o</sup> - Raios-X

**CAPÍTULO IX**

**SUMMARY**

## SUMMARY

The present paper has the aim of determine the ideal portion of baryte mineral in plaster and the necessary equivalent thickness of plumbum to absorb or stop x-rays in nearly 30keV efective energy, in isolating odontological clinics. Baryte plaster boards were made at 150x150mm and from 1,4 to 15,1mm of thick. As a radiation source, a GE 100, model A0061 device was used. The incidental and emergent radiation beams were measured with Lithium Fluoride 700 dosimeter and ionization chamber and Victoreen electrometer models 600-4 and 600 respectively. A theoretical calculus was also done from the plaster compound elements for a testing result comparison.

The results highlighted that baryte in 60% portion related to the other studied plaster compounds for x-rays nearly 30keV efective energy (93,7kVp) was obtained through a conversion factor of 5,6 in the plaster thickness for the plumbum necessary thickness. The baryte plaster half-value-layer (HVL) was 1,24mm and the plumbum half-value-layer was 0,22mm. Hence, for each plumbum millimeter it would be necessary 5,6mm of plaster for an efficient protection.

**Key words: Baryte - Protection - x-rays.**

CAPITULO X  
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS\*

- 1 - ABREU, S.F. Recursos minerais do Brasil. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. p.210-214.
- 2 - BRAESTRUP, C.B. Materials for gamma and x-ray protection. Pregve Archit., New York, v.36, p.121-5, Sept. 1955.
- 3 - BRUNI, E.C. Perfil analítico da barita. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1973.
- 4 - COALTER, G.C., METCALFE, P.E. Barytes board: a cost effective radiation barrier materials for use in diagnostic x-ray suites. Australas. Radiol., v.31, n.1, p.90-92, Feb. 1987.
- 5 - DANA, J.D., HURLBUT JUNIOR, C. Manual de mineralogia. São Paulo: Ao Livro Técnico, 1969. p.389-391.
- 6 - HOLLIDAY, B. Radiological protection in dentistry. Br. dent. J., London, v.134, n.11, p. 495-497, June, 1973.
- 7 - HUBBELL, J.H. Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients from 1keV to 20MeV. Int. J. appl. Radiat. Isotopes, London, v.33, p.1269-1290, July, 1982.

- 8 - INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Protection against ionizing radiation from external sources used in medicine. 1982. (Publication 33)
- 9 - JOHNS, H.E., CUNNINGHAM, J.R. Radiological properties of elements. In: \_\_\_\_\_. The Physics of Radiology. 4.ed. Springfield: Charles C. Thomas, 1983. p.372.
- 10 - MANSON-HING, L.R. Proteção aos raios x em radiologia odontológica. Revta Ass. paul. Cirurg. dent., São Paulo, v.25, n.6, p.235-244, nov./dez. 1971.
- 11 - MARQUES JUNIOR, A., FONTOURA, H.E.S., SOUTO, S.L.L. Avaliação das barreiras à radiação x. Revta Gaúcha Odontol., Porto Alegre, v.39, n.4, p.273-275, jul./ago. 1991.
- 12 - MASSEY, J.B. Manual of dosimetry in radiotherapy. Viena: International Atomic Energy Agency, 1970. p.69-75.
- 13 - MILLER, W., KENNEDY, R.J. X-Ray attenuation in lead, aluminum, and concret in the range 275 to 525 kilovolts. RADIOLOGY, St. Paul, v.65, p.920-925, Dec. 1955. Apud TRUOT, E.D., KELLEY, J.P., LUCAS, A.C. Op. cit. ref.22.

- 14 - MILLER, R.E., SKUCAS, J. Radiographic contrast agents. Baltimore: Univ. Park Pr., 1977. p.09-63.
- 15 - MOOS, W.S. et al. Variations in x-rays barrier efficiency of some commonly used building materials. Oral Surg., St. Louis, v.14, n.5, p.569-573, May. 1961.
- 16 - NASCIMENTO FILHO, V.F. Programa Analquim. CENA, USP, 1991. [Comunicação pessoal].
- 17 - OKUNO, E., CALDAS, I.L., CHOW, C. Raios x. In: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ Física para ciências biológicas e biomedicas. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982. p.49-54.
- 18 - PETRUCCI, E.G.R. Concretos especiais. In: \_\_\_\_\_. Concreto de cimento Portland. 8.ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1981. p.226-295.
- 19 - SCAFF, L.A.M. Absorção da radiação x ou gama pela matéria, In: \_\_\_\_\_. Bases físicas da radiologia. São Paulo: Sarvier, 1979. p.45-66.
- 20 - SELTZER, S.M., BERGER, M.J. Evaluation of collision stopping. Int. J. appl. Radiat. Isotopes, London, v.33, p.1197-204, 1982.

- 21 - TIRPAK, E.G. Barytes aggregates make heavy concrete for shielding. Civ. Engng. Easton, Pa, Easton, v.21, n.8, p.453-454, Aug. 1951.
- 22 - TROUT, E.D., KELLEY, J.P., LUCAS, A.C. Broad beam attenuation in concrete for 50 kVp to 300 kVp x-ray and lead for 300 kVp x-rays. Radiology., St. Louis v.72, p.62-67, Jan/June, 1959.
- 23 - \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. Conventional building as protective barriers in dental roentgenographic installations. Oral Surg., St. Louis, v.15, n.10, p.1211-1222, Oct. 1962.
- 24 - VIEIRA, L.S. Manual da ciência do solo: Com ênfase aos solos tropicais. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988. p.31-2.
- 25 - WYCKOFF, H.O., KENNEDY, R.J., BRADFORD, W.J. Res. National Bureau of Standards. v.41, p.223, 1948. Apud TROUT, E.D. KELLEY, J.P., LUCAS, A.C. Op.cit. ref.22.

\* De acordo com a NBR 6023 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

Abreviatura dos periódicos de acordo com "Word List of Scientific Periodicals Published in the years 1900-1960.

APÉNDICE

APENDICE I

COMPOSTO	COMPOSIÇÃO		
	(Z dos constituintes : fração pela massa)		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	8 : 0,470749	13 : 0,529251	
BaSO <sub>4</sub> .....	8 : 0,274212	16 : 0,13768	56 : 0,588420
CaO.....	8 : 0,285299	20 : 0,714701	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	8 : 0,300567	26 : 0,699433	
MgO.....	8 : 0,396964	12 : 0,603036	
K <sub>2</sub> O.....	8 : 0,169852	19 : 0,830148	
SiO <sub>2</sub> .....	8 : 0,532565	14 : 0,467435	
Na <sub>2</sub> O.....	8 : 0,258143	11 : 0,741857	

Adaptado de SELTZER, S.M., BERGER, M.J.<sup>20</sup> 1982. (Tabela n.7)

ELEMENTOS	$\mu/\rho$ cm /g
Al.....	1,115
Ba.....	9,904
Ca.....	4,040
Fe.....	8,109
K.....	3,379
Mg.....	9,192
Na.....	7,111
O.....	3,736
S.....	2,090
Si.....	2,090

Adaptado de HUBBELL, J.H.<sup>7</sup>, 1982. (Tabela n.1)

APPENDICE II

TABLE A-4c RADIOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINUM										
Z=13		$\rho = 2699 \text{ kg/m}^3$		$2.902 \times 10^{26} \text{ elect./kg}$			$A=26.981$			
				$2.232 \times 10^{25} \text{ atom/kg}$						
Photon energy	Basic Coefficients in				Interaction coef. in			Av. energy transferred or absorbed		Stopping power $\bar{S}$
$h\nu$	$(10^{-24} \frac{\text{cm}^2}{\text{atom}})$ or $(10^{-28} \frac{\text{m}^2}{\text{atom}})$				$[\text{cm}^2/\text{g}]$ (To get $[\text{m}^2/\text{kg}]$ divide by 10)			$\bar{E}_{tr}$	$\bar{E}_{ab}$	in $\frac{\text{MeV cm}^2}{\text{g}}$
[keV]	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{inc}$	$\tau$	$\kappa$	$(\frac{\mu}{\rho})$	$(\frac{\mu_{en}}{\rho})$	$(\frac{\mu_{ab}}{\rho})$	[keV]		$\bar{S}^*$
	coh.	incoh.	photo	pair						
1.55	90.07	1.163	15870.		356.2	354.1		1.55		65.4
1.56	90.05	1.164	189900.		4241.	4105.		1.51		65.4
2	82.30	1.515	103200.		3305.	2247.		1.95		59.9
3	68.17	2.125	36080.		1066.9	792.1		2.95		50.8
4	57.97	2.611	16490.		369.4	363.6		3.94		44.2
5	49.93	3.054	8814.		197.9	194.8		4.92		39.3
6	43.13	3.465	5224.		117.6	115.6		5.90		35.5
8	32.33	4.186	2246.		50.95	49.83		7.82		29.9
10	24.65	4.767	1151.		26.35	25.57		9.70		26.0
15	14.02	5.595	333.0		7.673	7.411		14.1		20.1
20	9.195	6.169	135.9		3.375	3.031		18.0		16.5
30	4.894	6.588	37.84		1.101	.8514	.8510	23.2		12.5
40	3.067	6.721	15.17		.5571	.3489	.3487	25.1		10.3
50	2.094	6.725	7.453		.3632	.1790	.1789	24.6		9.00
60	1.517	6.663	4.171		.2757	.1076	.1075	23.4		8.27
80	.8974	6.458	1.673		.2015	.0547	.0547	21.7		7.82
100	.5929	6.225	.8266		.1706	.0381	.0381	22.3		8.02
150	.3744	5.680	.2327		.1381	.0285	.0285	31.0		8.13
200	.2571	5.234	.0941		.1225	.0277	.0274	45.2		6.95
300	.0798	4.573	.0284		.1043	.0283	.0283	81.4		4.93
400	.0491	4.105	.0122		.0928	.0287	.0287	124.		3.88
500	.0257	3.752	.0065		.0845	.0288	.0287	171.		3.26
550	.0213	3.604	.0050		.0810	.0287	.0287	195.		3.05
662	.0147	3.324	.0030		.0746	.0284	.0283	252.		2.70
800	.0101	3.053	.0018		.0689	.0279	.0278	327.	325.	2.42
[MeV]								[MeV]		
1	.0064	2.746	.0010		.0615	.0270	.0269	.440	.437	2.10
1.25	.0041	2.456	.0007	.0003	.0549	.0258	.0257	.588	.584	1.99
1.5	.0029	2.232	.0005	.0075	.0501	.0247	.0245	.741	.735	1.88
2	.0016	1.905	.0003	.0306	.0433	.0229	.0227	1.06	1.05	1.75
3	.0007	1.499	.0002	.0872	.0354	.0206	.0203	1.75	1.72	1.64
4	.0004	1.250	.0001	.1420	.0311	.0193	.0189	2.48	2.43	1.60
5	.0003	1.080	.0001	.1918	.0284	.0185	.0180	3.27	3.17	1.58
6	.0002	.9545	.0001	.2283	.0264	.0179	.0173	4.08	3.93	1.57
8	.0001	.7808		.3010	.0242	.0175	.0166	5.79	5.51	1.56
10	.0001	.6650		.3734	.0232	.0176	.0166	7.61	7.14	1.56
15		.4922		.4811	.0217	.0176	.0162	12.3	11.2	1.57
20		.3950		.5761	.0217	.0186	.0165	17.2	15.2	1.59
30		.2876		.6961	.0220	.0198	.0167	27.1	22.8	1.61
40		.2285		.7752	.0224	.0207	.0166	37.0	29.7	1.62
50		.1908		.8428	.0231	.0217	.0167	47.0	36.1	1.64
60		.1644		.8958	.0234	.0223	.0164	57.0	42.0	1.65
80		.1296		.9581	.0243	.0234	.0160	77.1	52.8	1.67
100		.1076		1.018	.0251	.0244	.0156	97.1	62.3	1.69

\*Av. Stopping Power in  $[\text{MeV cm}^2 \text{ g}^{-1}]$  for the spectrum of electrons produced in the medium by photons of energy  $h\nu$

JOHNS, H. E., CUNNINGHAM, J. R. <sup>9</sup>, 1989.

APENDICE III

Tabla 3. Valores aproximados de espesores hemirreductores y decirreductores de haces gruesos de rayos X fuertemente atenuados

Fuente rayos X	Espesor hemirreductor, cm.		Espesor decirreductor, cm.	
	plomo	hormigón	plomo	hormigón
50 kV	0.005	0.4	0.018	1.3
70	-----	1.0	-----	3.6
75	0.015	---	0.050	---
100	0.025	1.6	0.084	5.5
125	-----	1.9	-----	6.4
150	0.029	2.2	0.096	7.0
200	0.042	2.6	0.14	8.6
250	0.086	2.8	0.29	9.0
300	0.17	3.0	0.57	10.0
400	0.25	3.0	0.82	10.0
0.5 MV	0.31	3.6	1.03	11.9
1	0.76	4.6	2.52	15.0
2	1.15	6.1	3.90	20.1
3	-----	6.9	-----	22.6
4	1.48	8.4	4.9	27.4
6	1.54	10.2	5.1	33.8
10	1.69	11.7	5.6	38.6
20	1.63	13.7	5.4	45.7
30	1.57	13.7	5.2	45.7
38	-----	13.7	-----	45.7

ICRP<sup>8</sup>, 1982. (Publicação 99)

APÊNDICE IV

Puriquima Ltda.

R. ALDEIA VINTE DE SETEMBRO, 18 - FONE: 201-3742 - FAX: (011)201-3742  
C.E.P. 02202 - VILA EDE - SÃO PAULO

LP.: -292/91

São Paulo, 24 de abril de 1991

MATERIAL: - Barita

INTERESSADO: - JOÃO GERALDO MARTINS DE SOUZA

R E S U L T A D O S

Sulfato de Bário ( $\text{BaSO}_4$ )	53,7 %
Sílica ( $\text{SiO}_2$ )	44,7 %
Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	0,73 %
Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0,30 %
Cálcio ( $\text{CaO}$ )	0,05 %
Magnésio ( $\text{MgO}$ )	0,04 %

NOTA IMPORTANTE

Os resultados desta análise tem significação restrita e se aplicam tão somente à amostra enviada pelo interessado.

PURIQUIMA LTDA.  
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

REF. Nº =	MARCA = <u>Votorana CPE 32</u>	DATA DA COLETA =																																																																																	
PROCEDÊNCIA = <u>Carvão de alto forno</u>																																																																																			
<p>1- COMPOSIÇÃO QUÍMICA</p> <p>1.1 = P. FÓSGO = <u>2,74%</u></p> <p>1.2 = R. INSOLÚVEL = <u>0,30%</u></p> <p>1.3 = SiO<sub>2</sub> = <u>30,30%</u></p> <p>1.4 = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = <u>3,55%</u></p> <p>1.5 = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = <u>4,69%</u></p> <p>1.6 = CaO = <u>60,50%</u></p> <p>1.7 = MgO = <u>4,15%</u></p> <p>1.8 = SO<sub>3</sub> = <u>2,44%</u></p> <p>1.9 = Na<sub>2</sub>O = <u>0,16%</u></p> <p>1.10 = K<sub>2</sub>O = <u>1,20%</u></p> <p style="text-align: right;">= <u>100,03%</u></p>		<p>3 = EQUIVALENTE ALCALINO = <u>0,95%</u></p> <p>4 = GÊSSO - (1,7 x % SO<sub>3</sub>) = <u>4,15%</u></p>																																																																																	
<p>2- COMPOSIÇÃO POTENCIAL</p> <p>2.1 = C<sub>3</sub>S = <u>40,53%</u></p> <p>2.2 = C<sub>2</sub>A = <u>27,64%</u></p> <p>2.3 = C<sub>3</sub>A = <u>6,42%</u></p> <p>2.4 = C<sub>4</sub>AF = <u>10,80%</u></p> <p>2.5 = CAL LIVRE = <u>1,95%</u></p> <p>2.6 = GÊSSO = <u>4,15%</u></p> <p>2.7 = P. FÓSGO = <u>2,74%</u></p> <p>2.8 = R. INSOLÚVEL = <u>0,30%</u></p> <p>2.9 = MgO = <u>4,15%</u></p> <p>2.10 = Na<sub>2</sub>O = <u>0,16%</u></p> <p>2.11 = K<sub>2</sub>O = <u>1,20%</u></p> <p style="text-align: right;">= <u>100,04%</u></p>		<p>5- CÁLCULO DOS SILICATOS E ALUMINATOS DE CÁLCIO - (BOGUE)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nº ORDEM</th> <th>% DOS COMPONENTES</th> <th>COEFICIENTES C</th> <th>% x C</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>CaO =</td><td>4,071</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>SiO<sub>2</sub> =</td><td>7,600</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =</td><td>6,718</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =</td><td>1,430</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>SO<sub>3</sub> =</td><td>2,852</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>CAL LIVRE = <u>1,95</u></td><td>4,071</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td>2+3+4+5+6 = 7</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td>1-7 = C<sub>3</sub>S <u>40,53%</u></td></tr> <tr><td>9</td><td>SiO<sub>2</sub> =</td><td>2,867</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>C<sub>3</sub>S =</td><td>0,754</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td></td><td>9-10 = C<sub>2</sub>S <u>27,64%</u></td></tr> <tr><td>12</td><td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =</td><td>2,650</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =</td><td>1,692</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td>12-13 = C<sub>3</sub>A <u>6,42%</u></td></tr> <tr><td>15</td><td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> =</td><td>3,043</td><td></td><td>C<sub>4</sub>AF = <u>10,80%</u></td></tr> </tbody> </table>		Nº ORDEM	% DOS COMPONENTES	COEFICIENTES C	% x C		1	CaO =	4,071			2	SiO <sub>2</sub> =	7,600			3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	6,718			4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	1,430			5	SO <sub>3</sub> =	2,852			6	CAL LIVRE = <u>1,95</u>	4,071			7				2+3+4+5+6 = 7	8				1-7 = C <sub>3</sub> S <u>40,53%</u>	9	SiO <sub>2</sub> =	2,867			10	C <sub>3</sub> S =	0,754			11				9-10 = C <sub>2</sub> S <u>27,64%</u>	12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	2,650			13	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	1,692			14				12-13 = C <sub>3</sub> A <u>6,42%</u>	15	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	3,043		C <sub>4</sub> AF = <u>10,80%</u>
Nº ORDEM	% DOS COMPONENTES	COEFICIENTES C	% x C																																																																																
1	CaO =	4,071																																																																																	
2	SiO <sub>2</sub> =	7,600																																																																																	
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	6,718																																																																																	
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	1,430																																																																																	
5	SO <sub>3</sub> =	2,852																																																																																	
6	CAL LIVRE = <u>1,95</u>	4,071																																																																																	
7				2+3+4+5+6 = 7																																																																															
8				1-7 = C <sub>3</sub> S <u>40,53%</u>																																																																															
9	SiO <sub>2</sub> =	2,867																																																																																	
10	C <sub>3</sub> S =	0,754																																																																																	
11				9-10 = C <sub>2</sub> S <u>27,64%</u>																																																																															
12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	2,650																																																																																	
13	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	1,692																																																																																	
14				12-13 = C <sub>3</sub> A <u>6,42%</u>																																																																															
15	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	3,043		C <sub>4</sub> AF = <u>10,80%</u>																																																																															
L.E.C. LABORATORIO DE CONCRETO CESP - ILHA SOLTEIRA			DESENHO																																																																																
COMPOSIÇÃO POTENCIAL DO CIMENTO			LC-13																																																																																

71