AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETOS DE
MASSA ESPECÍFICA ELEVADA PARA PROTEÇÃO ÀS RADIAÇÕES GAMA E X**

Sérgio Medeiros de Albuquerque

**Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Doutor em Ciências na Área de Tecnologia
Nuclear - Aplicações**

**Orientador:
Prof. Dr. Gian-Maria Agostino Angelo Sordi**

**São Paulo
2014**

Aos meus familiares, amigos e aos meus pais.

À Jesus Cristo pela luz e caminho.

AGREDECIMENTOS

Agradeço ao Dr. Gian-Maria A. A. Sordi, não apenas pela orientação dedicada, incentivo e pela oportunidade de realização deste trabalho, mas principalmente pela amizade e carinho.

Ao IPEN, à pós-graduação da USP e aos seus funcionários, pelo auxílio e atenção dispensada.

Ao Dr Carlos Roberto Apolloni, coordenador do Laboratorio de Física Nuclear Aplicada da Univercidade Estadual de Londrina, pelo apoio e utilização do laboratório.

Ao amigo Dr Avacir Candrello, professor e pesquisador do departamento de física da Universidade Estadual de Londrina, pela ajuda e ensaios realizados.

Ao Dr. Marcos Scapin, pelo incansável apoio e conselhos.

Ao amigo engenheiro Pedro Bilesky, pelo incansável auxílio e estímulo.

A Oxidray na pessoa do engenheiro Luis Eduardo, pela imprecinivel ajuda e apoio.

Aos professores do Instiuto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, pela dedicação e ensinamentos.

Ao Instituto de Pequisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, pelo auxílio e realização de ensaios.

Aos participantes da banca examinadora, pela importante contribuição.

E a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

A minha esposa, filhos e a meus pais pelo incentivo e apoio.

ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETOS DE MASSA ESPECÍFICA ELEVADA PARA PROTEÇÃO ÀS RADIAÇÕES GAMA E X

Sérgio Medeiros de Albuquerque

RESUMO

Este trabalho de tese de doutorado visou identificar as matérias primas naturais produzidas no Brasil e possíveis de serem utilizadas na produção de concretos de elevada massa específica. Desenvolver uma metodologia para a caracterização, preparo, moldagem, ensaios para determinação do coeficiente de atenuação linear experimental, cálculo do coeficiente de atenuação linear teórico, e determinação do Z efetivo, culminando com a confecção de um banco de dados embrionário para os concretos de elevada massa específica preparados com matérias primas nacionais. Para tanto foram identificadas onze matérias primas produzidas no Brasil com características adequadas para a produção de concretos de elevada densidade. Apresentamos os fundamentos teóricos ao bom entendimento do trabalho tanto no campo da proteção radiológica como naquela dos conceitos que podem ser usados para a produção de blindagem às radiações gama e X. Preparamos vinte e dois tipos de concretos de elevada massa específica com a utilização de matérias primas naturais e nacionais. Os concretos desenvolvidos foram preparados, moldados e ensaiados com uma fonte de ^{137}Cs , de $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq (1Ci) de atividade. Foram calculados os coeficientes de atenuação linear com a utilização das análises químicas dos concretos preparados e encontrados os coeficientes de atenuação linear experimentais para comparação e avaliação da técnica proposta. Foram medidas as massas específicas dos concretos preparados em virtude de sua importância para a formação da seção de choque do composto quando da predominância do efeito Compton, e determinado o Z efetivo para a região predominante do efeito fotoelétrico. Por fim foram calculados os custos de produção levando-se em conta somente os custos das matérias primas. Para as massas específicas os concretos apresentaram uma variação de $2,74 \text{ kg/dm}^3$ até $3,76 \text{ kg/dm}^3$, já para o coeficiente de atenuação linear experimental a variação foi de $0,2137 \text{ cm}^{-1}$ a $0,2860 \text{ cm}^{-1}$, o Z efetivo variou de 19 a 25. Finalizando o trabalho foram discutidos os resultados e sugeridos preferências de concretos para utilização em blindagens com a aplicação de alguns conceitos. Comparando os resultados encontrados com vários outros publicados em trabalhos internacionais, verificamos o grau de similaridade.

STUDY FOR THE DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF CONCRETES OF HIGH SPECIFIC MASS FOR PROTECTION TO THE GAMMA AND X RADIATION

Sérgio Medeiros de Albuquerque

ABSTRACT

This PhD thesis the natural raw materials produced in Brazil and in the production of high density concrete. Furthermore, we also develop a methodology for characterization, preparation, molding, testing to determine the linear attenuation coefficient of experimental, theoretical calculation of the linear attenuation coefficient, and determination of the effective Z, culminating with the production of an embryo stock data for the specific high density prepared with local raw materials. For this, we identified eleven raw materials produced in Brazil with suitable characteristics for the production of high density concrete. We present the theoretical understanding of radiological protection and in the fundamental concepts that can be used to produce shielding for gamma and X radiation. During the work, we prepared twenty-two concrete types of high specific weight, with the use of natural materials and domestic materials. These new concretes were prepared, molded and tested with a Cs-137 source ($3.7 \cdot 10^{10}$ Bq (1Ci) activity). The linear attenuation coefficients were calculated employing the chemical analyzes of the prepared concrete and the experimental linear attenuation coefficients were also determined for comparison and evaluation of the proposed technique. The specific masses of the concrete samples were determined, given their importance to the cross section for the Compton Effect predominance. The effective Z was also determined were the photoelectric effect was predominant. Finally, the production costs were considered, taking into account only the cost of the raw materials. For the specific masses, the concretes presented a variation from 2.74 kg/dm^3 to 3.76 kg/dm^3 . In the case of the experimental linear attenuation coefficient the variation was from 0.2137 cm^{-1} to 0.2860 cm^{-1} , and the effective Z varied from 19 to 25. As conclusion, the results were discussed e the preferred concretes for the shielding purposes were suggested. Comparing the results with other published international work, we find the degree of similarity.

SUMÁRIO

1	CAPITULO 1	Pg 1
1	INTRODUÇÃO	Pg 1
1.1	Identificação do Campo de Atuação do Presente Trabalho	Pg 3
1.2	Finalidades do Trabalho	Pg 4
1.3	Objetivos do Trabalho	Pg 5
1.4	Justificativa	Pg 6
1.5	Originalidade	Pg 7
2	CAPITULO 2	Pg 9
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	Pg 9
2.1	Proteção radiológica	Pg 9
2.1.1	Utilização de barreiras de proteção para atenuação das radiações gama e X.	Pg 10
2.1.2	Desenvolvimento de um projeto de radioproteção.	Pg 11
2.2	Concreto como blindagem às radiações gama e X.	Pg 12
2.2.1	Uso do concreto como proteção às radiações gama e X.	Pg 12
2.2.2	Concreto de elevada massa específica.	Pg 13
2.2.3	Importância da caracterização das matérias-primas empregadas.	Pg 13
2.2.4	Propriedades físicas e químicas das matérias-primas	Pg 14
2.2.5	Aglomerantes	Pg 15
2.2.6	Adições	Pg 15
2.2.7	Aditivos	Pg 16
2.2.8	Agregados para concreto	Pg 17
2.2.8.1	Condições gerais.	Pg 17
2.2.8.2	Agregados de elevada massa específica.	Pg 19
2.2.8.2.1	Classificação dos agregados de elevada massa específica.	Pg 20

2.2.9	Formulação do traço de concreto	Pg 21
2.3	Interação da radiação eletromagnética e gama com a matéria.	Pg 23
2.3.1	Introdução	Pg 23
2.3.2	Coeficiente de atenuação linear eletrônico, atômico e massa.	Pg 27
2.3.3	Efeito fotoelétrico	Pg 29
2.3.4	Espalhamento Compton	Pg 30
2.3.5	Produção de pares.	Pg 31
2.3.6	Seção de choque para a energia utilizada.	Pg 32
2.3.7	Fator de crescimento "Buildup-Factor".	Pg 33
3	CAPITULO 3	Pg 38
3	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	Pg 38
3.1	Revisão Bibliográfica	Pg 38
3.2	Identificação da energia à qual o concreto será submetido e definição das características necessárias	Pg 40
3.3	Escolha das matérias-primas produzidas no Brasil para a produção de elevada massa específica	Pg 40
3.3.1	Aglomerantes.	Pg 40
3.3.2	Agregados.	Pg 41
3.3.3	Adições.	Pg 44
3.3.4	Aditivo.	Pg 45
3.3.5	Caracterização química dos materiais utilizados.	Pg 45
3.4	Formulação dos traços de concreto.	Pg 46
3.4.1	Primeiro passo:	Pg 47
3.4.2	Segundo passo:	Pg 47
3.4.3	Terceiro passo:	Pg 50
3.4.4	Quarto passo:	Pg 50
3.4.5	Quinto passo:	Pg 51

3.4.6	Sexto passo:	Pg 51
3.5	Preparo dos concretos, moldagem, cura e armazenamento dos corpos de prova.	Pg 52
3.5.1	Preparo dos concretos e moldagem dos corpos de prova.	Pg 52
3.5.2	Moldagem dos copos de prova.	Pg 52
3.5.3	Cura e armazenagem dos corpos de pova.	Pg 53
3.6	Ensaio para determinação dos coeficientes de atenuação linear experimental	Pg 54
3.7	Caracterização física e química dos concretos preparados.	Pg 56
3.7.1	Caracterização física dos concretos preparados.	Pg 56
3.7.2	Análise química dos concretos preparados.	Pg 57
3.8	Cálculo do coeficiente de atenuação linear dos concretos preparados	Pg 59
4	CAPITULO 4	Pg 60
4	Resultados encontrados	Pg 60
4.1	Resultados da caracterização física e química do aglomerante utilizado	Pg 60
4.1.1	Caracterização física do cimento Portland CPV ARI-RS	Pg 60
4.1.2	Ensaio químicos	Pg 61
4.2	Resultados da caracterização física e química dos agregados e da adição	Pg 61
4.2.1	Caracterização física	Pg 61
4.2.2	Caracterização química	Pg 70
4.3	Traços dos concretos formulados para as sete famílias escolhidas	Pg 77
4.4	Caracterização física dos concretos preparados	Pg 85
4.4.1	Massa específica dos corpos de prova no momento da desforma e antes da realização dos ensaios de atenuação	Pg 85

4.4.2	Resistência à compressão	Pg 87
4.5	Composição química dos concretos preparados	Pg 87
4.6	Cálculo dos coeficientes de atenuação linear com a utilização das composições químicas dos concretos preparados	Pg 99
4.7	Resultados dos ensaios para determinação dos coeficientes de atenuação linear para a energia de 660 keV	Pg 112
4.8	Determinação do Z efetivo similar	Pg 121
4.9	Principais elementos presentes nos concretos ensaiados	Pg 122
4.10	Montagem do banco de dados	Pg 123
5	CAPITULO 5	Pg 124
5.1	Massa específica	Pg 124
5.2	Coeficiente de atenuação linear experimental	Pg 125
5.3	Coeficientes de atenuação linear calculados, comparados com os coeficientes de atenuação linear experimentais	Pg 127
5.4	Custos de produção	Pg 128
5.5	Resultados de outros trabalhos	Pg 129
5.6	Discussões englobando a densidade, o coeficiente de atenuação linear e o custo do concreto	Pg 132
6	CAPITULO 6	Pg 136
6	Conclusões	Pg 136
7	Sugestões para trabalhos futuros	Pg 137
	Referencias	Pg 138
	Anexo 1	Pg 142
	Anexo 2	Pg 148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado adaptada (10). Pg 18	Pg 19
Tabela 2	Massa específica, massa atômica, número atômico, número de elétrons por grama para vários materiais. Adaptada (15).	Pg 28
Tabela 3	Tabela comparativa de informações identificadas.	Pg 39
Tabela 4	Identificação das matérias-primas utilizados.	Pg 43
Tabela 5	Resultados dos ensaios físicos do aglomerante (IPT/SP).	Pg 60
Tabela 6	Resultados dos ensaios físicos dos ensaios mecânicos do aglomerante (IPT/SP).	Pg 60
Tabela 7	Resultados dos ensaios químicos do cimento por via úmida.	Pg 61
Tabela 8	Resultados da amostra AM2 "Óxido de Ferro".	Pg 62
Tabela 9	Resultados da amostra AM3 "Óxido de Ferro Sintético Vermelho".	Pg 63
Tabela 10	Resultados da amostra AM4 "Magnetita Malha #325".	Pg 64
Tabela 11	Resultados da amostra AM6 "Areia de Hematita".	Pg 64
Tabela 12	Resultados da amostra AM 7 "Areia de Hematita Graúda".	Pg 65
Tabela 13	Resultados da amostra AM8 "Granalha de Baixa Massa Específica".	Pg 66
Tabela 14	Resultados da amostra AM9 "Brita de Hematita 0".	Pg 67
Tabela 15	Resultados da amostra AM10 "Brita de Hematita 10 a 19mm".	Pg 68
Tabela 16	Resultados da amostra AM23 "Areia Barita".	Pg 69
Tabela 17	Resultados da amostra "Areia de Hematita Tipo AG".	Pg 69
Tabela 18	Códigos e nomes utilizados para identificação das amostras.	Pg 70
Tabela 19	Composição química – AM1 Filer calcário.	Pg 71
Tabela 20	Composição química – AM2 Filer calcário.	Pg 71
Tabela 21	Composição química – AM3 Filer calcário.	Pg 72

Tabela 22	Composição química – AM4 Filer calcário.	Pg 72
Tabela 23	Composição química – AM5 Magentita com areia.	Pg 73
Tabela 24	Composição química – AM6 Areia de hematita.	Pg 73
Tabela 25	Composição química – AM7 Areia de hematite graúda.	Pg 74
Tabela 26	Composição química – AM8 Areia de hematite graúda.	Pg 74
Tabela 27	Composição química – AM9 Brita 0 de hematita.	Pg 75
Tabela 28	Composição química – AM10 Areia de hematita.	Pg 75
Tabela 29	Composição química – AM10 Areia de hematita.	Pg 76
Tabela 30	Resumo geral das composições químicas das amostras das matérias primas, percentual dos elementos químicos presentes nas amostras.	Pg 77
Tabela 31	Traço Concreto 1.	Pg 78
Tabela 32	Traço Concreto 4.	Pg 78
Tabela 33	Traço Concreto 5.	Pg 78
Tabela 34	Traço Concreto 6.	Pg 79
Tabela 35	Traço Concreto 2.	Pg 79
Tabela 36	Traço Concreto 3.	Pg 79
Tabela 37	Traço Concreto 7.	Pg 80
Tabela 38	Traço Concreto 8.	Pg 80
Tabela 39	Traço Concreto 9.	Pg 80
Tabela 40	Traço Concreto 10.	Pg 81
Tabela 41	Traço Concreto 11.	Pg 81
Tabela 42	Traço Concreto 12.	Pg 81
Tabela 43	Traço Concreto 13.	Pg 82
Tabela 44	Traço Concreto 14.	Pg 82
Tabela 45	Traço Concreto 15.	Pg 82
Tabela 46	Traço Concreto 16.	Pg 83

Tabela 47	Traço Concreto 17.	Pg 83
Tabela 48	Traço Concreto 18.	Pg 83
Tabela 49	Traço Concreto 19.	Pg 84
Tabela 50	Traço Concreto 20.	Pg 84
Tabela 51	Traço Concreto 21.	Pg 84
Tabela 52	Traço Concreto 22.	Pg 85
Tabela 53	Massa específica dos concretos ensaiados no momento da moldagem e na desforma.	Pg 86
Tabela 54	Análise química normalizada do concreto Com 1.	Pg 89
Tabela 55	Análise química normalizada do concreto Com 2.	Pg 89
Tabela 56	Análise química normalizada do concreto Com 3.	Pg 90
Tabela 57	Análise química normalizada do concreto Com 4.	Pg 90
Tabela 58	Análise química normalizada do concreto Com 5.	Pg 91
Tabela 59	Análise química normalizada do concreto Com 6.	Pg 91
Tabela 60	Análise química normalizada do concreto Com 7.	Pg 92
Tabela 61	Análise química normalizada do concreto Com 8.	Pg 92
Tabela 62	Análise química normalizada do concreto Com 9.	Pg 93
Tabela 63	Análise química normalizada do concreto Com 10.	Pg 93
Tabela 64	Análise química normalizada do concreto Com 11.	Pg 94
Tabela 65	Análise química normalizada do concreto Com 12.	Pg 94
Tabela 66	Análise química normalizada do concreto Com 13.	Pg 95
Tabela 67	Análise química normalizada do concreto Com 14.	Pg 95
Tabela 68	Análise química normalizada do concreto Com 15.	Pg 96
Tabela 69	Análise química normalizada do concreto Com 16.	Pg 96
Tabela 70	Análise química normalizada do concreto Com 17.	Pg 97
Tabela 71	Análise química normalizada do concreto Com 18.	Pg 97

Tabela 72	Análise química normalizada do concreto Com 19.	Pg 98
Tabela 73	Análise química normalizada do concreto Com 20.	Pg 98
Tabela 74	Análise química normalizada do concreto Com 21.	Pg 99
Tabela 75	Análise química normalizada do concreto Com 22.	Pg 99
Tabela 76	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 1.	Pg 100
Tabela 77	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 2.	Pg 101
Tabela 78	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 3.	Pg 101
Tabela 79	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 4.	Pg 102
Tabela 80	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 5.	Pg 102
Tabela 81	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 6.	Pg 103
Tabela 82	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 7.	Pg 103
Tabela 83	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 8.	Pg 104
Tabela 84	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 9.	Pg 104
Tabela 85	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 10.	Pg 105
Tabela 86	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 11.	Pg 105
Tabela 87	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 12.	Pg 106
Tabela 88	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 13.	Pg 106
Tabela 89	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 14.	Pg 107
Tabela 90	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 15.	Pg 107
Tabela 91	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 16.	Pg 108
Tabela 92	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 17.	Pg 108
Tabela 93	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 18.	Pg 109
Tabela 94	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 19.	Pg 109
Tabela 95	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 20.	Pg 110
Tabela 96	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 21.	Pg 110
Tabela 97	Coeficiente de atenuação linear calculado Com 22.	Pg 111

Tabela 98	Resumos dos dados encontrados para os coeficientes de atenuação linear calculados.	Pg 112
Tabela 99	Concreto 1, corpo de prova número AM 5.	Pg 113
Tabela 100	Concreto 2, corpo de prova número AM 7	Pg 114
Tabela 101	Concreto 3, corpo de prova número AM 12	Pg 114
Tabela 102	Concreto 4, corpo de prova número AM 21.	Pg 114
Tabela 103	Concreto 5, corpo de prova número AM 27.	Pg 115
Tabela 104	Concreto 6, corpo de prova número AM 33.	Pg 115
Tabela 105	Concreto 7, corpo de prova número AM 36.	Pg 115
Tabela 106	Concreto 8, corpo de prova número AM 44.	Pg 116
Tabela 107	Concreto 9, corpo de prova número AM 51.	Pg 116
Tabela 108	Concreto 10, corpo de prova número AM 53.	Pg 116
Tabela 109	Concreto 11, corpo de prova número AM 60.	Pg 117
Tabela 110	Concreto 12, corpo de prova número AM 66.	Pg 117
Tabela 111	Concreto 13, corpo de prova número AM 72.	Pg 117
Tabela 112	Concreto 14, corpo de prova número AM 80.	Pg 118
Tabela 113	Concreto 15, corpo de prova número AM 84.	Pg 118
Tabela 114	Concreto 16, corpo de prova número AM 90.	Pg 118
Tabela 115	Concreto 17, corpo de prova número AM 96.	Pg 119
Tabela 116	Concreto 18, corpo de prova número AM 102.	Pg 119
Tabela 117	Concreto 19, corpo de prova número AM 107.	Pg 119
Tabela 118	Concreto 20, corpo de prova número AM 114.	Pg 120
Tabela 119	Concreto 21, corpo de prova número AM 119.	Pg 120
Tabela 120	Concreto 22, corpo de prova número AM 125.	Pg 120
Tabela 121	Dados dos ensaios para determinação dos coeficientes de atenuação linear dos concretos.	Pg 121
Tabela 122	Seção de choque dos elementos químicos para as energias	Pg 122

de 600, 800, 660 (KeV).

Tabela 123	Coeficiente de atenuação linear experimental e elemento similar.	Pg 123
Tabela 124	Composição química dos elementos encontrados nos concretos ensaiados, normalizados para elementos presentes.	Pg 124
Tabela 125	Massas específicas dos concretos ensaiados.	Pg 125
Tabela 126	Coeficientes de atenuação linear e densidades dos concretos ensaiados.	Pg 127
Tabela 127	Comparativo entre coeficientes.	Pg 128
Tabela 128	Custos de produção dos concretos preparados.	Pg 130
Tabela 129	Massa específica e coeficiente de atenuação linear encontrados em outros trabalhos publicados.	Pg 131
Tabela 130	Custos dos concretos corrigidos.	Pg 133
Tabela 131	Resumo de dados para avaliação dos concretos cuja interação predominante é o efeito fotoelétrico.	Pg 135

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1	Absorção exponencial para o Cobre para fótons de energia de 1 MeV para um coeficiente de atenuação linear $\mu = 0,524 \text{ cm}^{-1}$. Adaptada de Brownell e Hine (15).	Pg 24
Figura. 2	Colisão do fóton com energia $h\nu$ com um elétron livre no processo Compton. Adaptada de Brownell & Hine (15).	Pg 30
Figura. 3	Processo de produção de pares. Adaptada de Brownell & Hine (15). Pg 30	Pg 31
Figura. 4	Importância relativa dos três principais tipos de interação para radiação g. Aptada de Evans. (2). Pg 32	Pg 32
Figura. 5	Energia de absorção em função da energia do fóton para diferentes materiais. Pg 35	Pg 36
Figura. 6	Passo a passo para dosagem de CAA com o método Tutikian & Dal Molin 2007 com acréscimo de propriedades no passo 5 (13). Pg 46	Pg 46
Figura. 7	Organograma de combinações família 1.	Pg 48
Figura. 8	Organograma de combinações família 2.	Pg 48
Figura. 9	Organograma de combinações família 3.	Pg 48
Figura. 10	Organograma de combinações família 4.	Pg 49
Figura. 11	Organograma de combinações família 5.	Pg 49
Figura. 12	Organograma de combinações família 6.	Pg 49
Figura. 13	Organograma de combinações família 7.	Pg 49
Figura. 14	Mesa vibratória.	Pg 53
Figura. 15	Molde para moldagem dos corpos de prova.	Pg 53
Figura. 16	Caixa de armazenagem dos corpos de prova.	Pg 54
Figura. 17	Caixa de armazenagem dos corpos de prova na prateleira para cura.	Pg 54
Figura. 18	Mesa micrométrica e geometria de ensaio.	Pg 55

Figura.19	Esquema de posicionamento dos pontos em corpo	Pg 56
Figura.20	Amostra quebrada.	Pg 57
Figura.21	Compartimento de moagem com amostra a ser moída.	Pg 57
Figura.22	Moinho Herzog.	Pg 57
Figura.23	Amostra moída para ensaio.	Pg 57
Figura.24	Acondicionamento do material no porta-amostra.	Pg 58
Figura.25	Porta-amostras.	Pg 58
Figura.26	Espectrômetro RIX 3000.	Pg 58
Figura.27	Processamento dos dados pelo programa do equipamento.	Pg 58
Figura.28	Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM2.	Pg 62
Figura.29	Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM3.	Pg 63
Figura.30	Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM6.	Pg 64
Figura.31	Gráfico – Curva da granulométrica amostra AM7.	Pg 65
Figura.32	Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM8.	Pg 66
Figura.33	Gráfico – Curva granulométrica da amostra.	Pg 67
Figura.34	Gráfico – Curva granulométrica da amostra.	Pg 68
Figura.35	Gráfico – Curva granulométrica da amostra.	Pg 69
Figura.36	Importância relativa dos três principais tipos de interação para radiação g	Pg 134
Figura.37	Rocha de Barita Foto:Eurico Zimbres.	Pg 142
Figura.38	Rocha de Hematita Foto: Eurico Zimbres.	Pg 144
Figura.39	Rocha de Magnetita Foto:Eurico Zimbres.	Pg 146

CAPITULO 1

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento e a viabilização do uso dos equipamentos de radioterapia e radiodiagnóstico, assim como o incremento das aplicações industriais, fizeram com que se disseminassem instalações para abrigar tais equipamentos no país, aumentando a demanda por proteção e blindagem às radiações gama e X.

Para o atendimento às normas nacionais e internacionais, as instalações e os procedimentos devem ser planejados, realizados e projetados para que os indivíduos ocupacionalmente expostos e os indivíduos do público tomem as mais baixas possíveis doses dentro dos limites estabelecidos.

Uma das maneiras de se diminuir a exposição às radiações e consequentemente diminuir as doses é a utilização de barreiras às radiações (blindagens). Por se tratarem de partes indispensáveis para a proteção e operação em instalações de equipamentos geradores são, talvez, dentre os componentes utilizados na construção civil das salas, os que têm maior impacto sobre os custos das obras. (1)

Não diferentemente de outros países, no Brasil empregam-se vários tipos de materiais para a construção de proteções às radiações ionizantes.

Quando se trata de fótons de menores energias, em geral, a absorção fotoelétrica aumenta com o incremento do número atômico efetivo, e decresce com o aumento da energia da radiação (2). São utilizadas então pequenas espessuras, e empregam-se materiais como revestimentos de argamassas¹, com a utilização de barita como agregado² miúdos e aditivos³ especiais, geralmente aplicados sobre uma estrutura já existente, como alvenaria, painéis de concreto ou gesso acartonado.

¹ Argamassa: mistura de agregado e aglomerante com granulometria fina, normalmente utilizado para revestimentos, reparos ou assentamento de tijolos ou blocos de concreto.

² Agregados são fragmentos de rochas, popularmente denominados "pedras" e "areias".

³ Aditivo é qualquer material que não seja água, agregado, cimento hidráulico ou fibra, usado como ingrediente do concreto ou argamassa, e adicionado antes ou imediatamente à mistura, com objetivo de alterar certas características, como melhorar a plasticidade sem adicionar água, reduzir a exsudação e segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, dentre outros.

Quando da necessidade de proteções para a energia de 660 keV, são observados, dentre outros, primordialmente o efeito Compton. A blindagem então geralmente requer maiores espessuras, e o concreto de massa específica elevada é uma boa opção. De fácil aplicação, o concreto de elevada massa específica é um material similar ao concreto convencional, bastante utilizado no país.

Quando se projeta uma estrutura com a utilização do concreto de elevada massa específica para atuar como proteção às radiações ionizantes, inúmeros materiais e arranjos podem ser compostos para a produção do concreto, porém, aspectos físicos, econômicos, sociais e ambientais devem ser analisados, e a viabilidade da solução deve estar embasada em critérios técnicos, econômicos e sociais.

Para a escolha do tipo de concreto a ser empregado na construção da proteção, o projetista deve previamente verificar que energia será blindada.

O desempenho estrutural, a segurança contra incêndio, a segurança no uso e operação, a durabilidade, a manutenção e a adequação ambiental da solução devem ser criteriosamente investigados, a fim de se conseguir uma solução segura, sob os diversos aspectos. Para facilitar o desenvolvimento do projeto à resposta, há algumas questões que podem ser úteis, dentre as quais podemos citar:

- 1 Qual a energia a ser blindada?
- 2 Quais características são necessárias para que o concreto de elevada massa específica apresente um bom desempenho?
- 3 Quais os agregados disponíveis, possíveis de serem utilizados para a produção de concretos de elevada massa específica?
- 4 Como escolher os agregados a serem utilizados?
- 5 Qual tipo de aglomerante é o mais adequado para a aplicação?
- 6 Como estimar o coeficiente de atenuação linear do concreto a ser preparado?

1.1 Identificação do Campo de Atuação do Presente Trabalho

A utilização de concreto de elevada massa específica para a blindagem às radiações gama e X têm aumentado significativamente com o crescimento do uso das radiações ionizantes nas nossas atividades laborais humanas. O crescente desenvolvimento de equipamentos e técnicas de aplicação, em conjunto com a capacidade de consumo das diversas áreas, e o aumento das possibilidades de aplicação das radiações ionizantes, têm demandado a construção de novas e modernas instalações, assim como, conseqüentemente, a execução de blindagens para a proteção das pessoas e do meio ambiente.

Dentre os materiais utilizados como blindagem, o concreto de elevada massa específica apresenta-se, no Brasil, como uma das alternativas viáveis, e tem como fator positivo a similaridade de preparo ao concreto convencional e a tradição local de aplicação de concretos em várias situações.

O concreto de elevada massa específica apresenta um ótimo desempenho para a atenuação das radiações por ter elevada massa específica e poder ser preparado com uma grande combinação de tipos de agregados.

A fácil manutenção, a grande resistência física e a estabilidade química, em conjunto com a disponibilidade de matérias-primas e a facilidade de preparação, fazem do concreto uma ótima opção econômica para uso como barreira de proteção às radiações gama e X.

Significativo também é o fato de que, por apresentar um coeficiente de atenuação linear maior que o do concreto convencional, é possível diminuir a espessura da blindagem na parede, laje, piso ou teto, propiciando um melhor aproveitamento da área utilizada para implantação dos equipamentos de radiação.

Em contra partida, uma das dificuldades encontradas para a sua utilização está no fato de que poucos trabalhos de pesquisa foram publicados ou desenvolvidos no Brasil com a utilização de matérias-primas nacionais.

Para facilitar o entendimento sobre o comportamento do concreto de elevada massa específica preparado com matérias-primas nacionais, e disponibilizar ao meio técnico, dados e informações sobre o comportamento destes frente às radiações gama

e X, desenvolveu-se este estudo sobre o comportamento e a caracterização de concretos com a utilização de matérias-primas disponíveis no território nacional, como cimentos, agregados e materiais de adições.

Concretos de elevada massa específica para uso como blindagem podem ser produzidos com uma ampla combinação de diferentes tipos de agregados, aglomerantes e materiais de adições, que podem apresentar massas específicas equivalentes, composições químicas diferentes e desempenhos distintos.

Fatores como a composição química dos materiais utilizados, a combinação granulométrica deles e o fator de forma⁴ influenciam na composição do traço, pois alteram as combinações e os resultados finais, como massa específica, consumo de matérias-primas e composição química do composto.

Para a prescrição e a aplicação do concreto de elevada massa específica em blindagens, e/ou a utilização de um material ou componente como proteção radiológica, é de suma importância que o projetista conheça o comportamento dos materiais, dos componentes e do produto final quando submetido às solicitações impostas pelo uso. Conhecer o comportamento pode significar um melhor projeto e resultar em um melhor desempenho.

1.2 Finalidades do Trabalho.

Este trabalho visa identificar as matérias-primas minerais naturais, produzidas no Brasil e disponíveis no mercado para aquisição, que atendam às necessidades específicas para serem utilizadas na produção de concretos de elevada massa específica.

Desenvolver uma metodologia para a caracterização, preparo, moldagem e ensaios de concretos de elevada massa específica para a determinação do coeficiente de atenuação linear.

⁴ Fator de forma: relação entre as três dimensões.

1.3 Objetivos do Trabalho.

- a) Efetuar uma pesquisa bibliográfica para identificar o estado da arte no preparo e aplicação de concretos de elevada massa específica.
- b) Desenvolver uma metodologia para a caracterização, preparo, moldagem, ensaios para determinação do coeficiente de atenuação linear experimental, cálculo do coeficiente de atenuação linear teórico e determinação do Z efetivo, culminando com a confecção de um banco de dados embrionário para os concretos de elevada massa específica preparados com matérias-primas nacionais.
- c) Identificar a energia a ser utilizada no desenvolvimento do trabalho.
- d) Obter dados e informações básicas sobre as características das matérias-primas produzidas no Brasil disponíveis e que atendam às necessidades técnicas para uso em concretos de elevada massa específica.
- e) Selecionar matérias-primas para serem utilizadas no presente trabalho.
- f) Caracterizar, física e quimicamente, os agregados, aglomerantes e adições utilizadas para a produção dos concretos a serem avaliados.
- g) Formular traços de concreto de elevada massa específica para serem utilizados na blindagem às radiações gama e X.
- h) Preparar concretos e moldar corpos de prova para o desenvolvimento das pesquisas segundo a metodologia proposta.

- i) Ensaiar os corpos de prova para cada tipo de concreto formulado na energia definida, para medir os coeficientes de atenuação linear e determinar o Z efetivo na região do efeito fotoelétrico.
- j) Calcular os coeficientes de atenuação linear teóricos e determinar o Z efetivo na região do efeito fotoelétrico.
- k) Avaliar os resultados encontrados.

1.4 Justificativa

A utilização do concreto no Brasil está intimamente ligada às estruturas de pontes, viadutos, barragens, torres, edifícios, estações de tratamento, tubulações, estradas, portos, aeroportos e, em uma escala muito menor, à utilização como blindagem às radiações gama e X.

Com o desenvolvimento de novos e modernos equipamentos emissores de radiações gama e X utilizados na medicina nuclear radiodiagnóstica e radioterápica, e também na indústria, a melhora no poder aquisitivo da população no país e o aumento do aparelhamento do sistema de saúde, tem-se disseminado em todo o território nacional o uso das radiações como fonte de energia para as diversas aplicações.

O uso de componentes e fontes emissoras de radiações ionizantes, em virtude de seus efeitos nocivos à saúde quando ultrapassados os limites recomendados, obriga que as instalações sejam controladas e protegidas. Em virtude desses fatos, tanto os equipamentos como as fontes, e todos os materiais de proteção do conjunto, devem atender às normas de proteção e serem aprovados por uma autoridade competente.

Quando há a necessidade de executar e projetar blindagens para a proteção às radiações gama e X, os profissionais envolvidos devem ter conhecimento específico sobre a aplicação. Já que a tarefa é multidisciplinar, envolve conhecimentos sobre uma

série de aspectos, dentre eles podemos citar a necessidade do projetista de conhecer o comportamento dos materiais e componentes empregados.

Quando da realização das pesquisas bibliográficas sobre o estado da arte, verificou-se que no Brasil não se publicaram muitos trabalhos científicos sobre o comportamento dos concretos preparados com matérias-primas nacionais para utilização em blindagem às radiações gama e X.

Dos trabalhos de pesquisas consultados, a grande maioria foi realizada em outros países, com a utilização de matérias-primas oriundas do local onde foram efetuados ou com a aplicação de dados experimentais disponíveis em publicações.

Uma das principais justificativas para o desenvolvimento do estudo realizado é disponibilizar aos interessados informações sobre concretos de elevada massa específica utilizados para a proteção às radiações gama e X, preparados e caracterizados com matérias-primas nacionais.

1.5 Originalidade

A principal inovação do trabalho está no desenvolvimento de uma pesquisa inédita, que identifica, caracteriza, desenvolve e ensaia concretos de elevada massa específica produzidos no país com a utilização de matérias-primas nacionais, preparados de acordo com as normas vigentes e ensaiados na energia de 660 keV com a utilização da metodologia desenvolvida.

Nos trabalhos consultados para a identificação do estado da arte, observamos que em alguns as análises e ensaios realizados foram desenvolvidos com a utilização de agregados e aglomerantes⁵ produzidos em outros países, matérias-primas estas que apresentam composições químicas e características físicas diferentes daquelas encontradas e produzidas no Brasil.

⁵ No caso, o cimento Portland, que é definido pela ASTM C 150 como cimento hidráulico produzido pela moagem de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos em uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sinterizado que é produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida em altas temperaturas.

A composição química e as características físicas dos materiais encontrados no Brasil utilizados para a produção de concretos de elevada massa específica diferem daquelas dos materiais usados e encontrados em outros países. Como o desempenho dos concretos de elevada massa específica dependem, dentre outros aspectos, da composição química do composto, o comportamento dos concretos produzidos com matérias-primas nacionais podem apresentar desempenhos diferentes quando eles são submetidos às radiações gama e X.

A prescrição e a aplicação de concretos de elevada massa específica para a proteção às radiações gama e X depende de informações básicas, como disponibilidade de matérias-primas e localização das fontes produtoras, composição dos agregados, traços utilizados e desempenho.

No âmbito do trabalho tratou-se de investigar a importância que a composição química e as características físicas dos componentes têm na formação dos coeficientes de atenuação linear experimental do concreto.

Sugere-se que a escolha dos componentes e a formulação do traço de concreto a ser empregado para a proteção radiológica possam ser realizadas em função do tipo de interação predominante para a faixa de energia à qual será submetido, e, através do cálculo da seção de choque teórica, fato que é uma novidade no meio, escolher a melhor combinação de agregados e aglomerantes em função, dentre outros aspectos, da seção de choque resultante para o efeito predominante na faixa de energia da aplicação.

Complementando o trabalho, montou-se um banco de dados embrionário com as informações coletadas para concretos preparados com matérias-primas nacionais, que será disponibilizado aos interessados e poderá ser alimentado constantemente, servindo como fonte de informação e referência ao meio técnico e científico.

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Proteção radiológica

Para garantir a segurança dos indivíduos laboralmente expostos, pacientes e indivíduos do público, com o cumprimento das prescrições impostas pelas normas, é de suma importância o desenvolvimento de estudos de otimização que envolvam as rotinas e os projetos para abrigar a instalação de equipamentos emissores de radiação gama e X.

O desenvolvimento de um projeto de proteção a radiações é tarefa multidisciplinar, envolve profissionais de diversas áreas, com conhecimento específico da fonte de radiação e do comportamento dos materiais submetidos a esta, com o objetivo de atender às prescrições e garantir o desempenho da atividade.

Quando se projeta uma estrutura para atuar como proteção às radiações ionizantes, deve-se ter como principal objetivo a limitação das radiações a valores aceitáveis, dentro dos limites apropriados e viáveis. Inúmeros materiais e arranjos podem ser compostos, porém, aspectos físicos, econômicos, sociais e ambientais devem ser analisados e otimizados, e a viabilidade da solução deve estar embasada em critérios técnicos econômicos e sociais.

Para a escolha do material a ser empregado na construção da proteção o projetista deve previamente avaliar dentre outros o comportamento dos materiais e dos componentes frente aos vários tipos de energia e ao fluxo de radiações a que serão submetidos. O desempenho estrutural, a segurança contra incêndio, a segurança no uso e operação, a durabilidade, a manutenção e a adequação ambiental da solução devem ser criteriosamente investigados, a fim de se conseguir uma solução segura sob os diversos aspectos.

A proteção às radiações pode ser realizada de várias maneiras diferentes, a saber:

A) Diminuindo o tempo de exposição à fonte de radiação.

- B) Aumentando a distância entre a fonte de radiação e os indivíduos.
- C) Interpondo barreiras entre a fonte de radiação e os indivíduos, fazendo uso de materiais atenuadores da radiação.
- D) Fazendo uso de duas, das três metodologias citadas.

A primeira metodologia de proteção é excelente, mas tem na diminuição do tempo de exposição o fator limitante, uma vez que em muitas aplicações o valor da exposição resultante é diretamente proporcional ao tempo de exposição.

A aplicação da segunda metodologia está limitada ao espaço disponível para a instalação de equipamentos e às condições de trabalho e manuseio de instrumentos e ferramentas. Se por um lado a radiação decresce diretamente com a diminuição do quadrado da distância, por outro, os espaços para a instalação de equipamentos é limitado, e o manuseio de pinças e aparelhos auxiliares fica difícil com o aumento da distância do operador à fonte objeto do trabalho.

Porém, quando estas duas metodologias não são suficientes para atenuarem a radiação ao valor desejado, é necessário introduzir a terceira, isto é, a interposição de barreiras entre a fonte de radiação e/ou os equipamentos e indivíduos.

2.1.1 Utilização de barreiras de proteção para atenuação das radiações gama e X.

Quando definida a necessidade da utilização das barreiras às radiações (blindagens) como parte indispensável para a proteção e operação em instalações de equipamentos geradores, inicia-se o trabalho de projeto da estrutura física necessária a desempenhar tal papel na construção.

Em se tratando de instalações de blindagem para a radioproteção, pode-se afirmar que, dentre os componentes utilizados na construção civil, os que têm maior impacto sobre os custos das obras são as blindagens.

Não diferentemente de outros países, no Brasil empregam-se vários tipos de materiais para a construção de proteções à radiação ionizante. Quando se trata de fótons de menor energia, em geral, a absorção fotoelétrica aumenta com o incremento

do número atômico efetivo, e decresce com o aumento da energia da radiação (2). São utilizadas então pequenas espessuras, e são empregados materiais como revestimentos de argamassas com a utilização de barita como agregado miúdo e aditivos especiais, geralmente aplicados sobre uma estrutura já existente, como alvenaria, painéis de concreto ou gesso acartonado.

Quando da necessidade de proteções para faixas de energias mais elevadas, situação em que são observados principalmente os efeitos fotoelétrico e Compton, a blindagem geralmente requer maiores espessuras, o concreto de massa específica normal, cuja massa específica é determinada entre $2,0 \text{ kg/dm}^3$ e $2,8 \text{ kg/dm}^3$ (3), é bastante empregado. Já em menor número de aplicações são utilizados os concretos de massa específica elevada com massa específicas superior a $2,8 \text{ kg/dm}^3$.

As chapas de chumbo, os painéis de aço e vidros pumblíferos são materiais também utilizados para a proteção às radiações ionizantes, e têm seu emprego restrito a áreas específicas em virtude do seu elevado custo.

2.1.2 Desenvolvimento de um projeto de radioproteção.

O desenvolvimento de um projeto para proteção às radiações gama e X é tarefa que envolve aspectos físicos, químicos, econômicos, ambientais e legais.

Definido que a proteção será realizada com a utilização do concreto de elevada massa específica, algumas questões devem ser respondidas e avaliadas para que o concreto desenvolvido seja adequado.

Qual o concreto adequado à radiação que deverá atenuar?

Qual o efeito predominante na interação da radiação utilizada com a matéria?

Quais as matérias-primas disponíveis para a produção de concretos de elevada massa específica?

Quais são os coeficientes de atenuação linear dos concretos preparados no Brasil, com matérias-primas nacionais?

Qual o custo de produção destes concretos?

2.2 Concretos como blindagem às radiações gama e X.

2.2.1 Uso do concreto como proteção às radiações gama e X.

Dentre os materiais utilizados no Brasil como barreira às radiações ionizantes, o concreto convencional é muito usado, e tem como vantagens o pequeno custo de aquisição, a tradição construtiva deste material, que é utilizado em grande escala no país para a execução de estruturas de edifícios, e a disponibilidade de matérias-primas disponíveis em quase todas as regiões do país.

Porém, algumas dificuldades podem ocorrer quando a escolha é a de utilizar concreto convencional para a proteção às radiações ionizantes; dentre elas podemos citar a falta de homogeneidade do material quando aplicado e o baixo coeficiente de atenuação linear, que pode comprometer a eficácia da proteção, tornando necessária a construção de paredes ou lajes com grandes espessuras para obtenção de uma proteção adequada, fazendo com que uma parte da área disponível para a instalação dos equipamentos e operação seja consumida pela área da parede, o que provoca um aumento do custo específico da construção em função da diminuição da área útil.

A escolha pelo concreto de elevada massa específica é uma escolha cuja ênfase é o desempenho, e pode proporcionar a diminuição da área ocupada pela parede e uma economia de área.

2.2.2 Concreto de elevada massa específica.

Segundo Metha & Monteiro “Concretos pesados geralmente são produzidos com o emprego de agregados naturais pesados. Os pesos específicos do concreto variam de 3.360 a 3.840 kg/m³, que é aproximadamente 50% mais alto do que o peso específico do concreto contendo agregados de peso natural” (3)

Concretos de elevada massa específica são produzidos similarmente aos concretos de massa específica normal, formados por uma mistura de aglomerantes, agregados, adições e aditivos, porém, para a produção de concretos de elevada massa específica, é necessária a utilização de agregados de elevada massa específica.

Normalmente os agregados de elevada massa específica são minerais com presença acentuada de óxido de elementos químicos densos.

Os aglomerantes utilizados para o preparo dos concretos de elevada massa específica podem ser escolhidos entre os diversos tipos de cimentos Portland, produzidos e comercializados no Brasil, da mesma maneira os aditivos e as adições.

2.2.3 Importância da caracterização das matérias-primas empregadas.

Primeiramente, é fato que as matérias-primas utilizadas para a produção de concretos, quer para a fabricação dos aglomerantes, quer para a produção dos agregados, são de origem mineral, cuja exploração se faz em jazidas distribuídas pelo território nacional, jazidas estas que apresentam formações geológicas distintas, e, conseqüentemente, podem apresentar diferentes teores e combinações de elementos, e a composição química dos minerais produzidos pode variar significativamente em função das condições locais e da maneira como são explorados.

Grandes variações nos teores dos elementos presentes nos minerais podem alterar o comportamento do concreto preparado quando utilizado como blindagem, pois variações dos teores dos elementos presentes alteram a seção de choque do composto, e, conseqüentemente, o coeficiente de atenuação linear para as radiações gama e X.

Para a prescrição dos agregados a serem utilizados no concreto para a blindagem é importante que se faça a caracterização química e física das matérias-primas. Matérias-primas de mesma massa específica podem comportar-se diferentemente quando submetidas a um fluxo de radiações, como exemplo podemos citar as seções de choque do Cálcio e da Sílica, dois elementos comumente encontrados nos agregados de construção civil, utilizados para o preparo de concretos. Estes elementos apresentam uma variação significativa em suas seções de choque quando se trata da atenuação de pequenas energias, afetando diretamente na formação do coeficiente de atenuação linear ainda que apresentem massa específica similares.

2.2.4 Propriedades físicas e químicas das matérias-primas

A escolha e a definição das matérias-primas a serem utilizadas para a produção de concretos de elevada massa específica têm grande influência sobre o comportamento do concreto quando submetido às radiações gama e X. É de suma importância que o profissional que definirá o traço⁶ de concreto conheça as características químicas e físicas das matérias-primas utilizadas, pois o desempenho do concreto frente às radiações depende das características químicas e físicas dos componentes utilizados. A combinação dessas características dará a massa específica e o número atômico efetivo do composto.

Convém lembrar que, conforme mencionado anteriormente, os componentes a serem utilizados para o preparo de concretos devem atender às normas técnicas existentes.

Concretos são produzidos com a utilização de matérias-primas locais, isto é, preferencialmente disponíveis na região onde serão preparados, em virtude do grande impacto que o frete tem sobre o preço final da matéria-prima.

Para a produção de concretos de elevada massa específica é de suma importância que se utilizem agregados de elevada massa específica, porém estes

⁶ Traço, termo dado à receita do concreto, a quantidade necessária de cada elemento químico para a produção dele.

agregados geralmente são minérios de ferro, e não estão disponíveis em todas as regiões do país.

Características como granulometria e forma dos agregados são fatores que devem ser bem avaliados, pois interferem na composição dos preços e no desempenho do concreto.

2.2.5 Aglomerantes

Os aglomerantes utilizados para a produção de concretos de elevada massa específica podem influir da mesma maneira que os agregados, variações na composição química dos cimentos podem provocar variações na massa específica e alterar o Z efetivo dos concretos, alterando a seção de choque e influenciando o coeficiente de atenuação linear.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (4), “O mercado nacional dispõe de oito opções, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras”.

2.2.6 Adições

Segundo Maristela Gomes da Silva, “Adições de materiais finamente moídos, ao concreto, normalmente chamados de adições minerais são utilizados por razões que vão desde a melhoria da trabalhabilidade do concreto no estado fresco até a garantia da durabilidade necessária as condições de serviço”. (5)

As adições minerais podem ser divididas em três grandes categorias, quais sejam materiais cimentícios, como escórias de alto forno, materiais pozolânicos, como as cinzas volantes, sílica ativa, entre outros, e materiais não reativos, como o fíler de calcário.

As adições podem ser realizadas na produção do cimento, na produção do concreto e/ou combinada em ambas as fases.

No Brasil, os principais materiais de adição disponíveis no mercado são a Microsilica, o Metacaulin e o Filer Calcário.

As aplicações no Brasil são realizadas na maioria das vezes quando da mistura do concreto.

2.2.7 Aditivos

Os aditivos para concreto têm como finalidade básica aumentar a trabalhabilidade, diminuir o fator água e aglomerante, diminuindo o consumo de cimento e mantendo a resistência, alterar o tempo de reação, aumentar o empacotamento, diminuir a permeabilidade, aumentando a durabilidade, e, no caso de nosso trabalho, aumentar a seção de choque para as radiações gama e X.

De acordo com a NBR 11768 (6) os aditivos são classificados de acordo com o tipo e finalidade.

Concretos de elevada massa específica sofrem grande ação das forças de gravidade em razão da elevada massa específica do agregado, que provoca um aumento do atrito interno dos materiais que, para minimizar, requerem um aumento do teor de argamassa e, conseqüentemente, um aumento de cimento, cujo objetivo é minimizar o efeito do atrito entre os agregados.

Normalmente, com o aumento do teor de argamassa o teor de finos aumenta, e pode haver necessidade de se utilizar fatores de água aglomerante, mais elevados.

O aumento do consumo de água pode provocar um aumento no volume de vazios e diminuir a massa específica, condição que, para concretos destinados a blindagem das radiações gama e X, em determinadas energias, pode não ser desejada.

A utilização de um aditivo redutor de água superplastificante pode ser uma alternativa para não se aumentar o fator água aglomerante a níveis inadequados, porém, para concretos de elevada massa específica há de se observar o efeito da densidade do agregado.

2.2.8 Agregados para concreto

No Brasil, a ABNT (Associação Brasileira de Norma Técnica), através de normas específicas, define os critérios para aceitação, classificação, caracterização e aplicação destes materiais no concreto convencional, sendo as normas NBR 9935 (ABNT-1987) (7), Agregado - Terminologia e a NBR 7211 (ABNT – 1983) (8), Agregado para Concreto. Elas fixam as características exigíveis na recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos, de origem natural já encontrados fragmentados ou resultantes do britamento de rochas destinados à produção de concretos.

As prescrições específicas da norma citada referem-se aos agregados sobre os quais o consumidor dispõe de histórico de desempenho em concretos de qualidade similar e em condições de exposição equivalentes às do concreto previsto.

Para os agregados sobre os quais não existem antecedentes de desempenho ou que vão ser utilizados pela primeira vez, ou para as regiões em que não seja economicamente possível a obtenção de agregados que preencham as condições desta norma, o consumidor poderá utilizá-los, desde que se comprove, mediante parecer, baseado em estudo experimental, que com os agregados disponíveis poder-se-á produzir concreto de qualidade satisfatória.

2.2.8.1 Condições gerais.

A) Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos, não devem conter substâncias de natureza, e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. O exame petrográfico, realizado de acordo com a NBR 7389 (9) e interpretado por profissional capacitado, fornece ao consumidor alguns dos subsídios necessários para o cumprimento destas condições.

B) Os agregados para uso em concreto ou argamassas que estarão sujeitos a umedecimento, incluindo-se a exposição à atmosfera úmida ou contato com o solo úmido, não devem conter qualquer material deletoriamente reativo com os álcalis do cimento em uma intensidade suficiente para causar uma expansão da argamassa e/ou do concreto, exceto nos casos em que o cimento empregado contiver menos que 0,6% de equivalente alcalino expresso em Na_2O e for adicionado de substâncias que comprovadamente previnam a expansão prejudicial devido à reação álcali-agregado.

No caso dos concretos com cimento Portland, as diferentes características encontradas nos agregados interferem nas propriedades dos concretos. Na tabela (1), apresentada a seguir, são mostradas as relações entre estas características.

Tabela 1 - Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado adaptada (10)

Propriedades do Concreto	Características Relevantes do Agregado
Resistência mecânica	Resistência mecânica Textura superficial Limpeza Forma dos grãos Dimensão máxima Porosidade Superfície específica Granulometria
Retração	Módulo de elasticidade Forma dos grãos Textura superficial Limpeza Dimensão máxima Superfície específica Granulometria
Massa Unitária	Massa específica Forma dos grãos Granulometria Dimensão máxima Superfície específica
Módulo de elasticidade	Granulometria Módulo de elasticidade Coeficiente de Poisson
Resistência a derrapagem	Tendência ao polimento
Economia	Forma do grão Granulometria Dimensão máxima Beneficiamento requerido Disponibilidade Constancia de fornecimento

No caso dos concretos de elevada densidade, algumas destas características interferem de forma mais acentuada, dentre elas podemos citar a densidade, a forma dos grãos e a composição química do mineral.

2.2.8.2 Agregados de elevada massa específica.

Segundo Metha & Monteiro (3) “Os agregados são relativamente baratos e não entram em complexas reações químicas com a água. Por isso, tem sido comumente tratados como material de enchimento inerte do concreto. No entanto, devido a uma melhor compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de

muitas propriedades importantes do concreto, a visão tradicional do agregado como um material inerte vem sendo seriamente questionada”.

“Comparados ao concreto com agregado de peso normal, com massa específica típica de 2.400 kg/m^3 , concretos pesados variam de 2.900 a 6.100 kg/m^3 e são principalmente usados para a blindagem de radiação nuclear.”

Ainda segundo o autor acima citado (3) a massa específica dos agregados de elevada densidade variam de $3,4$ a $7,8 \text{ g/cm}^3$.

Tratando de concretos de elevada massa específica, para a blindagem às radiações gama e X as características dos agregados ganham importância ainda maior graças a grande influência que a composição química deles tem na determinação do coeficiente de atenuação linear (seção de choque).

Quando o concreto de elevada massa específica é destinado à blindagem, a escolha das matérias-primas a serem utilizadas deve ser feita em função da composição química do elemento que deve possuir seção de choque mais elevada para o efeito predominante.

Da mesma maneira que os agregados utilizados para a produção do concreto normal, os agregados utilizados para a produção dos concretos de elevada massa específica devem atender às prescrições impostas pelas normas acrescidas das complementares.

2.2.8.2.1 Classificação dos agregados de elevada massa específica.

No Brasil ainda não dispomos de uma norma específica que trate das características necessárias para os agregados a serem utilizados em concretos de elevada massa específica para atenuação às radiações, porém, as normas ASTM C 637 – 73 (11) e 638 – 73 (12) tratam respectivamente da nomenclatura empregada e das especificações dos agregados para aplicação em concretos de elevada massa específica.

Segundo a ASTM 638-73 (11) os agregados são classificados em naturais ou artificiais de elevada massa específica e materiais sintéticos ou vidros com substancial presença de boro.

No presente trabalho utilizamos como agregados os agregados minerais naturais de elevada massa específica, que são, em sua maioria, formados por barita e minérios de ferro, sendo os principais a hematita, a barita e a magnetita, cujas características físicas e químicas são apresentadas no Anexo 1.

2.2.9 Formulação do traço de concreto

“Para se obter concreto com determinadas características de desempenho, uma criteriosa seleção dos materiais componentes é o primeiro passo. O passo seguinte é um processo chamado dosagem de concreto, que significa encontrar a combinação correta dos componentes” (3).

Os traços de concreto são desenvolvidos com o objetivo de atenderem às características necessárias para a utilização.

Normalmente em estruturas no Brasil as preocupações são com a resistência à compressão e durabilidade.

Para o caso específico do nosso trabalho, devemos adicionar às características acima mencionadas uma elevada seção de choque ao efeito fotelétrico e Compton.

Os traços de concreto também são formulados em função do tipo de matérias-primas e cimentos disponíveis na região que se pretende produzir o concreto, sendo o custo das matérias-primas e do cimento um dos fatores mais importantes.

A trabalhabilidade ou condição que o concreto apresentará depois de misturado no momento da aplicação é um dos itens que tem grande importância quando se formula um traço de concreto e se busca um desempenho adequado, pois além dos aspectos econômicos tem influência sobre a condição em que o concreto apresentará depois de curado.

Quando se utilizam agregados de elevada massa específica, a ação da força da gravidade proveniente da elevada massa dos agregados e a forma dos grãos

dificultam o escoamento do concreto em virtude do aumento do atrito entre os agregados. Para a obtenção de uma boa trabalhabilidade é necessário, dentre outros aspectos, escolher agregados com forma adequada, fazer uma boa combinação de granulometrias e utilizar elevado teor de argamassa.

As técnicas de formulação de traços de concreto normais baseiam-se na escolha da combinação adequada entre agregados, aglomerantes e adições, que são combinados para se obter uma mistura de componentes que produzam um concreto com características como trabalhabilidade, resistência, massa específica, baixa permeabilidade etc.

Para o desenvolvimento dos traços de concretos algumas técnicas foram elaboradas no decorrer do tempo.

Segundo Paulo Helene e Tutikian (13) “Vários são os métodos de dosagem disponíveis na literatura especializada. Considera-se, no entanto, que o método proposto inicialmente por Eládio Petrucci (1965) e posteriormente modificado com contribuições de pesquisadores do IPT, Prizskulnik, Kirilos, Terzian e Tango, e da EPUSP, Helene, é um dos métodos mais versáteis, simples e capazes de fornecer uma resposta profícua aos requisitos exigidos de um concreto, atendendo tanto às exigências técnicas dos projetistas estruturais, quanto às econômicas, de sustentabilidade e de produtividade dos construtores e usuários dos concretos”.

O método, na sua versão atual, busca obter o comportamento mecânico e reológico do concreto de forma unívoca com os materiais escolhidos. É um método que pode classificar-se como teórico-experimental, em que há uma parte experimental de laboratório precedida por uma parte analítica de cálculo baseada em leis de comportamento dos concretos.

O método considera a relação água e cimento como o parâmetro mais importante para o concreto estrutural. Definidos os materiais e a relação entre a quantidade de água utilizada para a produção do concreto e a de cimento, a resistência e durabilidade do concreto passam a ser únicas, sempre que seja mantida a mesma trabalhabilidade da mistura.

Esse método não exige conhecimentos prévios sobre o cimento, as adições e os agregados, apesar de que, sob o ponto de vista da durabilidade, sempre é conveniente contar com informação de ensaios prévios de laboratório, como:

reatividade álcali-agregado, presença de sulfatos, de matérias carbonosas, presença de pó e de argila, granulometria e outros.

É um método que combina conceitos teóricos de comportamento do concreto de uma forma analítica desenvolvida em gabinete, mas continua requerendo um estudo experimental em laboratório. Esse experimento, nesse caso, é fundamental, pois, ao se fixar o mesmo abatimento para diferentes proporções de teor de argamassa seca, pretende-se encontrar a mínima quantidade de água para obter a trabalhabilidade especificada. Dessa forma, é otimizada a proporção entre agregados miúdos e graúdos com bases experimentais nas quais está implicitamente incluída a interferência do cimento, agregados, adições e de outros materiais utilizados.

Isso lhe confere uma vantagem em relação a outros métodos que apenas tratam de otimizar, por separado, por um lado, a mistura de agregado miúdo/agregado graúdo com bases em curvas granulométricas ideais, e por outro a pasta de cimento, adições e aditivos, esperando que, assim, isoladamente otimizadas, conduzirão a um concreto ótimo ao serem juntadas na betoneira.

Segundo Aitcin (15), “Como foi mostrado, no presente estado da arte, a fabricação com sucesso de concreto de alto desempenho depende de uma combinação de regras empíricas derivadas da experiência, do trabalho de laboratório e de uma grande dose de senso comum.”

2.3 Interação da radiação eletromagnética e gama com a matéria.

2.3.1 Introdução

Segundo Brownell & Hine (16) “Quando a radiação eletromagnética passa através da matéria, às partículas do material podem absorver parte da energia da radiação. Energias eletromagnéticas intermediárias interagem somente com elétrons livres ou quase livres do átomo, energias elevadas interagem com o núcleo do átomo.”

A interação da radiação com a matéria é complexa, depende da natureza do processo que ocorre e está vinculado à energia da radiação e ao número atômico do

material. Os principais efeitos que ocorrem com a interação da radiação com a matéria são o efeito fotoelétrico o espalhamento Compton e produção de pares.

Figura. 1 – Absorção exponencial para o Cobre para fótons de energia de 1 MeV para um coeficiente de atenuação linear $\mu = 0,524 \text{ cm}^{-1}$. Adaptada de Brownell e Hine (15).

Supomos que um equipamento grave a contagem do número de fótons N_0 que sai da fonte e consegue passar pelo colimador sem ser desviado por unidade de tempo em um ponto P, ver na figura (1), sem o material absorvedor.

Se um absorvedor de espessura dX for colocado entre a fonte de radiação e o detector, o número dN , equação (1), representa o número de fótons absorvidos ou desviados do caminho que não atingem o ponto P. Portanto dN , o número de fótons removidos, depende diretamente do número presente antes da interação e da espessura do absorvedor dX . Se dN dobra, o número de fótons absorvidos ou desviados do caminho dobra, e a espessura dX dobra. Matematicamente então,

$$dN = -\mu N dx \quad (1)$$

sendo μ é a constante de proporcionalidade chamada de coeficiente de atenuação linear.

Mais usual é escrever a equação (2) em função da mudança de intensidade de energia do feixe, dI , e da intensidade de entrada, I . A intensidade é medida em função

do número de fótons que incidem e do número de fótons que atravessam por unidade de área e pode ser expresso em $\text{ergs/cm}^2\text{--seg}$. Então teremos:

$$dI = -\mu dX \quad (2)$$

O sinal negativo é incluído porque quando aumenta o feixe não colidido dI diminui.

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \quad (2a)$$

$$\int_0^I \frac{dI}{I} = -\int_0^x \mu dX \quad (2b)$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x \quad (2c)$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (2d)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2e)$$

Supondo um feixe colimado como exposto na figura (1) parte direita superior, incidindo sobre um material absorvedor e em seguida na mesma direção um detector, a equação que nos fornece a intensidade de energia dos raios que não sofreram nenhuma interação com o absorvedor é dado pela equação (3), desde que a espessura do material seja inferior ou igual a um caminho livre médio da radiação no próprio material.

$$I(E_0) = I_0(E_0) e^{-\mu x} \quad (3)$$

onde:

$I(E_0)$ é a intensidade de energia para a radiação ionizante eletromagnética com energia inicial que não colidiu no material absorvedor e alcançou o detector.

$I_0(E_0)$ é a intensidade de energia para a radiação eletromagnética que incide sobre o material absorvedor.

μ é o coeficiente de atenuação linear em unidades de cm^{-1} .

X é a espessura do material absorvedor em cm.

A espessura do absorvedor deve ser pequena, isto é, menor ou igual a $\frac{1}{\mu}$ cm.

Nesse caso diz-se que temos condições de boa geometria, e seu valor é conhecido como caminho livre médio entre duas interações sucessivas.

Se o absorvedor tiver uma espessura maior do que um caminho livre médio haverá a possibilidade da radiação ionizante eletromagnética sofrer mais de uma interação, e se houve espalhamento a radiação resultante poderá alcançar o detector com uma energia E menor do que a inicial E_0 , mas que será somada ao feixe não colimado. Nesse caso é chamada de má geometria ou geometria pobre, e, portanto, o receptor receberá uma intensidade dada pela equação (4).

$I(E) > I(E_0)$ e, a equação inicial (3) se tornará $I(E) = BI_0(E_0)e^{-\mu x}$ (4), onde:

B é conhecido como fator de crescimento, em inglês “Build-Up”.

Para se determinar o real $I(E)$ deveríamos ter um detector espelho que receba toda a radiação eletromagnética espalhada pelo absorvedor além daquela que não sofreu colisão.

2.3.2 Coeficiente de atenuação linear eletrônico, atômico e massa.

Desde que a interação da radiação com a matéria envolva elétrons e átomos do material, é mais usual obter-se o coeficiente de atenuação linear por elétron de preferência por centímetro de espessura de material. O coeficiente de atenuação linear por centímetro de espessura de material naturalmente depende da massa específica do material, ao passo que o coeficiente de atenuação linear por elétron é independente da condição física ou do estado químico do material.

Outros coeficientes de atenuação usuais utilizados são o coeficiente de atenuação de massa e o coeficiente de absorção de massa. Estes coeficientes são relacionados com a massa do material (ρ), o número atômico (Z), a massa atômica (A) e o número de Avogadro ($N=6,02 \times 10^{23}$).

Considerando a espessura do material 1 cm e a área 1 cm², este centímetro cúbico terá a massa de ρ gramas. Conterá $\frac{N}{A}\rho$ átomos e $\frac{N}{A}\rho Z$ elétrons. Portanto, as relações entre o coeficiente de atenuação linear e os demais, isto é, coeficiente de atenuação mássico, coeficiente de atenuação linear atômico e coeficiente de atenuação linear eletrônico são os que seguem com suas respectivas dimensões.

Coeficiente de atenuação Linear = μ cm⁻¹

Coeficiente de atenuação linear Massa = $\frac{\mu}{\rho}$ cm² g⁻¹

Coeficiente de atenuação linear Atômico = $\frac{\mu}{\rho} \frac{A}{N}$ cm² átomo⁻¹

Coeficiente de atenuação linear Eletrônico = $\frac{\mu}{\rho} \frac{A}{N} \frac{1}{Z}$ cm² elétron⁻¹

Na tabela (2), apresentada a seguir o número atômico, a massa específica e o número de elétrons por grama é dado para alguns materiais comuns.

O número de elétrons por grama é dado por $N(Z/A)$, mostrado na última coluna, é muito próximo para todos os materiais listados menos para o hidrogênio. Para a maioria dos materiais de pequeno número atômico Z/A são muito próximos a 0,50. A

relação cai aos poucos com o incremento de Z até 0,39 para o urânio. Consequentemente, o coeficiente de absorção de massa pode ser obtido, aproximadamente, usando o fator 3×10^{23} para a maioria dos materiais.

No exemplo da tabela (2), o coeficiente de absorção linear do cobre é $0,524 \text{ cm}^{-1}$, o coeficiente de absorção de massa é $0,0587 \text{ cm}^2/\text{g}$, o coeficiente de absorção atômico $6,20 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{átomo}$ e o coeficiente de absorção eletrônico $0,214 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{electron}$. Os resultados são derivados das equações apresentadas acima, onde para o cobre a massa específica é $\rho = 8,93$, $A = 29$ e $N = 6,02 \times 10^{24}$.

Tabela. 2 – Massa específica, massa atômica, número atômico, número de elétrons por grama para vários materiais. Adaptada (16).

Densidade, Massa Atômica, Número Atômico, e Densidade Eletrônica, para Vários Materiais				
Material	Densidade	Massa Atômica	Número Atômico	Número de elétrons
	g/cm^3	A	Z	elétrons/g
Hidrogenio	0,0000899	1,008000	1,00	5,97
Carbono	2,2500000	12,010000	6,00	3,01
Nitrogenio	0,0012510	14,008000	7,00	3,01
Oxigenio	0,0014290	16,000000	8,00	3,01
Aluminio	2,7000000	26,970000	13,00	2,90
Cobre	8,9000000	63,570000	29,00	2,75
Chumbo	11,3500000	207,210000	82,00	2,38
Uranio	18,7000000	18,700000	92,00	2,33
Ar	0,0012930	0,001293	7,64	3,03
Agua	1,0000000	1,000000	7,42	3,34

Os coeficientes de absorção atômico e eletrônico têm dimensões de área. Por esta razão eles são chamados de seções de choque.

Se multiplicarmos a seção de choque pelo número de elétrons em um centímetro cúbico de um material teremos a área total dos elétrons em um centímetro cúbico que é igual ao coeficiente de atenuação linear. O coeficiente de absorção eletrônico é idêntico à seção de choque, e este termo pode ser usado para expressar a mesma coisa. Em física nuclear o termo “barn” é considerado como unidade da seção de choque e equivale a 10^{-24} cm^2 .

2.3.3 Efeito fotoelétrico

Para fótons de pequena energia, isto é, inferiores a cerca de 0,1 MeV com meios absorvedores de número atômico, Z , médio ou elevado, predomina o processo de interação denominado fotoelétrico.

A interação se dá com os elétrons ligados ao átomo nas suas camadas mais internas K, L..., portanto é considerado como uma interação do átomo como um todo. Foi verificado experimental e teoricamente que cerca de 80% das interações se dá na camada K, e os restantes 20% nas demais camadas.

O que ocorre é que o fóton, interagindo com o átomo, expulsa um elétron preferencialmente da camada K com uma energia cinética $E_0 = h\nu - B_e$ (5).

Sendo:

E_0 é a energia cinética do elétron ejetado.

$h\nu$ é a energia do fóton incidente.

B_e é a energia de ligação do elétron ao átomo.

Nesse caso, o fóton desaparece, e, pela conservação da quantidade de movimento, há um recuo do átomo.

Como ao átomo falta um elétron da camada K, outro elétron das camadas mais externas sofre transição para a camada K e emite um raio X característico de energia pequena igual a diferença entre as duas energias de ligação das camadas envolvidas.

Em virtude disso, supõe-se que toda a energia do fóton foi absorvida e não há espalhamento, isto é considera-se que esta pequena energia é localmente absorvida.

A probabilidade absoluta de uma interação fotoelétrica é descrita pela seção de choque atômica. $\sigma \tau$ cm²/átomo.

A maior probabilidade de ocorrência do processo fotoelétrico se dá com energias do fóton logo acima da energia de ligação do elétron de interação e diminui abruptamente com o aumento da energia até alcançar a energia de ligação da camada seguinte.

Para uma orientação grosseira podemos considerar como aproximação grosseira o resultado dado pela aplicação da equação (6).

$$_a\tau \cong \text{const} \frac{Z^4}{(h\nu)^3} \quad (6)$$

2.3.4 Espalhamento Compton.

Enquanto o processo fotoelétrico só pode ocorrer com os elétrons ligados ao átomo, o processo Compton ocorre com um elétron livre ou fracamente ligado. Dessa maneira, enquanto a interação fotoelétrica se dá com um átomo como um todo, o espalhamento Compton se dá com os elétrons das camadas de menor energia de ligação ou elétrons livres.

No processo Compton um fóton com energia $h\nu$ colide com um elétron em movimento e ele, próprio fóton, é espalhado com uma energia menor $h\nu'$.

O processo é ilustrado na figura (2) a seguir, em que são mostradas as energias T e as quantidades de movimento P , antes e depois da interação.

Figura. 2 – Colisão do fóton com energia $h\nu$ com um elétron livre no processo Compton.

Adaptada de Brownell & Hine (16).

2.3.5 Produção de pares.

A energia associada a um elétron em repouso, como já vimos é $m_0c^2 = 0,51MeV$.

Um fóton com energia maior do que $2m_0c^2 = 1,02MeV$ pode interagir com o núcleo de um átomo e desaparecer, formando dois elétrons, um positivo, pósitron, e outro negativo, elétron com energias cinéticas T_- e T_+

Na figura (3) é apresentado o processo de produção de pares.

Figura. 3 – Processo de produção de pares. Adaptada de Brownell & Hine (16).

Nessa interação o núcleo adquire uma quantidade de movimento indeterminado e uma energia cinética desprezível. Da conservação de energia equação (6), temos:

$$h\nu - 2m_0c^2 = T_- + T_+ \quad (6)$$

Dessa maneira, se um fóton tiver 10 MeV de energia, o pósitron e o elétron dividirão 9 MeV de energia cinética restantes de diferentes maneiras que dependerá dos ângulos em que eles emergirão.

2.3.6 Seção de choque para a energia utilizada.

Como no trabalho de pesquisa em apreço só usaremos uma fonte emissora gama com energia de 660 keV, não haverá produção de pares e, portanto, não entraremos em mais detalhes sobre o assunto.

Dessa maneira, o nosso coeficiente de atenuação linear mássico atômico ${}_a\mu$, poderá ser representado por equação (7):

$${}_a\mu = {}_a\tau + {}_a\sigma \quad (7)$$

${}_a\tau$ é o coeficiente de atenuação linear mássico para o efeito fotoelétrico.

${}_a\sigma$ é o coeficiente de atenuação linear mássico para o espalhamento Compton.

Como estes processos de atenuação possuem probabilidades diferentes para cada energia dos fótons, na figura (4), da energia do fóton contra o número atômico do absorvedor construímos duas linhas nas quais as probabilidades de ocorrer o processo são iguais. Isso faz com que a figura fique dividida em três regiões de maior probabilidade de cada processo.

Figura. 4 – Importância relativa dos três principais tipos de interação para radiação γ . Aptada de Evans. (2)

2.3.7 Fator de crescimento “Buildup-Factor”.

Retornando novamente ao caso de geometria de irradiação pobre, podemos definir o fator de crescimento como a razão do fluxo real de radiação gama que pode ser calculado a partir da simples atenuação exponencial, usando o coeficiente de atenuação linear.

Nesse caso, a dose E detectada equação (8), no instrumento após o material absorvedor, será dada por;

$$E = \frac{S_0 B^e^{-\mu x}}{\Gamma 4\pi r^2} \quad (8)$$

Sendo:

E é a taxa de dose efetiva.

S_0 é a fonte puntiforme de radiação gama (fótons por segundo).

B é o fator de crescimento, adimensional.

μ é o coeficiente de atenuação linear (recíproco de comprimento cm^{-1})

x é a espessura do material absorvedor colocado entre a fonte de radiação e o receptor.

Γ é a constante específica da radiação gama

r é a distância fonte, receptor.

Calculo de B

Os melhores dados de fatores de crescimento para uma fonte isotrópica puntiforme, emissora gama em um meio infinito são aqueles fornecidos no relatório NYO 3075 (17) e por Rockwell (18).

a) Estes dados foram apresentados no relatório WAPD-TN-217 (19) e foram ajustados a uma somatória de exponenciais, das quais fazendo uso unicamente dos

dois primeiros termos os seus desvios são de no máximo 40% acima do valor real e 5% abaixo.

Sendo a expressão que utilizamos equação (9);

$$B_{mst}(\mu x, E_0) = \sum_{n=1}^2 A_n e^{-\alpha_n \mu x} \quad (9) \quad \text{onde:}$$

A_n e α_n são funções de E_0 para cada meio absorvedor.

E_0 é a energia da radiação incidente.

μ é o coeficiente de atenuação linear.

b) Para misturas homogêneas.

Se os meios blindantes formam uma mistura homogênea como o concreto, o fator de crescimento pode ser obtido por um método sugerido por Goldstein-Wilkins e calculado por Obeshain para o concreto que será sucintamente apresentado (Rockwell) (18).

Para se obter um fator de crescimento para uma mistura deve-se conhecer um número atômico efetivo Z_0 .

O fator de crescimento para vários elementos químicos podem ser colocado como função do número atômico Z para um determinado valor E_0 como o número de caminhos livres médios e como parâmetro (μx) .

Agora, o problema reside em encontrar algum elemento que tenha as mesmas propriedades da mistura com relação ao espalhamento e a atenuação da radiação gama em questão.

As características de um material para a obtenção e espalhamento da radiação gama são determinados pela fração do número total de elétrons associados a cada núcleo. A fração eletrônica pode ser determinada pela equação (10).

$$\beta_i = \frac{a_i Z_i / A_i}{\sum_{i=1}^n a_i Z_i / A_i} \quad (10)$$

Onde: a_i é a fração em massa do i -ésimo elemento de todos os participantes, Z_i é o número atômico e A_i é a massa atômica ou molecular.

O coeficiente de atenuação μ por elétron é μ_i e o coeficiente de atenuação total do material é dado pela equação (11).

$$\mu(E) = \sum_i \beta_i \mu_i(E) \quad (11)$$

O primeiro critério para calcular Z é que a forma da curva dos coeficientes de atenuação casem com os coeficientes de atenuação dos elementos. Para efetuar isso os coeficientes de atenuação lineares mássicos contra a energia em vários elementos foram normalizadas em 2 MeV.

A comparação entre esta curva e os coeficientes da mistura mostrou um Z efetivo de 18, isto é o argônio.

O segundo critério é que a razão entre a seção de choque de espalhamento e a seção de choque total da mistura deve variar com a energia do mesmo modo que o elemento natural. A seção de choque de espalhamento σ_s pode ser obtida do mesmo modo da seção de choque total equação (12).

$$\sigma_1(E) = \sum_{i=1}^n \beta_i \sigma_{s1}(E) \quad (12)$$

A razão $\sigma_1(E_0)/\mu(E_0)$ foi colocada em função de Z para os elementos químicos conhecidos para várias energias e a mesma razão da mistura foi colocada no gráfico figura (5). Feito isso para o concreto resultou que o Z efetivo era 18, argônio.

Figura. 5 – Energia de absorção em função da energia do fóton para diferentes materiais
Adaptada de Brownell & Hine (16).

Pelos dois métodos chegou-se ao:

Cálculo de Z efetivo para substâncias complexas como os tecidos do corpo.

Suponhamos que a substância é composta de uma fração P_i em massa, de um elemento químico de número atômico Z_i , ρ_2 do elemento químico Z_2 etc, nesse caso o coeficiente de absorção energia linear mássico será dado pela equação (13);

$$\mu_{en} / \rho = \frac{P_1 \mu_{en1}}{\rho_1} + \frac{P_2 \mu_{en2}}{\rho_2} \quad (13)$$

$$\text{Como } q \mu_{en} = q \tau_{en} + q \sigma_{en} + q K_{en}$$

$$\text{E pela equação (13) temos : } a \tau \cong \text{const} \frac{Z^4}{(h\nu)} \quad (14)$$

Podemos desenvolver a equação em termos de Z , desconsiderando a produção de pares. Então a equação (15) se torna:

$$a \mu_{en} / \rho = \frac{P_1 N}{A_1} (b Z_1^m \lambda^n + Z_1^e \sigma_a + c Z_1^2) + \frac{P_2 N}{A_2} (b Z_2^m \lambda^n + Z_2^e \sigma_a + c Z_2^2 + \dots) \quad (15)$$

Onde

A é o número atômico.

N é o número de Avogadro.

X^n fornece a variação de τ como o comprimento de onda $\lambda (\cong 3)$.

m expoente de $Z (\cong 4)$

${}_q\sigma_{en}$ coeficiente de absorção de energia por elétron.

Esta equação pode ser rearranjada em termos de n_0 , isto é, o número de elétrons por grama da substância e $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ o conteúdo fracional de elétrons dos elementos químicos

Z_1, Z_2

Neste caso a equação (16) representa.

$${}_q\mu_{en} / \rho = n_0 \left[b \lambda^n \Sigma (\alpha_1 Z_1^{m-1} + \dots) {}_e\sigma_{en} \right] \quad (16) \text{ onde}$$

$$n_0 = N \Sigma (p_1 Z_1 / A_1 + p_2 Z_2 / A_2 + \dots) e$$

$$\alpha_1 = N_{p_1} Z_1 / n_0 A_1, \text{ e expressões similares para } \alpha_e \text{ etc.}$$

Desta equação, podemos definir como Z efetivo a expressão (17).

$$\bar{Z}^\tau = \alpha_1 Z_1^{m-1} + \alpha_2 Z_2^{m-1} + \dots \quad (17)$$

Que só é verdade na ausência de produção de pares.

CAPITULO 3

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 Revisão Bibliográfica

As pesquisas para identificação do estado da arte foram realizadas em visitas realizadas nos acervos das bibliotecas, Biblioteca Terezine Arantes Ferraz no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e da Biblioteca da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Em consultas pela internet, nos “sites” das editoras científicas, “Radiation Safety Journal Health Physics”, “Elsevier” America Latina, nos “sites” das associações como Associação Brasileira de Normas Técnicas, “American Society for Testing and Materials”, “Americam Concrete Institute”, Instituto Brasileiro do Concreto, “International Atomic Energy Agency”, “International Comission on Radiatiological Protection”, “National Council on Radiation Protection and Measurements”, Comissão Nacional de Energia Nuclear, “National Institute of Standards and Technology”, “Oak Ridge National Laboratory”, Comitê Científico Sobre os Efeitos das Radiações Atômicas das Nações Unidas.

Após avaliarmos os trabalhos consultados por ocasião das pesquisas bibliográficas, constatamos que no Brasil não se publicaram muitos trabalhos científicos que avaliam e estudam o comportamento dos concretos de elevada massa específica preparados com matérias-primas nacionais para serem utilizados como blindagem as radiações ionizantes.

Dos trabalhos consultados e disponíveis, a grande maioria foi realizada em outros países com o uso de matérias-primas locais ou com a utilização de dados experimentais disponíveis em publicações científicas.

Nos trabalhos consultados algumas informações importantes não são publicadas e o entendimento da influência que os materiais utilizados têm no real

3.2 Identificação da energia à qual o concreto será submetido e definição das características necessárias

Para o desenvolvimento do trabalho foi escolhida a energia 660 keV, energia esta que é utilizada para a calibração de muitos equipamentos de proteção radiológica e equipamentos de radioterapia.

A fonte radioativa utilizada nos ensaios foi o ^{137}Cs , com atividade de 37GBq.

3.3 Escolha das matérias-primas produzidas no Brasil para a produção de elevada massa específica

3.3.1 Aglomerantes.

Para a produção de concretos os aglomerantes mais utilizados são os cimentos Portland, dentre os vários tipos de cimentos produzidos no Brasil optamos por avaliar dois tipos que apresentam significativa diferença nos teores de CaO e SiO_2 dentre os principais elementos.

No Brasil os cimentos que apresentam diferentes teores dos óxidos citados são os cimentos do tipo CPV, ARI e CPIV, respectivamente.

Para avaliarmos e definirmos qual a melhor opção, preparamos, curamos e ensaiamos dois tipos de pasta de cimento, uma com a utilização de Cimento Portland do tipo CPIV e outra com CPV-ARI, que após curados foram ensaiados na energia de 660 keV para a determinação do coeficiente de atenuação linear experimental.

Avaliando os resultados obtidos, que serão apresentados no capítulo quatro do presente trabalho, optamos pela utilização do cimento Portland tipo CPV-ARI da ABNT, cimento que é encontrado facilmente no mercado e apresenta uma alta resistência inicial.

Após a definição do aglomerante a ser utilizado, este foi caracterizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo de acordo com os

critérios e verificado nos limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 5733:1991 (48) – Cimento Portland de alta resistencia inicial – Especificações.

- Perda ao fogo.
- Anidrido silícico.
- Óxido de alumínio.
- Óxido férrico.
- Óxido de cálcio.
- Óxido de magnésio.
- Anidrido sulfúrico.
- Óxido de sódio.
- Óxido de potássio.
- Equivalente alcalino.
- Óxido e cálcio livre.
- Resíduo insolúvel.
- Anidrido carbonático.
- Água para pasta normal.
- Início e fim de pega.
- Resistência à compressão.

3.3.2 Agregados.

Por meio do telefone e através do envio de e-mail, consultamos o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, a Associação Brasileira de Metalurgia Materiais e Mineração e as Companhias Vale do Rio Doce e MMX Mineradora, com o objetivo de localizar possíveis produtores de minerais de elevada massa específica, porém não tivemos sucesso, os órgãos e as empresas consultados não dispunham de informações atualizadas ou não forneceram as informações solicitadas.

Através de contatos feitos com profissionais da área e colegas de profissão identificamos o nome de alguns possíveis produtores, porém não conseguimos contactá-los, alguns não atenderam às nossas chamadas e outros não retornaram nossas ligações.

Tentamos visitar as áreas onde se localizam diversas mineradoras no estado de Minas Gerais, em vão, pois solicitado o contacto ou o acesso nas portarias das instalações o pedido foi negado.

No estado do Mato Grosso do Sul estivemos no pátio e depósito de minérios da mina de Urucum da Companhia Vale do Rio Doce, localizamos vários tipos de minérios possíveis de serem utilizados, porém não conseguimos amostras para execução dos ensaios, apesar de inúmeras tentativas e telefonemas.

Porém, com as informações e sugestões recebidas de amigos e colegas, e outras encontradas em publicações, identificamos que no Brasil os principais agregados naturais de elevada massa específica produzidos, que podem ser utilizados na produção de concretos de elevada massa específica, são basicamente óxidos de ferro, como hematita, magnetita e alguns tipos de granelhas originadas no processamento do minério de ferro, areias de bário também podem ser encontradas e adquiridas.

Mas somente com o auxílio de uma empresa localizada no estado de São Paulo, no município de Arujá, que atua no ramo de comercialização de minérios de elevada massa específica para indústria química e para a produção de concretos de elevada massa específica é que obtivemos as informações necessárias e precisas sobre os agregados minerais naturais disponíveis produzidos no Brasil. A empresa não só forneceu os dados e a identificação dos produtores como também gentilmente doou as amostras necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

Dos materiais disponíveis selecionamos os que apresentavam características visuais adequadas e que atendiam às nossas necessidades, como granulometria e massa específica.

A relação e a identificação das matérias-primas utilizadas no presente trabalho encontram-se na tabela (4);

Tabela 4 – Identificação das matérias-primas utilizados.

Código	Material	Código do Fornecedor	Origem
AM 1	Filer Calcário		Calpar-Castro Pr.
AM 2	Óxido de Ferro HEP	7000-01	Mina Vargem Grande – VALE – SP
AM 3	Sintético Vermelho	1005-03	SAMARCO – ES
AM 4	Magnetita Malha 325	1023-15	VALE – Cajati – SP
AM 5	Magnetita com Areia	1023-03	VALE – Cajati – SP
AM 6	Areia de Hematita	7000-02	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM 7	Areia de Hematita Graúda	7000-00	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM 8	Granalha de Baixa Massa Específica	7018-00	SAMARCO – ES
AM 9	Brita de Hematita 0	7012-01	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM 10	Brita de Hematita 1	7006-01	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM 23	Areia de Barita		Mineradora Juquiá – Juquiá – SP
	Cimento CP V –ARI RS		Cia Votorantin – Sorocaba –SP

Da mesma forma, os agregados selecionados foram caracterizados segundo os critérios prescritos pelas normas nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas, especificamente a norma NBR 7211-2009 (8), Agregados para concreto – Especificações, que fixa as características exigíveis na produção dos agregados miúdos e graúdos de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes do processo de britagem de rochas e destinados à produção de concretos.

Caracterização Física - Os ensaios de caracterização física foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, conforme listados a seguir.

Para os agregados finos:

Absorção (8)

Massa específica saturada com superfície seca (8)

Massa específica aparente NBR NM-52/03. (8)

Material fino passante em peneira de 75µm – NBR NM-46/03. (8)

Para os agregados graúdos:

Granulometria NBR-7217/87. (8)

Modulo de finura NBR-7211. (8)

Dimensão máxima característica NBR-7211. (8)

Absorção (8)

Massa específica saturada com superfície seca (8)

Massa específica aparente NBR NM-52/03. (8)

Massa específica no estado seco (8)

Material fino passante em peneira de 75µm – NBR NM-46/03. (8)

3.3.3 Adições.

No Brasil, são utilizadas, na maioria dos casos, três tipos de adições: normalmente, a microsilica, o metacaulim e o filer calcário.

Como a composição química dos três materiais, são diferentes, optamos por avaliar qual seria o material que melhor desempenho apresentaria quando adicionado ao concreto de elevada massa específica, destinado à blindagem das radiações gama e X, na energia de 660 keV.

Preparamos três concretos, um para cada tipo de adição. Posteriormente ensaimos os concretos na energia de 660 keV e encontramos os coeficientes de atenuação linear de cada um deles, e, de posse dos resultados, escolhemos a opção que apresentou melhor desempenho.

Como poderemos ver no próximo capítulo, o melhor desempenho ocorreu para o material filer calcário, que, além de apresentar o melhor coeficiente de atenuação linear, é um material fácil de ser adquirido, disponível em quase todo o território nacional e tem baixo preço.

A adição escolhida, por não ser reativa, foi caracterizada segundo os critérios prescritos pelas normas nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7211-2009 (8), Agregados para concreto – Especificações, que fixa as características exigíveis na recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos, de origem natural,

já encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas e destinados à produção de concretos.

3.3.4 Aditivo.

Inúmeros são os aditivos produzidos no Brasil, porém, fatores como experiência e aplicação prática nos levaram a optar pela utilização de um aditivo em que dispomos de um histórico de aplicação. O aditivo utilizado foi um aditivo do tipo superplastificante e redutor de água, cuja base química é éter policarboxílico, líquido que atende os requisitos das normas NBR 11768 (6) (tipo P e SP).

No caso, o aditivo não foi caracterizado, pois as quantidades utilizadas não ultrapassam a 0,12 % da massa total do concreto.

3.3.5 Caracterização química dos materiais utilizados.

As análises químicas foram realizadas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-SP, por meio da técnica de espectrometria de fluorescência de raio X, por dispersão de comprimento de onda (WDXRF). A metodologia utilizada foi não destrutiva e direta, ou seja, tratamentos químicos prévios na preparação das amostras não foram aplicados. O equipamento utilizado foi um WDXRF, modelo RIX 3000, produzido pela Rigaku, Co... Os parâmetros de operação do espectrômetro foram: tubo de raios X de Ródio, 50 kV x 50 mA; colimador de 20 mm; detector de cintilação (NaI(Tl)) para os elementos pesados ($Z > 20$) e proporcional de fluxo para os elementos leves ($Z \leq 10$).

A determinação semiquantitativa foi realizada por meio do método dos Parâmetros Fundamentais (PF), utilizando-se o modo *2 theta Scan*, disponível no *software* acoplado ao espectrômetro. Os elementos hidrogênio, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio e oxigênio não foram determinados porque a metodologia não se aplica para tais elementos.

Conhecendo-se os elementos químicos presentes no composto e suas respectivas frações, o coeficiente de atenuação linear teórico pode ser calculado.

A presença dos três elementos nos concretos é parecida, considerando que a influência deles na composição da seção de choque do composto é pequena na maioria dos casos dos concretos preparados para a tese, não determinamos a presença deles pois o método não permite.

3.4 Formulação dos traços de concreto.

De acordo com o método Tutikian & Dal Molin (49) na figura 6, apresentamos o fluxograma de atividades com o acréscimo da determinação das propriedades físicas, químicas e nucleares, no qual são demonstradas as etapas a serem realizadas:

Figura 6 – Passo a passo para dosagem de CAA com o método Tutikian & Dal Molin 2007 com acréscimo de propriedades no passo 5 (49).

3.4.1 Primeiro passo:

Escolha dos materiais.

Escolhemos os materiais nacionais a serem utilizados para o preparo dos concretos destinados a blindagem das radiações gama e X na energia de 660 keV, que apresentassem as características necessárias para serem utilizados na produção de concretos de elevada massa específica, possíveis de serem adquiridos no mercado nacional e que tivessem constância de produção.

3.4.2 Segundo passo:

Determinação do esqueleto granular.

As matérias-primas selecionadas foram divididas em função da composição granulométrica para podermos preparar uma série de concretos com as mais diversas combinações. Nesta fase não tivemos a intenção de preparar o melhor ou mais denso concreto, e sim de preparar uma quantidade razoável de tipos com as mais diversas combinações e massas específicas, para podermos avaliar as diferenças e a validade da proposta do trabalho de se utilizar a composição química como referência para determinar o coeficiente de atenuação linear projetado.

Para fazermos a mistura dos agregados e obtermos para cada combinação a maior massa específica, dividimos as combinações em famílias cujos organogramas formulados são apresentados a seguir nas figuras 7 a 13.

Para cada um dos concretos, misturamos os agregados, combinando-os com o objetivo de se conseguir a melhor densidade específica da combinação.

Familia 1 - Organograma de combinações

Figura 7 – Organograma de combinações família 1.

Familia 2 - Organograma de combinações

Figura 8 – Organograma de combinações família 2

Familia 3 - Organograma de combinações

Figura 9 – Organograma de combinações família 3

Família 4 - Organograma de combinações

Figura 10 – Organograma de combinações família 4.

Família 5 - Organograma de combinações

Figura 11 – Organograma de combinações família 5.

Família 6 - Organograma de combinações

Figura 12 – Organograma de combinações família 6.

Família 7 - Organograma de combinações

Figura 13 – Organograma de combinações família 7.

Para cada concreto os agregados foram misturados um a um na sequência de maior para menor granulometria. Foi definida a melhor compacidade da mistura, que posteriormente foi mesclada à parcela seguinte de maneira a se obter a maior massa específica das combinações. A parcela de filer calcário não foi acrescentada por ocasião da realização das misturas, sendo a quantidade a ser utilizada definida posteriormente.

3.4.3 Terceiro passo:

Definição do fator água/cimento.

A determinação do fator água/cimento foi feita experimentalmente no momento do preparo do concreto, e, de acordo com a necessidade de água de cada traço, a quantidade de água necessária foi determinada com o objetivo de se conseguir a trabalhabilidade mínima de adensamento da mistura.

O fator água/cimento variou de concreto para concreto em função da granulometria, do fator de forma e da superfície específica dos agregados utilizados.

3.4.4 Quarto passo:

Mistura dos traços.

Tendo em vista a quantidade de matérias-primas disponíveis, não utilizamos a técnica de preparo de três traços, um com consumo pequeno de cimento e outros dois com traços de maior consumo, mas optamos pelo preparo de traços com o consumo de cimento já conhecido e utilizado pelo autor na produção de concretos de elevada densidade que foram usados em outros trabalhos.

Definidas as combinações a serem utilizadas para a produção dos concretos optamos por preparar somente traços ricos ⁷.

3.4.5 Quinto passo:

Determinação das propriedades físicas, químicas e nucleares.

A determinação das propriedades se concentrou na caracterização física das matérias-primas e na determinação da composição química. Para os concretos preparados, as mesmas determinações foram feitas com o acréscimo da resistência a compressão de alguns concretos.

Especial atenção foi dada a determinação e identificação da quantidade dos elementos químicos presentes, com o objetivo de verificar a acurácia da proposta de calcular o coeficiente de atenuação linear do concreto sem a necessidade de ensaiá-lo à radiação.

A identificação da capacidade atenuante foi feita com a realização do ensaio de atenuação, que será demonstrado a seguir, após a descrição do sexto passo.

3.4.6 Sexto passo:

Montagem do diagrama de dosagem.

A montagem do diagrama de dosagem com os dados adquiridos não foi realizado pelo fato de que as relações entre o coeficiente de atenuação mássico linear

⁷ Traço rico é definido como o traço que tem o maior consumo de cimento da série comparativa que normalmente é montada com a confecção de um traço chamado de pobre, pouco consumo de cimento, um traço intermediário com a utilização de um consumo entre o rico e o pobre e o traço rico com consumo maior que os anteriores.

(μ/ρ) e a relação densidade e coeficiente de atenuação linear (μ) não se desenvolvem linearmente entre si, o que dificulta a montagem de um gráfico.

As relações água/cimento não são constantes, e a sua variação não tem grande interferência na definição do coeficiente de atenuação linear.

3.5 Preparo dos concretos, moldagem, cura e armazenamento dos corpos de prova.

3.5.1 Preparo dos concretos e moldagem dos corpos de prova.

O preparo dos concretos foi realizado nas instalações da empresa em que trabalha o autor desta tese. Os materiais foram pesados na condição de seco ao tempo⁸ para posteriormente serem misturados em uma vasilha plástica, para não contaminarem as amostras, e a mistura foi realizada em quantidades que variavam de 3 a 5 kg para o concreto úmido.

Conforme citado anteriormente, foram formulados 22 tipos de concretos, que optamos por dividir em sete famílias, conforme a base granulométrica utilizada.

3.5.2 Moldagem dos corpos de prova.

A moldagem e o adensamento do concreto foram feitos com a utilização de moldes especiais e de uma mesa de vibração especialmente projetada para o trabalho, que é apresentada a seguir na figura (14), na qual o tempo de vibração e a energia podem ser controlados.

Quatro conjuntos de moldes, conforme modelo apresentado na figura (15), mostrada em seguida, também especialmente desenvolvidos para a aplicação, foram

⁸ Seco ao tempo é definido como o tipo de secagem em que o material é seco nas condições naturais, sem a utilização de fontes de calor ou ventilação artificiais.

utilizados para cada concreto. Cinco a seis peças foram preparadas, sendo as dimensões 40 mm de espessura, 100 mm de comprimento e 50 mm de altura.

Fig 14 - Mesa vibratória

Moldados os corpos de prova, estes eram pesados em uma balança da marca Urano Us 20/2 com precisão de 2 g e capacidade de pesagem de 20 kg, devidamente aferida para determinar a massa do concreto úmido no momento da dosagem.

Figura 15 - Molde para moldagem dos corpos de prova

3.5.3 Cura e armazenagem dos corpos de prova.

Após dois dias da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados, e determinada a massa pós-desforma. Em seguida os corpos de prova foram colocados em caixas plásticas, figura (16), para serem depositadas em uma prateleira, figura (17), em local protegido das intempéries, com uma pequena quantidade de água depositada

internamente em um recipiente plástico, figuras (16) e (17), cujo objetivo foi manter o ambiente interno da caixa na condição úmida.

Os corpos de prova foram enumerados, e, anotada a massa específica pós-desforma, este número do molde também foi anotado no corpo de prova.

Figura 16 - Caixa de armazenagem dos corpos de prova.

Figura 17 - Caixa de armazenagem dos corpos de prova na prateleira para cura.

3.6 Ensaios para determinação dos coeficientes de atenuação linear experimental

Conforme mencionado anteriormente, a energia utilizada para a caracterização do desempenho dos concretos frente às radiações foi de 660 keV.

Para a aquisição dos dados foi utilizado uma mesa micrométrica automatizada, com sistema de deslocamento controlado por computador que comanda o movimento

dos eixos x e y, fonte ^{137}Cs com atividade de 37 GBq e energia $E = 661 \text{ keV}$, colimador de saída da fonte em chumbo com abertura de 2 mm, sendo o colimador de entrada do detector com as mesmas características.

Detector da marca Ortec com 3", NaI(Tl) iodeto de sódio ativado com tálio, com eletrônica padrão composta por amplificador, fonte de tensão, multicanal e funcionalidade de monocanal.

Na figura (18) é apresentado o esquema da geometria utilizado nos ensaios de atenuação.

Fig 18 – Mesa micrométrica e geometria de ensaio.

Após curado, de cada concreto escolhemos uma amostra para ser ensaiada, cuja massa se aproximasse da média do referido concreto.

As amostras foram curadas e determinadas as massas unitárias, para posteriormente serem levadas ao Laboratório de Física Nuclear da Universidade Estadual de Londrina para a realização dos ensaios e determinação dos coeficientes de atenuação linear.

Em cada corpo de prova foram realizadas medições em 20 pontos, distribuídos em cinco colunas e quatro linhas, conforme figura (19), apresentada. As cotas com a posição relativa exata dos pontos, a contagem dos fótons e o valor do coeficiente de atenuação linear encontrado estão identificadas resumidamente na tabela (122), apresentadas no capítulo 4 resultados.

Figura. 19 - Esquema de posicionamento dos pontos medidos em corpo de prova.

3.7 Caracterização física e química dos concretos preparados.

3.7.1 Caracterização física dos concretos preparados.

A caracterização física se deu basicamente com a verificação dimensional das amostras e pela identificação da massa específica na desmoldagem e na data de realização dos ensaios para determinação do coeficiente de atenuação linear, dados os quais são apresentados no capítulo (4), resultados.

A resistência à compressão dos concretos foi realizada nos concretos escolhidos em função das massas específicas, os corpos de prova foram moldados e ensaiados à compressão após sete dias de cura, de acordo com os procedimentos da norma ABNT, e os resultados podem ser encontrados no capítulo (4), resultados.

3.7.2 Análise química dos concretos preparados.

Cada um dos corpos de prova ensaiados à radiação foram preparados e analisados para determinação de sua composição química.

Primeiramente, as amostras eram quebradas e uma parcela era separada por uma amostragem representativa, conforme figura (20), posteriormente eram acomodadas no recipiente com o conjunto de argolas figura (21), para serem moídas por dois minutos em um moinho de argolas da marca Herzog, figura (22). Após moídas, apresentavam um diâmetro máximo das partículas de 200 mesh, conforme figura (23) e sequência de figuras apresentadas.

Figura 20 – Amostra quebrada.

Figura 21 – Compartimento de moagem com amostra a ser moída.

Figura 22 – Moinho Herzog.

Figura 23 – Amostra moída para ensaio.

Após moídas, figura (23), uma parcela de cada uma das vinte e duas amostras foram colocadas uma a uma em porta-amostras, conforme figura (24), e (25) para serem acondicionadas no equipamento espectrômetro RIX 3000 figura (26), e a realização das análises químicas.

Figura 24 – Acondicionamento do material no porta-amostra.

Figura 25 – Porta-amostras.

Figura 26 – Espectrômetro RIX 3000.

Figura 27 – Processamento dos dados pelo programa do equipamento.

Nas figuras (26) e (27), apresentamos as imagens que mostram os equipamentos de espectrografia e do computador anexo que computa e interpreta os dados coletados para a determinação dos elementos presentes.

As análises químicas dos concretos, num total de vinte e duas, são mostradas no capítulo (4).

3.8 Cálculo do coeficiente de atenuação linear dos concretos preparados

Conhecendo as composições químicas dos traços dos concretos a serem utilizados, calculamos os coeficientes de atenuação linear para cada traço com o objetivo de compará-lo com o coeficiente de atenuação do concreto a ser preparado.

Após identificarmos os elementos químicos e a quantidade de cada um presente nos concretos preparados, calculamos os coeficientes de atenuação linear projetados com a utilização das tabelas NIST (14), que listam as seções de choque por elemento químico em função da energia da radiação.

O calculo da seção de choque do composto é realizado multiplicando-se a seção de choque de cada elemento presente na amostra encontrada na tabela NIST (14), pela quantidade encontrada, a soma das seções de choque do produto nos fornecerá o coeficiente de atenuação linear mássico que dividido pela densidade do composto nos dará o coeficiente de atenuação linear.

CAPITULO 4

4 RESULTADOS

4.1 Resultados da caracterização física e química do aglomerante utilizado

4.1.1 Caracterização física do cimento Portland CPV ARI-RS.

Ensaio físicos

Nas tabelas (5) e (6) são apresentados os dados dos ensaios físicos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios físicos do aglomerante (IPT/SP).

		Limites da NBR 5733/91	
		Cimento CP V ARI	
Água para pasta normal (NBR-NM-43/03) (% massa do cimento)	32,3		-----
Início de pega (NBR-NM-65/03) (h:min)	02:40		≥ 60 min (01 h)
Fim de pega (NBR-NM-65/03) (h:min)	04:15		≤ 600min (10 h)
Expansibilidade (NBR-11582/91) - Frio (mm)	0,0		
Expansibilidade (NBR-11582/91) - Quente (5h) (mm)	0,0		
Massa específica (NBR-NM-23/01) (g/cm ³)	3,04		
Finura - Método de Blaine (NBR-NM-76/98) (cm ² /g)	4980		
Finura - Método de Blaine (m ² /kg)	498		≥ 300,0 m ² /kg

Tabela 6 - Resultados dos ensaios físicos dos ensaios mecânicos do aglomerante (IPT/SP).

Resistência à compressão (MPa) - (NBR-7215/96)							
Idade	Corpo de Prova n ^o				Média	DRM	Limites da NBR 5733/91
(dias)	1	2	3	4		(%)	CP V ARI
1	33,0	31,1	31,2	31,5	31,7	4,1	≥ 14,0 MPa
3	40,6	40,3	39,8	41,9	40,7	2,9	≥ 24,0 MPa
7	46,8	44,5	45,5	44,9	45,4	3,1	≥ 34,0 MPa
28	49,2	54,1	52,2	51,6	51,8	5,0	-----

4.1.2 Ensaio químicos

Na tabela (7) apresentamos os dados resultantes dos ensaios de caracterização química realizados no Instituto de Pesquisas Ecologicas do Estado de São Paulo, IPT.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios químicos do cimento por via úmida.

Determinações	Resultados, em %
	"Amostra de cimento" LMCC N° 3039/14
. Perda ao fogo (PF)	3,19
. Anidrido silício (SiO ₂)	25,4
. Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	8,12
. Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	3,44
. Óxido de cálcio (CaO)	50,4
. Óxido de magnésio (MgO)	4,83
. Anidrido sulfúrico (SO ₃)	2,76
. Óxido de sódio (Na ₂ O) ^{Nota 2}	0,23
. Óxido de potássio (K ₂ O) ^{Nota 2}	1,01
. Equivalente alcalino (em Na ₂ O) ^{Nota 3}	0,89
. Óxido de cálcio livre (CaO)	1,41
. Resíduo insolúvel (RI)	17,1
. Anidrido carbônico (CO ₂)	1,60

Notas:

2 O resultado apresentado foi determinado por absorção atômica.

3 Equivalente alcalino (em Na₂O) = % Na₂O + 0,658 x %K₂O.

4.2 Resultados da caracterização física e química dos agregados e da adição.

4.2.1 Caracterização física.

Nas tabelas (8-17) e figuras (28-35), apresentadas a seguir, são mostrados os dados referentes às características físicas dos agregados utilizados, caracterização esta feitas no IPT. Os dados referem-se a granulometria, absorção e massa específica.

Tabela 8 – Resultados da amostra AM2 “Óxido de Ferro”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	Individual	Acumulada
9,5	0	0
6,3	0	0
4,75	0	0
2,4	0	0
1,18	0	0
0,6	0	0
0,3	0	0
0,15	4	4
<0,15	96	100
Módulo de finura		0,05
Dimensão máxima característica (mm)		0,15
Absorção (%)		0,40%
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)		5,23
Massa específica aparente (g/cm ³)		5,23
Massa específica (g/cm ³)		5,24
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)		28,15 %

Figura 28 Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM2.

Tabela 9 – Resultados da amostra AM3 “Óxido de Ferro Sintético Vermelho”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	individual	Acumulada
9,5	0	0
6,3	0	0
4,75	0	0
2,4	0	0
1,18	0	0
0,6	0	0
0,3	82	82
0,15	17	99
<0,15	1	100
Módulo de finura		1,80
Dimensão máxima característica (mm)		0,6
Absorção (%)		14,06%
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)		3,33
Massa específica aparente (g/cm ³)		3,05
Massa específica (g/cm ³)		4,26
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)		88,57 %

Figura 29 Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM3.

Tabela 10 – Resultados da amostra AM4 “Magnetita Malha #325”

Massa específica umidade aparente (g/cm ³) NBR NM 23/01	3,10
---	------

Por se tratar de um material muito fino, foi utilizado o método de ensaio aplicado para cimento e materiais em pó, não foi determinada a curva granulométrica e nem os outros parâmetros utilizados para materiais com granulométrica mais graúda.

Tabela 11 – Resultados da amostra AM6 “Areia de Hematita”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	Individual	Acumulada
9,5	0	0
6,3	1	1
4,75	0	1
2,4	1	2
1,18	2	4
0,6	8	13
0,3	13	26
0,15	23	48
<0,15	52	100
Módulo de finura	0,94	
Dimensão máxima característica (mm)	1,2	
Absorção (%)	0,27%	
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)	5,07	
Massa específica aparente (g/cm ³)	5,09	
Massa específica (g/cm ³)	5,18	
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)	11,90 %

Figura 30 Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM6.

Tabela 12 – Resultados da amostra AM 7 “Areia de Hematita Graúda”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	Individual	Acumulada
9,5	0	0
6,3	0	0
4,75	0	0
2,4	0	0
1,18	0	0
0,6	15	15
0,3	41	57
0,15	27	84
<0,15	16	100
Módulo de finura		1,56
Dimensão máxima característica (mm)		1,2
Absorção (%)		0,50 %
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)		4,44
Massa específica aparente (g/cm ³)		4,47
Massa específica (g/cm ³)		4,56
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)		2,56 %

Figura 31 Gráfico – Curva da granulométrica amostra AM7.

Tabela 13 – Resultados da amostra AM8 “Granalha de Baixa Massa Específica”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	Individual	Acumulada
9,5	0	0
6,3	0	0
4,75	0	0
2,4	0	0
1,18	14	15
0,6	39	53
0,3	39	92
0,15	7	99
<0,15	1	100
Módulo de finura		2,58
Dimensão máxima característica (mm)		2,4
Absorção (%)		0,28 %
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)		5,11
Massa específica aparente (g/cm ³)		5,12
Massa específica (g/cm ³)		5,16
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)		9,80 %

Figura 32 Gráfico – Curva granulométrica da amostra AM8.

Tabela 14 – Resultados da amostra AM9 “Brita de Hematita 0”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	Individual	Acumulada
37,5*	0	0
31,5	0	0
25	0	0
19 *	12	12
12,5	46	58
9,5*	23	81
6,3	11	92
4,75*	2	94
2,36*	2	96
1,18*	0	96
0,6*	0	96
0,3*	0	96
0,15*	0	96
< 0,15	4	100
Módulo de finura	6,67	
Dimensão máxima característica (mm)	25 mm	
Absorção (%)	0,14 %	
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)	4,78	
Massa específica aparente (g/cm ³)	4,81	
Massa específica seca (g/cm ³)	4,77	
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)	0,56 %

Figura 33 Gráfico – Curva granulométrica da amostra.

Tabela 15 – Resultados da amostra AM10 “Brita de Hematita 10 a 19mm”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	Individual	Acumulada
37,5*	0	0
31,5	0	0
25	0	0
19 *	8	8
12,5	31	39
9,5*	28	67
6,3	22	89
4,75*	3	92
2,36*	2	94
1,18*	1	95
0,6*	0	95
0,3*	0	95
0,15*	0	95
< 0,15	5	100
Módulo de finura	6,41	
Dimensão máxima característica (mm)	25 mm	
Absorção (%)	1,49 %	
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)	4,60	
Massa específica aparente (g/cm ³)	4,86	
Massa específica seca (g/cm ³)	4,53	
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)	3,19 %

Figura 34 Gráfico – Curva granulométrica da amostra.

Tabela 16 – Resultados da amostra AM23 “Areia Barita”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.	
Não determinada – Material muito fino, 82 % passante na peneira 75µm	
Absorção (%)	0,30 %
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)	3,80
Massa específica aparente (g/cm ³)	3,83
Massa específica (g/cm ³)	3,90
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)	82,07 %

Tabela 17 – Resultados da amostra “Areia de Hematita Tipo AG”

Determinação da composição granulométrica - NBR-7217/87.		
Peneiras	Material retido (%)	
Abertura (mm)	Individual	Acumulada
9,5	0	0
6,3	1	1
4,75	0	1
2,4	1	2
1,18	7	9
0,6	31	40
0,3	48	88
0,15	6	94
<0,15	6	100
Módulo de finura	2,35	
Dimensão máxima característica (mm)	2,4	
Absorção (%)	1,03 %	
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)	4,63	
Massa específica aparente (g/cm ³)	4,67	
Massa específica (g/cm ³)	4,86	
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)	0,80 %

Figura 35 Gráfico – Curva granulométrica da amostra.

4.2.2 Caracterização química.

As amostras dos agregados escolhidos e coletados, classificadas e codificadas conforme tabela (4), apresentada na tabela (19).

Tabela 18 – Códigos e nomes utilizados para identificação das amostras.

Código das amostras	Material	Código do Fornecedor	Origem
AM1	Filer Calcário		Calpar - Castro - Pr
AM2	Oxido de Ferro HEP	7000-01	Mina Vargem Grande – VALE – SP
AM3	Sintético Vermelho	1005-03	SAMARCO – ES
AM4	Magnetita Malha 325	1023-15	VALE – Cajati – SP
AM5	Magnetita com Areia	1023-03	VALE – Cajati – SP
AM6	Areia de Hematita	7000-02	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM7	Areia de Hematita Graúda	7000-00	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM8	Granalha de Baixa Massa específica	7018-00	SAMARCO – ES
AM9	Brita de Hematita 0	7012-01	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM10	Brita de Hematita 1	7006-01	Mina Vargem Grande – VALE – MG
AM23	Areia de Barita		Mineradora Juquiá – Juquiá – SP
	Cimento CP V		Cia Votorantin – Sorocaba -SP

A seguir apresentamos as análises químicas das matérias-primas utilizadas, cujos ensaios foram realizados conforme anteriormente descrito.

Os dados apresentados estão identificados pelos códigos das amostras anteriormente apresentados.

Adição –AM1 Filer calcário.

Tabela 19 – Composição química – AM1 Filer calcário.

AM1				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
Al	Al00	K -KA	0,3071	0,4969
Ca	Ca00	Al-KA	185,3409	75,5817
Fe	Hv00	Mg-KA	1,0686	0,4910
K	K 00	Ni-KA	0,4978	0,2312
Mg	Mg00	Ca-KA	5,0123	20,8433
Ni	Hv00	Si-KA	0,1036	0,0234
S	S 00	S -KA	0,1993	0,0492
Si	Si00	Fe-KA	1,7370	2,2671
Sr	Hv00	Sr-KA	0,3828	0,0140
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0799	0,0023

Agregado - AM2 Óxido de ferro HEP, código do fornecedor 7000-01.

Tabela 20 – Composição química – AM2 Filer calcário.

AM2				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intenidade (kcps)	Resultado (mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,3686	0,5564
Ca	Ca00	Ca-KA	0,1480	0,0322
Fe	Hv00	Fe-KB1	112,5779	98,4940
Mn	Hv00	Mn-KA	0,5476	0,0984
P	P 00	P -KA	0,2459	0,0383
S	S 00	S -KA	0,0275	0,0063
Si	Si00	Si-KA	0,5512	0,6933
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1546	0,0812

AM3 Sintético vermelho, código do fornecedor 1005-03.

Tabela 21 – Composição química – AM3 Filer calcário.

AM3				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intenidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,0000	0,0000
Ca	Ca00	Ca-KA	0,0785	0,0146
Cl	Cl00	Cl-KA	0,2845	0,2901
Cr	Hv00	Cr-KA	0,2549	0,0395
Cu	Hv00	Cu-KA	0,0868	0,0179
Fe	Hv00	Fe-KB1	131,1966	99,1220
Mn	Hv01	Mn - Ka	2,2663	0,3489
P	P 00	P -KA	0,1133	0,0149
S	S 00	S -KA	0,6547	0,1263
Si	Si00	Si-KA	0,0183	0,0197
Ti	Hv00	Ti-KA	0,0139	0,0062

Agregado – AM4 Magnetita malha 325, código do fornecedor 1023-15.

Tabela 22 – Composição química – AM4 Filer calcário.

AM4				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intenidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,7020	0,9276
Ca	Ca00	Ca-KA	20,8841	4,4114
Co	Hv00	Co-KA	0,3375	0,0367
Cr	Hv00	Cr-KB1	0,2165	0,2469
Fe	Hv00	Fe-KB1	95,7896	82,1601
K	K 00	K -KA	0,4269	0,1407
Mg	Mg00	Mg-KA	1,0274	4,9190
Mn	Hv00	Mn-KA	3,2589	0,6094
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0813	0,0024
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0991	0,0240
P	P 00	P -KA	3,6389	0,5049
S	S 00	S -KA	7,7501	1,5908
Si	Si00	Si-KA	1,5170	1,6739
Sr	Hv00	Sr-KA	0,4701	0,0205
Ti	Hv00	Ti-KA	4,1089	2,4527
V	Hv00	V -KA	0,5773	0,1940
Zn	Hv00	Zn-KA	0,5367	0,0787
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1837	0,0063

Agregado – AM5 Magnetita com areia, código do fornecedor 1023-03.

Tabela 23 – Composição química – AM5 Magnetita com areia.

AM5				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,5135	0,7510
Ca	Ca00	Ca-KA	47,2350	11,7929
Cr	Hv00	Cr-KA	0,2020	0,0633
Cu	Hv00	Cu-KA	0,0966	0,0211
Fe	Hv00	Fe-KA	384,8820	74,3351
K	K 00	K -KA	0.4190 ,	0,1582
Mg	Mg00	Mg-KA	0,8662	4,5961
Mn	Hv00	Mn-KB	10,4967	0,6439
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0766	0,0025
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0937	0,0253
P	P 00	P -KA	7,9087	1,2239
S	S 00	S -KA	6,7742	1,5682
Si	Si00	Si-KA	1,6799	2,0486
Sr	Hv00	Sr-KA	2,1538	0,1039
Ti	Hv00	Ti-KA	2,7794	2,3799
V	Hv00	V -KA	0,4559	0,2200
Zn	Hv00	Zn-KA	0,3216	0,0524
Zr	Hv00	Zr-KA	0,3667	0,0139

Agregado – AM6 Areia de Hematita, código do fornecedor 7000-02.

Tabela 24 – Composição química – AM6 Areia de hematita.

AM6				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,9295	1,3075
Ca	Ca00	Ca-KA	0,0912	0,0196
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1090	0,0196
Fe	Hv00	Fe-KB1	113,4334	94,5189
K	K 00	K -KA	0,0551	0,0189
Mg	Mg00	Mg-KA	0,0199	0,1070
Mn	Hv00	Mn-KA	1,6832	0,2903
P	P 00	P -KA	0,1972	0,0300
Si	Si00	Si-KA	3,0507	3,6183
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1345	0,0699

Agregado – AM7 Areia de Hematita graúda, código do fornecedor 7000-00.

Tabela 25 – Composição química – AM7 Areia de hematite graúda.

AM7				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,9030	1,2993
Ca	Ca00	Ca-KA	0,0779	0,0176
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1440	0,0272
Fe	Hv00	Fe-KB1	107,6708	92,7729
K	K 00	K -KA	0,0609	0,0220
Mg	Mg00	Mg-KA	0,0234	0,1288
Mn	Hv00	Mn-KA	2,2116	0,3956
P	P 00	P -KA	0,1857	0,0296
Si	Si00	Si-KA	4,3187	5,2485
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1073	0,0587

Agregado – AM8 Granalha de baixa massa específica, código do fornecedor.

7018-00.

Tabela 26 – Composição química – AM8 Areia de hematite graúda.

AM8				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,2296	0,3414
Ca	Ca00	Ca-KA	2,8288	0,6082
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1534	0,0281
Fe	Hv00	Fe-KB1	111,7780	97,5741
K	K 00	K -KA	0,1319	0,0451
Mg	Mg00	Mg-KA	0,0346	0,1974
Mn	Hv00	Mn-KA	1,9837	0,3552
P	P 00	P -KA	0,2166	0,0332
S	S 00	S -KA	0,1590	0,0356
Si	Si00	Si-KA	0,6326	0,7816

Agregado – AM9 Brita 0 de Hematita, código do fornecedor 7012-01.

Tabela 27 – Composição química – AM9 Brita 0 de hematita.

AM9				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	1,5681	2,1695
Ca	Ca00	Ca-KA	0,2008	0,0420
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1818	0,0317
Fe	Hv00	Fe-KB1	116,9429	95,2833
K	K 00	K -KA	0,1317	0,0439
Mn	Hv00	Mn-KA	0,9383	0,1583
P	P 00	P -KA	0,4661	0,0691
S	S 00	S -KA	0,0508	0,0110
Si	Si00	Si-KA	1,8121	2,1315
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1181	0,0597

Agregado – AM10 Brita de Hematita 1, código do fornecedor 7006-01.

Tabela 28 – Composição química – AM10 Areia de hematita.

AM10				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0,9921	1,4244
Ca	Ca00	Ca-KA	0,1055	0,0229
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1364	0,0246
Fe	Hv00	Fe-KB1	113,0447	95,4378
Mn	Hv00	Mn-KA	0,7731	0,1351
P	P 00	P -KA	0,2332	0,0360
S	S 00	S -KA	0,0255	0,0057
Si	Si00	Si-KA	2,4052	2,9135

Agregado – AM23 Areia de Barita, código do fornecedor 7012-01.

Tabela 29 – Composição química – AM10 Areia de hematita.

AM23				
Componente	Meas. C.	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(mass%)
Al	Al00	Al-KA	0.4271	0,8428
Ba	Hv00	Ba-LA	112.617	60,7960
Ca	Ca00	Ca-KA	119.699	5,8578
Fe	Hv00	Fe-KA	220.164	12,5643
K	K 00	K -KA	0.1840	0,1365
Mg	Mg00	Mg-KA	0.1626	1,1216
Mn	Hv00	Mn-KA	0.2620	0,2155
Nb	Hv00	Nb-KA	0.3995	0,0155
Ni	Hv00	Ni-KA	0.0985	0,0310
P	P 00	P -KA	101.929	2,4526
S	S 00	S -KA	306.357	11,3375
Si	Si00	Si-KA	20.818	3,8663
Sr	Hv00	Sr-KA	45.227	0,2530
Ti	Hv00	Ti-KA	0.2965	0,4755
Zn	Hv00	Zn-KA	0.1220	0,0230
Zr	Hv00	Zr-KB1	0.0533	0,0111

Tabela 30 – Resumo geral das composições químicas das amostras das matérias primas e percentual dos elementos químicos presentes nas amostras.

	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9	AM10	AM23
Al	0,4969	0,5564	0,0000	0,9276	0,7510	1,3075	1,2993	0,3414	2,1695	1,4244	0,8428
Ba											60,7960
Ca	75,5817	0,0322	0,0146	4,4114	11,7929	0,0196	0,0176	0,6082	0,0420	0,0229	5,8578
Cl			0,2901								
Co				0,0367							
Cr			0,0395	0,2469	0,0633	0,0196	0,0272	0,0281	0,0317	0,0246	
Cu			0,0179		0,0211						
Fe	0,4910	98,4940	99,1220	82,1601	74,3351	94,5189	92,7729	97,5741	95,2833	95,4378	12,5643
K	0,2312			0,1407	0,1582	0,0189	0,0220	0,0451	0,0439		0,1365
Mg	20,8433			4,9190	4,5961	0,1070	0,1288	0,1974			1,1216
Mn		0,0984	0,3489	0,6094	0,6439	0,2903	0,3956	0,3552	0,1583	0,1351	0,2155
Nb				0,0024	0,0025						0,0155
Ni	0,0234			0,0240	0,0253						0,0310
P		0,0383	0,0149	0,5049	1,2239	0,0300	0,0296	0,0332	0,0691	0,0360	2,4526
S	0,0492	0,0063	0,1263	1,5908	1,5682			0,0356	0,0110	0,0057	11,3375
Si	2,2671	0,6933	0,0197	1,6739	2,0486	3,6183	5,2485	0,7816	2,1315	2,9135	3,8663
Sr	0,0140			0,0205	0,1039						0,2530
Ti		0,0812	0,0062	2,4527	2,3799	0,0699	0,0587		0,0597		0,4755
V				0,1940	0,2200						
Zn				0,0787	0,0524						0,0230
Zr	0,0023			0,0063	0,0139						0,0111

4.3 Traços dos concretos formulados para as sete famílias escolhidas.

Os traços com as quantidades de cada material aplicado são apresentados a seguir nas tabelas (31 – 52), para as sete famílias, e mostram as quantidades de materiais utilizados por metro cúbico de concreto.

Cada família foi composta pelos concretos, conforme apresentado a seguir.

Família 1 – Concretos 1,4,5,6.

Família 2 – Concretos 2,3,7,8,9,10.

Família 4 – Concretos 11, 12, 13.

Família 5 – Concretos 14,15,16.

Família 6 – Concretos 17, 18, 19.

Família 7– Concretos 20, 21, 22

Tabela 31 – Traço Concreto 1

Com 1 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	573,65	kg
adição de filer calcario por (m3)	57,05	kg
água total	275,84	kg
teor de argamassa	0,55	kg
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3.740	kg/m3
areia de hematita graúda (AM7 Codigo fornecedor 7000.00)	1290,8	Kg
brita 1 de hematita (AM 10 codigo do fornecedor 7006.01)	631,05	Kg
brita 0 de hematita (AM 9 codigo do fornecedor 7012.01)	956,4	Kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,87	Kg

Tabela 32 – Traço Concreto 4

Com 4 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	566,00	Kg
adição de filer calcario por (m3)	28,30	Kg
água total	254,70	Kg
teor de argamassa	0,56	Kg
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3460,00	kg/m3
magnetita malha 325 (AM4 Codigo fornecedor 1023.15)	283,00	Kg
areia de hematita (AM 6 codigo do fornecedor 7000.02)	933,90	Kg
brita 1 de hematita (AM 10 codigo do fornecedor 7006.01)	560,34	Kg
brita 0 de hematita (AM 9 codigo do fornecedor 7012.01)	840,51	Kg
aditivo superplastificante 0,5%	3,00	Kg

Tabela 33 – Traço Concreto 5.

Com 5 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	519,40	Kg
adição de filer calcario por (m3)	25,97	Kg
água total	233,73	Kg
teor de argamassa	0,57	Kg
ar aprisionado		
consistencia do concreto fresco		
massa específica	3150,00	kg/m3
óxido de ferro vermelho (AM 3 codigo do fornecedor 1005.03)	259,70	Kg
areia de hematita (AM 6 codigo do fornecedor 7000.02)	857,01	Kg
brita 1 de hematita (AM 10 codigo do fornecedor 7006.01)	514,21	Kg
brita 0 de hematita (AM 9 codigo do fornecedor 7012.01)	771,31	Kg
aditivo superplastificante 0,5%	3,00	Kg

Tabela 34 – Traço Concreto 6.

Com 6 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	566,02	Kg
adição de filer calcario por (m3)	28,30	Kg
água total	233,73	Kg
teor de argamassa	0,57	Kg
ar aprisionado		
consistencia do concreto fresco		
massa específica	3590,00	kg/m3
óxido de ferro HEI (AM 2 código do fornecedor 7000.01)	283,01	Kg
areia de hematita (AM 7 código do fornecedor 7000.00)	948,72	Kg
brita 1 de hematita (AM 10 código do fornecedor 7006.01)	557,98	Kg
brita 0 de hematita (AM 9 código do fornecedor 7012.01)	839,38	Kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,83	Kg

Tabela 35 – Traço Concreto 2.

Com 2 – Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	528,00	Kg
adição de filer calcario por (m3)	132,00	Kg
água total	212,00	Kg
teor de argamassa	0,56	Kg
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3440,00	kg/m3
magnetita com areia virgem (AM5 Código fornecedor 1023.03)	1188,00	Kg
brita 1 de hematita (AM 10 código do fornecedor 7006.01)	580,00	Kg
brita 0 de hematita (AM 9 código do fornecedor 7012.01)	871,20	Kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,64	Kg

Tabela 36 – Traço Concreto 3.

Com 3 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	566,44	Kg
adição de filer calcario por (m3)	35,03	Kg
água total	254,90	Kg
teor de argamassa	0,63	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3700,00	kg/m3
granalha de baixa massa específica (AM8 Código fornecedor 7018.00)	1595,27	Kg
brita 1 de hematita (AM 10 código do fornecedor 7006.01)	520,20	Kg
brita 0 de hematita (AM 9 código do fornecedor 7012.01)	786,07	Kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,83	Kg

Tabela 37 – Traço Concreto 7.

Com 7 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m ³	623,92	kg
adição de filer calcário por (m ³)	31,20	Kg
água total	268,29	Kg
teor de argamassa	0,67	
ar aprisionado	não aferido	
consistência do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3750,00	kg/m ³
óxido de ferro (AM 2 código do fornecedor 7000.01)	311,96	Kg
granalha de baixa massa específica (AM8 Código fornecedor 7018.00)	1417,29	Kg
brita 1 de hematita (AM 10 código do fornecedor 7006.01)	461,91	Kg
brita 0 de hematita (AM 9 código do fornecedor 7012.01)	698,01	Kg
aditivo superplastificante 0,5%	3,12	Kg

Tabela 38 – Traço Concreto 8.

Com 8 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m ³	526,06	kg
adição de filer calcário por (m ³)	26,30	kg
água total	341,94	kg
teor de argamassa	0,67	
ar aprisionado	não aferido	
consistência do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3270,00	kg/m ³
sintético vermelho (AM 3 código do fornecedor 1005.03)	263,03	kg
granalha de baixa massa específica (AM8 Código fornecedor 7018.00)	1195,00	kg
brita 1 de hematita (AM 10 código do fornecedor 7006.01)	389,47	kg
brita 0 de hematita (AM 9 código do fornecedor 7012.01)	588,53	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,63	kg

Tabela 39 – Traço Concreto 9.

Com 9 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m ³	578,69	kg
adição de filer calcário por (m ³)	28,93	kg
água total	250,75	kg
teor de argamassa	0,63	
ar aprisionado	não aferido	
consistência do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3490,00	kg/m ³
magnetita malha # 325 (AM 4 código do fornecedor 1023.15)	289,34	kg
granalha de baixa massa específica (AM8 Código fornecedor 7018.00)	1314,54	kg
brita 1 de hematita (AM 10 código do fornecedor 7006.01)	428,43	kg
brita 0 de hematita (AM 9 código do fornecedor 7012.01)	647,41	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,89	kg

Tabela 40 – Traço Concreto 10.

Com 10 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	622,69	kg
adição de filer calcario por (m3)	31,13	kg
água total	249,08	kg
teor de argamassa	0,67	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3700,00	kg/m3
magnetita com areia virgem (AM 5 codigo do fornecedor 1023.03)	311,34	kg
granalha de baixa massa específica (AM8 Codigo fornecedor 7018.00)	1414,49	kg
brita 1 de hematita (AM 10 codigo do fornecedor 7006.01)	461,00	kg
brita 0 de hematita (AM 9 codigo do fornecedor 7012.01)	696,63	kg
aditivo superplastificante 0,5%	3,11	kg

Tabela 41 – Traço Concreto 11.

Traço de concreto - Com 11 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	536,45	kg
adição de filer calcario por (m3)	26,82	kg
água total	386,40	kg
teor de argamassa	0,31	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3300,00	kg/m3
oxido de ferro HEI (AM2 Codigo fornecedor 7000.01)	377,04	kg
areia de hematita grauda (AM 7 codigo do fornecedor 7000.00)	2137,26	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,68	kg

Tabela 42 – Traço Concreto 12.

Com 12 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	514,80	kg
adição de filer calcario por (m3)	25,74	kg
água total	353,00	kg
teor de argamassa	0,31	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3200,00	kg/m3
magnetita malha # 325 (AM4 Codigo fornecedor 1023.15)	361,82	kg
areia de hematita grauda (AM 7 codigo do fornecedor 7000.00)	2051,01	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,57	kg

Tabela 43 – Traço Concreto 13.

Com 13 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	436,48	kg
adição de filer calcario por (m3)	21,82	kg
água total	436,48	kg
teor de argamassa	0,31	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	2870,00	kg/m3
sintetico vermelho (AM 3 Codigo fornecedor 1005.03)	309,48	kg
areia de hematita grauda (AM 7 codigo do fornecedor 7000.00)	1738,98	kg
	2	
aditivo superplastificante 0,5%	,57	kg

Tabela 44 – Traço Concreto 14.

Com 14 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	528,88	kg
adição de filer calcario por (m3)	26,44	Kg
água total	279,25	Kg
teor de argamassa	0,31	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3260,00	kg/m3
oxido de ferro HEI (AM2 Codigo fornecedor 7000.01)	371,72	Kg
magnetita com areaia virgem (AM 5 codigo do fornecedor 1023.03)	2107,11	
aditivo superplastificante 0,5%	2,64	Kg

Tabela 45 – Traço Concreto 15

Com 15 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	433,84	Kg
adição de filer calcario por (m3)	21,69	Kg
água total	402,60	Kg
teor de argamassa	0,31	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	2820,00	kg/m3
sintetio vermelho (AM3 Codigo fornecedor 1005.03)	307,60	kg
magnetita com areaia virgem (AM 5 codigo do fornecedor 1023.03)	1728,46	
aditivo superplastificante 0,5%	2,17	kg

Tabela 46 – Traço Concreto 16.

Com 16 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	528,53	kg
adição de filer calcario por (m3)	26,42	kg
água total	294,44	kg
teor de argamassa	0,31	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3150,00	kg/m3
magnetita malha # 325 (AM4 codigo do fornecedor 1023.15)	371,47	kg
magnetita com areaia virgem (AM 5 codigo do fornecedor 1023.03)	2105,70	
aditivo superplastificante 0,5%	2,64	kg

Tabela 47 – Traço Concreto 17.

Com 17 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	572,53	kg
adição de filer calcario por (m3)	28,62	kg
água total	400,77	kg
teor de argamassa	0,30	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3720,00	kg/m3
oxido de ferro HEI (AM2 Codigo fornecedor 7000.01)	407,28	kg
granalha de baixa massa específica (AM 8 codigo do fornecedor 7018.00)	2308,33	
aditivo superplastificante 0,5%	2,86	kg

Tabela 48 – Traço Concreto 18.

Com 18 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	572,00	kg
adição de filer calcario por (m3)	28,60	kg
água total	277,82	kg
teor de argamassa	0,22	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3520,00	kg/m3
synthetic vermelho (AM3 Codigo fornecedor 1005.03)	135,08	kg
granalha de baixa massa específica (AM 8 codigo do fornecedor 7018.00)	2546,70	
aditivo superplastificante 0,5%	2,86	kg

Tabela 49 – Traço Concreto 19.

Com 19 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	578,86	kg
adição de filer calcario por (m3)	28,93	kg
água total	264,60	kg
teor de argamassa		
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3510,00	kg/m3
magnetita malha # 325 (AM4 Codigo fornecedor 1023.15)	406,85	kg
granalha de baixa massa específica (AM 8 codigo do fornecedor 7018.00)	2306,25	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,89	kg

Tabela 50 – Traço Concreto 20.

Com 20 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	505,47	kg
adição de filer calcario por (m3)	25,27	kg
água total	346,60	kg
teor de argamassa	0,30	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3160,00	kg/m3
areia de barita (AM23 codigo fornecedor.)	355,27	kg
areia de hematita grauda (AM7 codigo do fornecedor 7000.00)	2013,85	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,53	kg

Tabela 51 – Traço Concreto 21.

Com 21 - Consumo por m³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m3	504,06	kg
adição de filer calcario por (m3)	25,20	kg
água total	345,64	kg
teor de argamassa	0,30	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3170,00	kg/m3
areia de barita (AM23 codigo fornecedor.)	357,39	kg
magnetita com areia virgem (AM5 codigo do fornecedor 1023.03)	2008,24	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,52	kg

Tabela 52 – Traço Concreto 22.

Com 22 - Consumo por m ³ de materiais secos		
Traço do concreto	Quantidade	Unidade
consumo de cimento por m ³	584,67	kg
adição de filer calcário por (m ³)	29,23	kg
água total	275,61	kg
teor de argamassa	0,30	
ar aprisionado	não aferido	
consistencia do concreto fresco	não aferida	
massa específica	3580,00	kg/m ³
areia de barita (AM23 código fornecedor.)	410,93	kg
granalha de baixa massa específica (AM8 código do fornecedor 7018.00)	2329,39	kg
aditivo superplastificante 0,5%	2,92	kg

4.4 Caracterização física dos concretos preparados.

4.4.1 Massa específica dos corpos de prova no momento da desforma e antes da realização dos ensaios de atenuação.

Na tabela (53), apresentada, a coluna 1 refere-se aos números das amostras dos concretos, pois para cada concreto, conforme já informado, moldamos de quatro a cinco corpos de prova, e apenas um de cada família foi ensaiado às radiações. AM é o número que identifica as amostras ensaiadas à nomenclatura (Com n°), identifica o número do concreto. Nas demais colunas, o enunciado identifica os dados informados.

Tabela 53 – Massa específica dos concretos ensaiados no momento da moldagem e na desforma.

Amostra/Concreto Número da amostra e concreto	Massa específica dos corpos de prova úmidos após a moldagem (40 mm x 50 mm x 100 mm) kg/dm ³	Massa específica dos corpos de prova antes do ensaio de atenuação (40 mm x 50 mm x 100 mm) kg/dm ³	Diferença entre as massas (kg)
AM 5 / Com 1	3,74	3,72	0,02
AM 7 / Com 2	3,44	3,44	0,00
AM 12 / Com 3	3,70	3,70	0,00
AM 21 / Com 4	3,46	3,47	0,01
AM 27 / Com 5	3,15	3,14	0,01
AM 33 / Com 6	3,59	3,59	0,00
AM 36 / Com 7	3,75	3,76	0,01
AM 44 / Com 8	3,27	3,27	0,00
AM 51 / Com 9	3,49	3,49	0,00
AM 53 / Com 10	3,70	3,72	0,02
AM 60 / Com 11	3,30	3,30	0,00
AM 66 / Com 12	3,20	3,19	0,01
AM 72 / Com 72	2,87	2,87	0,00
AM 80 / Com 14	3,26	3,23	0,03
AM 84 / Com 15	2,82	2,74	0,08
AM 90 / Com 16	3,15	3,14	0,01
AM 96 / Com 17	3,72	3,69	0,03
AM 102 / Com 18	3,52	3,53	0,01
AM 107 / Com 19	3,51	3,53	0,02
AM 114 / Com 20	3,16	3,15	0,01
AM 119 / Com 21	3,17	3,17	0,00
AM 125 / Com 22	3,58	3,58	0,00

As massas específicas obtidas são similares as encontradas em outros trabalhos, os resultados obtidos com as massas específicas são proporcionados principalmente pela utilização de agregados com a grande presença do minérios de ferro.

O consumo de cimento por m³ nos concretos preparados foi fortemente influenciado pela elevada densidade dos agregados utilizados. A massa específica elevada dos agregados aumentam as forças de atrito e arrasto entre os componentes do concreto, para que o concreto tenha a trabalhabilidade necessária, necessita que o teor de argamassa seja mais elevado se comparado aos concretos convencionais, sendo necessário aumentar a utilização de agregados miúdos e consequentemente o consumo de água.

Avaliando os resultados encontrados, da mesma maneira que nos concretos convencionais, pode-se observar que a utilização de teor de argamassa aumenta o

consumo de água o que resulta no aumento dos vazios e consequentemente diminui a massa específica do concreto.

Os concretos de número 5, 13 e 15, são concretos que utilizaram elevado consumo de materiais finos e apresentaram as menores massas específicas dentre os concretos preparados, já os concretos de números 1, 10 e 7 apresentaram as mais elevadas densidades e tem em comum a utilização de teores de argamassa menores.

4.4.2 Resistência à compressão.

A resistência à compressão foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (50).

No presente trabalho, optamos por avaliar a resistência à compressão em quatro concretos escolhidos em função de sua densidade, dois apresentavam massas específicas um pouco mais baixas comparados com as massa específicas obtidas nos concretos preparados, e dois apresentavam massas específicas elevadas. Por não se tratar de característica preponderante na utilização como blindagem, uma vez que concretos ricos em consumo de cimento com agregados de elevada densidade tendem a apresentar resistências mínimas adequadas para utilização como concreto para blindagem.

Escolhemos os concretos de números 6, 11, 9, e 15 para ensaiá-los a compressão, os resultados encontrados foram;

Concreto número 6, resistência aos 28 dias 33,20 MPa.

Concreto número 9, resistência aos 28 dias 36,20 MPa.

Concreto número 11, resistência aos 28 dias 24,00 MPa.

Concreto número 15, resistência aos 28 dias 22,70 MPa.

4.5 Composição química dos concretos preparados.

A seguir são apresentados, nas tabelas (54-75), os resultados das análises químicas, com a quantidade de cada elemento em relação à massa da amostra que serviu para o cálculo do coeficiente de atenuação linear teórico.

Tabela 54 – Análise química normalizada do concreto Com 1.

Com 1				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	78,4343	71,0443
Ca	Ca00	Ca-KA	64,3092	14,5605
Si	Si00	Si-KA	7,4466	7,7125
Al	Al00	Al-KA	2,5277	3,0252
Mg	Mg00	Mg-KA	0,5153	2,2913
S	S 00	S -KA	2,8501	0,5925
K	K 00	K -KA	1,1947	0,4027
Mn	Hv00	Mn-KA	0,7092	0,1498
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1604	0,1299
P	P 00	P -KA	0,4289	0,0606
Zn	Hv00	Zn-KA	0,1501	0,0205
Sr	Hv00	Sr-KA	0,1950	0,0079
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0700	0,0022

Tabela 55 – Análise química normalizada do concreto Com 2.

Com 2				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	48,1317	54,4889
Ca	Ca00	Ca-KA	101,3540	26,5533
Si	Si00	Si-KA	7,2051	7,6922
Mg	Mg00	Mg-KA	0,9244	4,1005
Al	Al00	Al-KA	2,6247	3,2245
S	S 00	S -KA	5,7335	1,2501
Ti	Hv00	Ti-KA	0,9003	1,0540
K	K 00	K -KA	2,0074	0,7401
P	P 00	P -KA	2,2934	0,3378
Mn	Hv00	Mn-KA	0,9188	0,2581
V	Hv00	V -KA	0,1490	0,0984
Sr	Hv00	Sr-KA	1,4308	0,0572
Zn	Hv00	Zn-KA	0,3803	0,0520
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1052	0,0431
Ni	Hv00	Ni-KA	0,1037	0,0236
Cu	Hv00	Cu-KA	0,0873	0,0161
Zr	Hv00	Zr-KA	0,2766	0,0087
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0536	0,0015

Tabela 56 – Análise química normalizada do concreto Com 3.

Com 3				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	57,8356	60,9899
Ca	Ca00	Ca-KA	89,2457	22,4917
Si	Si00	Si-KA	7,1090	7,6553
Al	Al00	Al-KA	3,1497	3,8704
Mg	Mg00	Mg-KA	0,6526	2,9464
S	S00	S -KA	3,6780	0,7997
K	K 00	K -KA	1,9891	0,7173
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1637	0,1719
Mn	Hv00	Mn-KA	0,6300	0,1613
P	P 00	P -KA	0,4585	0,0677
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1239	0,0448
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2651	0,0369
Ni	Hv00	Ni-KA	0,1023	0,0236
Sr	Hv00	Sr-KA	0,3973	0,0162
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1148	0,0037
Y	Hv00	Y -KA	0,0911	0,0032

Tabela 57 – Análise química normalizada do concreto Com 4.

Com 4				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	76,2176	70,8469
Ca	Ca00	Ca-KA	66,2221	15,1518
Si	Si00	Si-KA	6,4557	6,7841
Al	Al00	Al-KA	2,3665	2,8826
Mg	Mg00	Mg-Ka	0,5359	2,4228
S	S 00	S-Ka	3,5957	0,7499
K	Mg00	K-KA	1,3830	0,4690
Ti	Hv00	Ti-KA	0,4527	0,3762
Mn	P 00	Mn-KA	0,6933	0,1506
P	Hv00	P -KA	0,6615	0,0938
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1160	0,0334
Zn	Hv00	Zn-KA	0,1960	0,0272
Sr	Hv00	Sr-KA	0,2263	0,0093
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0745	0,0024

Tabela 58 – Análise química normalizada do concreto Com 5.

Com 5				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	65,6347	67,3318
Ca	Ca00	Ca-KA	80,1161	19,4486
Si	Si00	Si-KA	6,2220	6,7253
Al	Al00	Al-KA	2,2509	2,8186
Mg	Mg00S	Mg-KA	0,3489	1,6379
S	S 00	S -KA	3,2464	0,6972
K	K 00	K -KA	1,5385	0,5427
Mn	Hv00	Mn-KA	1,3442	0,3269
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1787	0,1720
Cl	Cl00	Cl-KA	0,1292	0,1497
P	P 00	P -KA	0,4861	0,0710
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2363	0,0342
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0877	0,0291
Sr	Hv00	Sr-KA	0,2862	0,0122
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0806	0,0027

Tabela 59 – Análise química normalizada do concreto Com 6.

Com 6				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	67,1356	67,8509
Ca	Ca00	Ca-KA	65,3530	16,4276
Si	Si00	Si-KA	7,4575	8,3293
Al	Al00	Al-KA	2,7572	3,5288
Mg	Mg00	Mg-KA	0,4363	2,0775
S	S 00	S -KA	3,0220	0,6846
K	K 00	K -KA	1,4971	0,5541
Mn	Hv00	Mn-KA	1,0962	0,2610
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1663	0,1550
P	P 00	P -KA	0,3461	0,0533
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0792	0,0254
Zn	Hv00	Zn-KA	0,1462	0,0214
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0759	0,0184
Sr	Hv00	Sr-KA	0,2151	0,0093
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0969	0,0033

Tabela 60 – Análise química normalizada do concreto Com 7.

Com 7				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	52,4104	60,3266
Ca	Ca00	Ca-KA	85,5496	23,3773
Si	Si00	Si-KA	7,0752	8,1323
Al	Al00	Al-KA	2,7089	3,5623
Mg	Mg00	Mg-Ka	0,5052	2,4571
S	S 00	S -KA	3,7969	0,0082
K	K 00	K -KA	1,9128	0,7448
Mn	Hv00	Mn-KA	0,6618	0,1856
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1491	0,1723
P	P 00	P -KA	0,3706	0,0589
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2579	0,0386
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0901	0,0358
Sr	Hv00	Sr-KA	0,3584	0,0158
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1274	0,0044

Tabela 61 – Análise química normalizada do concreto Com 8.

Com 8				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	51,3651	61,4590
Ca	Ca00	Ca-KA	85,2288	23,7359
Si	Si00	Si-KA	5,4087	6,4927
Al	Al00	Al-KA	2,9496	4,0334
Mg	Mg00	Mg-KA	0,4088	2,0799
S	S 00	S -KA	3,2969	0,7862
K	K 00	K -KA	1,6784	0,6657
Mn	Hv00	Mn-KA	0,7665	0,2227
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1536	0,1831
Cl	Cl00	Cl-KA	0,1152	0,1487
P	P 00	P -KA	0,4573	0,0741
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2450	0,0385
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0937	0,0384
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0789	0,0206
Sr	Hv00	Sr-KA	0,3675	0,0169
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1176	0,0042

Tabela 62 – Análise química normalizada do concreto Com 9.

Com 8				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KA	249,9513	56,6552
Ca	Ca00	Ca-KA	90,5547	25,6279
Si	Si00	Si-KA	6,8902	8,0134
Mg	Mg00	Mg-KA	0,6380	3,1323
Al	Al00	Al-KA	2,3329	3,1249
S	S 00	S -KA	5,0103	1,1877
K	K 00	K -KA	2,0143	0,8037
Ti	Hv00	Ti-KA	0,5051	0,6292
Mn	Hv00	Mn-KB1	0,3406	0,5370
P	P 00	P -KA	0,7349	0,1181
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1613	0,0698
Zn	Hv00	Zn-KA	0,3550	0,0537
Sr	Hv00	Sr-KA	0,4756	0,0211
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0781	0,0197
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1513	0,0052

Tabela 63 – Análise química normalizada do concreto Com 10.

Com 10				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	61,7634	66,1063
Ca	Ca00	Ca-KA	69,5705	18,1996
Si	Si00	Si-KA	6,3408	7,3490
Al	Al00	Al-KA	2,6951	3,5822
Mg	Mg00	Mg-KA	0,5365	2,6346
S	S 00	S -KA	3,5713	0,8305
K	K 00	K -KA	1,5377	0,5874
Ti	Hv00	Ti-KA	0,3290	0,3315
Mn	Hv00	Mn-KA	0,6623	0,1687
P	P 00	P -KA	0,7360	0,1162
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1056	0,0367
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2083	0,0314
Sr	Hv00	Sr-KA	0,4939	0,0219
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1153	0,0040

Tabela 64 – Análise química normalizada do concreto Com 11.

Com 11				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	75,0271	69,8796
Ca	Ca00	Ca-KA	67,5771	15,6020
Si	Si00	Si-KA	7,3178	7,6564
Al	Al00	Al-KA	2,4653	2,9819
Mg	Mg00	Mg-KA	0,5169	2,3214
S	S 00	S-KA	3,3973	0,7136
K	K 00	K -KA	1,2767	0,4366
Mn	Hv00	Mn-KA	0,8216	0,1793
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1590	0,1342
P	P 00	P -KA	0,3113	0,0445
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0755	0,0219
Zn	Hv00	Zn-KA	0,1479	0,0204
Sr	Hv00	Sr-KA	0,1619	0,0066
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0536	0,0017

Tabela 65 – Análise química normalizada do concreto Com 12.

Com 12				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	64,4108	66,8160
Ca	Ca00	Ca-KA	68,7654	17,4121
Si	Si00	Si-KA	6,6522	7,4844
Al	Al00	Al-KA	2,3525	3,0567
Mg	Mg00	Mg-KA	0,5687	2,7280
S	S 00	S -KA	4,1861	0,9462
K	K 00	K -KA	1,4449	0,5366
Ti	Hv00	Ti-KA	0,5102	0,4904
Mn	Hv00	Mn-KA	1,0785	0,2648
P	P 00	P -KA	0,5836	0,0896
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1799	0,0600
V	Hv00	V -KA	0,0997	0,0540
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2059	0,0304
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0738	0,0181
Sr	Hv00	Sr-KA	0,2463	0,0107
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0592	0,0020

Tabela 66 – Análise química normalizada do concreto Com 13.

Com 13				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	68,2912	70,9636
Ca	Ca00	Ca-KA	67,0406	16,7328
Si	Si00	Si-KA	5,3884	6,1578
Al	Al00	Al-KA	1,8142	2,4181
Mg	Mg00	Mg-KA	0,3630	1,8113
S	S 00	S -KA	2,8783	0,6472
K	K 00	K -KA	1,4250	0,5227
Mn	Hv00	Mn-KA	1,0237	0,2488
Cl	Cl00	Cl-KA	0,1589	0,1923
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1623	0,1525
P	P 00	P -KA	0,4620	0,0707
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0907	0,0293
Zn	Hv00	Zn-KA	0,1393	0,0214
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0747	0,0190
Sr	Hv00	Sr-KA	0,2200	0,0100
Zr	Hv00	Zr-KA	0,0701	0,0025

Tabela 67 – Análise química normalizada do concreto Com 14.

Com 14				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KA	285,2228	54,0618
Ca	Ca00	Ca-KA	110,5407	26,1256
Si	Si00	Si-KA	7,9260	7,5869
Mg	Mg00	Mg-KA	1,1103	4,4112
Al	Al00	Al-KA	2,7034	2,9881
S	S 00	S -KA	8,2863	1,6230
Ti	Hv00	Ti-KA	1,3232	1,3860
K	K 00	K -KA	2,1875	0,7293
P	P 00	P -KA	3,5366	0,4667
Mn	Hv00	Mn-KB1	0,3168	0,4194
Sr	Hv00	Sr-KA	1,5219	0,0545
Zn	Hv00	Zn-KA	0,4089	0,0500
Cr	Hv00	Cr-KA	0,1175	0,0433
Ni	Hv00	Ni-KA	0,1107	0,0225
Cu	Hv00	Cu-KA	0,1326	0,0219
Zr	Hv00	Zr-KA	0,2844	0,0080
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0680	0,0017

Tabela 68 – Análise química normalizada do concreto Com 15.

Com 15				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade (kcps)	Resultado (massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	44,8896	60,6386
Ca	Ca00	Ca-KA	80,1054	24,5410
Si	Si00	Si-KA	4,5915	5,9830
Mg	Mg00	Mg-KA	0,4706	2,6479
Al	Al00	Al-KA	1,5110	2,2988
S	S 00	S -KA	4,3271	1,1189
Ti	Hv00	Ti-KA	0,7752	1,0358
K	K 00	K -KA	1,6543	0,7178
Mn	Hv00	Mn-KA	1,0568	0,3475
P	P 00	P -KA	1,3826	0,2422
Cl	Cl00	Cl-KA	0,1450	0,2042
Sr	Hv00	Sr-KA	1,3385	0,0683
Zn	Hv00	Zn-KA	0,3023	0,0525
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0935	0,0437
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0883	0,0255
Cu	Hv00	Cu-KA	0,0984	0,0230
Zr	Hv00	Zr-KA	0,2444	0,0098
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0472	0,0016

Tabela 69 – Análise química normalizada do concreto Com 16.

Com 16				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade (kcps)	Resultado (massa %)
Fe	Hv00	Fe-KA	228,2025	53,8972
Ca	Ca00	Ca-KA	90,8866	26,1460
Si	Si00	Si-KA	5,7786	6,8141
Mg	Mg00	Mg-KA	0,8660	4,2768
Al	Al00	Al-KA	1,9946	2,7300
Ti	Hv00	Ti-KA	1,5798	2,0312
S	S 00	S -KA	6,5967	1,5717
K	K 00	K -KA	1,8559	0,7514
Mn	Hv00	Mn-KB1	0,3484	0,5754
P	P 00	P -KA	2,5916	0,4165
Na	Na00	Na-KA	0,0256	0,3321
V	Hv00	V -KA	0,2173	0,1576
Cr	Hv00	Cr-KA	0,2157	0,0989
Sr	Hv00	Sr-KA	1,7693	0,0785
Zn	Hv00	Zn-KA	0,4355	0,0660
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0966	0,0244
Cu	Hv00	Cu-KA	0,0870	0,0178
Zr	Hv00	Zr-KA	0,3515	0,0122
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0715	0,0022

Tabela 70 – Análise química normalizada do concreto Com 17.

Com 17				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	63,8050	60,3611
Ca	Ca00	Ca-KA	105,4027	23,5657
Si	Si00	Si-KA	8,4850	7,9922
Al	Al00	Al-KA	3,0409	3,2911
Mg	Mg00	Mg-KA	0,6604	2,6379
S	S 00	S -KA	5,0411	0,9642
K	K 00	K -KA	2,1622	0,6892
Ti	Hv00	Ti-KA	0,2229	0,2118
Mn	Hv00	Mn-KA	0,6969	0,1607
P	P 00	P -KA	0,3472	0,0451
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2932	0,0361
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0921	0,0301
Sr	Hv00	Sr-KA	0,3270	0,0118
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1035	0,0029

Tabela 71 – Análise química normalizada do concreto Com 18.

Com 18				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	44,3598	52,2213
Ca	Ca00	Ca-KA	118,0744	31,1750
Si	Si00	Si-KA	7,6597	7,9941
Al	Al00	Al-KA	2,7294	3,2678
Mg	Mg00	Mg-KA	0,5962	2,6313
S	S 00	S -KA	4,7165	1,0066
K	K 00	K -KA	2,4423	0,8868
Mn	Hv00	Mn-KA	0,9139	0,2696
Ti	Hv00	Ti-KA	0,1894	0,2404
Cl	Cl00	Cl-KA	0,0917	0,1066
P	P 00	P -KA	0,4549	0,0659
Zn	Hv00	Zn-KA	0,3764	0,0514
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0837	0,0366
Ni	Hv00	Ni-KA	0,1121	0,0255
Sr	Hv00	Sr-KA	0,4315	0,0172
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1284	0,0040

Tabela 72 – Análise química normalizada do concreto Com 19.

Com 19				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	52,7623	56,0415
Ca	Ca00	Ca-KA	104,5827	25,6612
Si	Si00	Si-KA	7,6941	7,7510
Mg	Mg00	Mg-KA	0,8195	3,4659
Al	Al00	Al-KA	2,7126	3,1467
S	S 00	S -KA	6,3646	1,3044
Ti	Hv00	Ti-KA	0,9502	1,0277
K	K 00	K -KA	2,2872	0,7913
Mn	Hv00	Mn-KA	1,4427	0,3771
P	P 00	P -KA	1,0464	0,1453
Cr	Hv00	Cr-KA	0,2810	0,1063
V	Hv00	V -KA	0,1193	0,0728
Zn	Hv00	Zn-KA	0,4856	0,0633
Ni	Hv00	Ni-KA	0,0927	0,0201
Sr	Hv00	Sr-KA	0,5182	0,0198
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1618	0,0048
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0305	0,0008

Tabela 73 – Análise química normalizada do concreto Com 20.

Com 20				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	55,5655	59,9358
Ca	Ca00	Ca-KA	67,5566	16,5598
Si	Si00	Si-KA	7,1105	7,4930
Ba	Hv00	Ba-LA	2,2780	6,7526
Al	Al00	Al-KA	2,4389	2,9267
Mg	Mg00	Mg-KA	0,5183	2,2865
S	S 00	S -KA	10,0362	2,1301
Na	Na00	Na-KA	0,0538	0,6072
K	K 00	K -KA	1,3425	0,4850
P	P 00	P -KA	1,7795	0,2552
Mn	Hv00	Mn-KA	0,8181	0,2180
Ti	Hv00	Ti-KA	0,2000	0,1828
Co	Hv00	Co-KA	0,3834	0,0537
Cl	Cl00	Cl-KA	0,0442	0,0519
Sr	Hv00	Sr-KA	0,8857	0,0346
Zn	Hv00	Zn-KA	0,1556	0,0206
Zr	Hv00	Zr-KA	0,1667	0,0051
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0566	0,0015

Tabela 74 – Análise química normalizada do concreto Com 21.

Com 21				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	28,7154	41,2479
Ca	Ca00	Ca-KA	91,2910	26,7571
Ba	Hv00	Ba-LA	2,6310	11,0828
Si	Si00	Si-KA	6,6930	7,5617
Mg	Mg00	Mg-KA	0,8287	3,7570
S	S 00	S -KA	13,4487	3,1148
Al	Al00	Al-KA	2,2814	2,8993
Ti	Hv00	Ti-KA	1,1896	1,5409
K	K 00	K -KA	1,7592	0,7283
P	P 00	P -KA	4,3034	0,6671
Mn	Hv00	Mn-KA	1,0306	0,3860
Sr	Hv00	Sr-KA	2,7955	0,1113
Zn	Hv00	Zn-KA	0,4021	0,0548
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0868	0,0458
Ni	Hv00	Ni-KA	0,1138	0,0258
Zr	Hv00	Zr-KA	0,4978	0,0155
Nb	Hv00	Nb-KA	0,1338	0,0036

Tabela 75 – Análise química normalizada do concreto Com 22.

Com 22				
Elemento	Meio	Espectro	Intensidade	Resultado
			(kcps)	(massa %)
Fe	Hv00	Fe-KB1	25,4712	36,9085
Ca	Ca00	Ca-KA	97,9701	28,8707
Ba	Hv00	Ba-LA	3,0568	13,2125
Si	Si00	Si-KA	8,2562	9,0254
S	S 00	S -KA	15,5360	3,5368
Al	Al00	Al-KA	2,8155	3,4091
Mg	Mg00	Mg-KA	0,6669	2,8988
K	K 00	K -KA	2,0413	0,8433
P	P 00	P -KA	2,4726	0,3778
Ti	Hv00	Ti-KA	0,2061	0,2734
Mn	Hv00	Mn-KA	0,6456	0,2471
Na	Na00	Na-KA	0,0196	0,2138
Sr	Hv00	Sr-KA	1,6158	0,0611
Cr	Hv00	Cr-KA	0,0898	0,0485
Zn	Hv00	Zn-KA	0,2739	0,0355
Ni	Hv00	Ni-KA	0,1225	0,0265
Zr	Hv00	Zr-KA	0,3005	0,0089
Nb	Hv00	Nb-KA	0,0923	0,0024

Tabela 77 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 2.

Com 2				Z	600 kev		800 kev			
Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w		m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0410	0,0398	0,49	0,0799	0,0033	4,06%	0,0701	0,0029	3,56%
Al	13,0000	0,0322	0,0312	0,42	0,0780	0,0025	3,11%	0,0684	0,0022	2,73%
Si	14,0000	0,0769	0,0746	1,08	0,0808	0,0062	7,70%	0,0708	0,0054	6,75%
P	15,0000	0,0338	0,0328	0,51	0,0785	0,0027	3,29%	0,0688	0,0023	2,88%
S	16,0000	0,0120	0,0117	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0009	1,18%
Cl	17,0000		0,0000	0,13	0,0780	0,0006	0,71%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0074	0,0072	0,14	0,0792	0,0006	0,73%	0,0693	0,0005	0,64%
Ca	20,0000	0,2655	0,2576	5,31	0,0815	0,0216	26,81%	0,0712	0,0189	23,43%
Ti	22,0000	0,0105	0,0102	0,23	0,0753	0,0008	0,98%	0,0657	0,0007	0,86%
V	23,0000	0,0010	0,0010	0,02	0,0741	0,0001	0,09%	0,0647	0,0001	0,08%
Cr	24,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0760	0,0000	0,04%	0,0662	0,0000	0,04%
Mn	25,0000	0,0026	0,0025	0,06	0,0751	0,0002	0,24%	0,0654	0,0002	0,21%
Fe	26,0000	0,5449	0,5287	14,17	0,0770	0,0420	52,01%	0,0670	0,0365	45,23%
Co	27,0000	0,0009	0,0008	0,02	0,0760	0,0001	0,08%	0,0660	0,0001	0,07%
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000	0,0002	0,0002	0,00	0,0763	0,0000	0,02%	0,0661	0,0000	0,01%
Zn	30,0000	0,0005	0,0005	0,02	0,0770	0,0000	0,05%	0,0666	0,0000	0,04%
Sr	38,0000	0,0006	0,0006	0,02	0,0757	0,0000	0,05%	0,0645	0,0000	0,05%
Zr	40,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0776	0,0000	0,01%	0,0657	0,0000	0,01%
Nb	41,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	21,97	m/r		100,00%	m/r		87,77%
Massa da parcela			1,0307 g		especifico			especifico		
Massa especifica da parcela			3,44 g/cm3		0,08071			0,07084		
										(cm ⁻¹)
										mi interpolado para 660 kev m= 0,26745615

Tabela 78 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 3.

Com 3				Z	600 kev		800 kev		
Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w		m/r	m/r	m/r	m/r	
					parcela		parcela		
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000
Mg	12,0000	0,0295	0,0295	0,35	0,0799	0,0024	3,00%	0,0701	0,0021
Al	13,0000	0,0387	0,0387	0,50	0,0780	0,0030	3,85%	0,0684	0,0026
Si	14,0000	0,0766	0,0766	1,07	0,0808	0,0062	7,89%	0,0708	0,0054
P	15,0000	0,0007	0,0007	0,01	0,0785	0,0001	0,07%	0,0688	0,0000
S	16,0000	0,0080	0,0080	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0006
Cl	17,0000		0,0000	0,12	0,0780	0,0006	0,71%	0,0683	0,0000
K	19,0000	0,0072	0,0072	0,14	0,0792	0,0006	0,72%	0,0693	0,0005
Ca	20,0000	0,2249	0,2249	4,50	0,0815	0,0183	23,38%	0,0712	0,0160
Ti	22,0000	0,0017	0,0017	0,04	0,0753	0,0001	0,17%	0,0657	0,0001
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000
Cr	24,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0760	0,0000	0,04%	0,0662	0,0000
Mn	25,0000	0,0016	0,0016	0,04	0,0751	0,0001	0,15%	0,0654	0,0001
Fe	26,0000	0,6099	0,6099	15,86	0,0770	0,0470	59,93%	0,0670	0,0409
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000
Zn	30,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0770	0,0000	0,04%	0,0666	0,0000
Sr	38,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0757	0,0000	0,02%	0,0645	0,0000
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000
			1,0000	22,67	m/r		100,00%	m/r	
Massa da parcela	1,0000	g			especifico			especifico	
Massa especifica da parcela	3,8	g/cm3			0,07840			0,06849	
(cm ⁻¹)									
mi interpolado para 660 kev								m= 0.28661041	

Tabela 79 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 4.

Com 4				Z	600 kev		800 kev			
Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w		m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0242	0,0242	0,29	0,0799	0,0019	2,49%	0,0701	0,0017	2,18%
Al	13,0000	0,0288	0,0288	0,37	0,0780	0,0022	2,89%	0,0684	0,0020	2,53%
Si	14,0000	0,0675	0,0675	0,94	0,0808	0,0055	7,00%	0,0708	0,0048	6,14%
P	15,0000	0,0009	0,0009	0,01	0,0785	0,0001	0,09%	0,0688	0,0001	0,08%
S	16,0000	0,0075	0,0075	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0006	0,76%
Cl	17,0000		0,0000	0,08	0,0780	0,0004	0,47%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0047	0,0047	0,09	0,0792	0,0004	0,48%	0,0693	0,0003	0,42%
Ca	20,0000	0,1515	0,1516	3,03	0,0815	0,0123	15,86%	0,0712	0,0108	13,86%
Ti	22,0000	0,0038	0,0038	0,08	0,0753	0,0003	0,36%	0,0657	0,0002	0,32%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0760	0,0000	0,03%	0,0662	0,0000	0,03%
Mn	25,0000	0,0015	0,0015	0,04	0,0751	0,0001	0,15%	0,0654	0,0001	0,13%
Fe	26,0000	0,7086	0,7087	18,42	0,0770	0,0546	70,14%	0,0670	0,0475	60,99%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000		0,0000	0,00	0,0794	0,0000	0,00%	0,0689	0,0000	0,00%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0770	0,0000	0,03%	0,0666	0,0000	0,02%
Sr	38,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0757	0,0000	0,01%	0,0645	0,0000	0,01%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	23,39	m/r	100,00%		m/r		87,47%
Massa da parcela		0,9998 g			especifico			especifico		
Massa especifica da parcela		3,47 g/cm3			0,07783			0,06808		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev m= 0.25992792

Tabela 80 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 5.

Composição				Z	600 kev		800 kev				
	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w		m/r	m/r	m/r	m/r			
					parcela		parcela				
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%	
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%	
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%	
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%	
Mg	12,0000	0,0164	0,0164	0,20	0,0799	0,0013	1,68%	0,0701	0,0011	1,47%	
Al	13,0000	0,0282	0,0282	0,37	0,0780	0,0022	2,82%	0,0684	0,0019	2,47%	
Si	14,0000	0,0673	0,0673	0,94	0,0808	0,0054	6,96%	0,0708	0,0048	6,10%	
P	15,0000	0,0007	0,0007	0,01	0,0785	0,0001	0,07%	0,0688	0,0000	0,06%	
S	16,0000	0,0070	0,0070	0,02	0,0810	0,0001	0,16%	0,0790	0,0006	0,71%	
Cl	17,0000	0,0015	0,0015	0,09	0,0780	0,0004	0,54%	0,0683	0,0001	0,13%	
K	19,0000	0,0054	0,0054	0,10	0,0792	0,0004	0,55%	0,0693	0,0004	0,48%	
Ca	20,0000	0,1945	0,1945	3,89	0,0815	0,0158	20,29%	0,0712	0,0139	17,74%	
Ti	22,0000	0,0017	0,0017	0,04	0,0753	0,0001	0,17%	0,0657	0,0001	0,14%	
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%	
Cr	24,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0662	0,0000	0,00%	
Mn	25,0000	0,0033	0,0033	0,08	0,0751	0,0002	0,31%	0,0654	0,0002	0,27%	
Fe	26,0000	0,6733	0,6735	17,51	0,0770	0,0519	66,42%	0,0670	0,0451	57,75%	
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%	
Ni	28,0000		0,0000	0,00	0,0794	0,0000	0,00%	0,0689	0,0000	0,00%	
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%	
Zn	30,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0770	0,0000	0,03%	0,0666	0,0000	0,03%	
Sr	38,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0757	0,0000	0,01%	0,0645	0,0000	0,01%	
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%	
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%	
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%	
			1,0000	23,27	m/r		100,00%	m/r		87,36%	
					especifico			especifico			
					0,07810			0,06823			
											cm ⁻¹
					mi interpolado para 660 kev						0.23594163

Tabela 81 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 6.

Composição	Numero Atomico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0208	0,0208	0,25	0,0799	0,0017	2,13%	0,0701	0,0015	1,86%
Al	13,0000	0,0353	0,0353	0,46	0,0780	0,0028	3,53%	0,0684	0,0024	3,09%
Si	14,0000	0,0833	0,0833	1,17	0,0808	0,0067	8,62%	0,0708	0,0059	7,55%
P	15,0000	0,0005	0,0005	0,01	0,0785	0,0000	0,05%	0,0688	0,0000	0,05%
S	16,0000	0,0068	0,0068	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0005	0,69%
Cl	17,0000		0,0000	0,09	0,0780	0,0004	0,55%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0055	0,0055	0,11	0,0792	0,0004	0,56%	0,0693	0,0004	0,49%
Ca	20,0000	0,1643	0,1643	3,29	0,0815	0,0134	17,14%	0,0712	0,0117	14,98%
Ti	22,0000	0,0016	0,0016	0,03	0,0753	0,0001	0,15%	0,0657	0,0001	0,13%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0760	0,0000	0,02%	0,0662	0,0000	0,02%
Mn	25,0000	0,0026	0,0026	0,07	0,0751	0,0002	0,25%	0,0654	0,0002	0,22%
Fe	26,0000	0,6785	0,6785	17,64	0,0770	0,0523	66,94%	0,0670	0,0455	58,21%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0770	0,0000	0,02%	0,0666	0,0000	0,02%
Sr	38,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0757	0,0000	0,01%	0,0645	0,0000	0,01%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	23,13	m/r específico		100,00%	m/r específico		87,35%
Massa da parcela	1,0000	g								
Massa especifica da parcela	3,59	g/cm3			0,07808			0,06821		
cm ⁻¹										
mi interpolado para 660 kev 0,26968261										

Tabela 82 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 7.

Composição	Numero Atomico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0246	0,0246	0,29	0,0799	0,0020	2,51%	0,0701	0,0017	2,20%
Al	13,0000	0,0356	0,0357	0,46	0,0780	0,0028	3,55%	0,0684	0,0024	3,11%
Si	14,0000	0,0813	0,0814	1,14	0,0808	0,0066	8,39%	0,0708	0,0058	7,36%
P	15,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0785	0,0000	0,01%	0,0688	0,0000	0,01%
S	16,0000	0,0089	0,0089	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0007	0,90%
Cl	17,0000		0,0000	0,13	0,0780	0,0006	0,74%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0074	0,0075	0,14	0,0792	0,0006	0,75%	0,0693	0,0005	0,66%
Ca	20,0000	0,2338	0,2341	4,68	0,0815	0,0190	24,33%	0,0712	0,0166	21,27%
Ti	22,0000	0,0017	0,0017	0,04	0,0753	0,0001	0,17%	0,0657	0,0001	0,14%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0662	0,0000	0,00%
Mn	25,0000	0,0019	0,0019	0,05	0,0751	0,0001	0,18%	0,0654	0,0001	0,15%
Fe	26,0000	0,6033	0,6041	15,68	0,0770	0,0465	59,37%	0,0670	0,0404	51,62%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000		0,0000	0,00	0,0794	0,0000	0,00%	0,0689	0,0000	0,00%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0770	0,0000	0,00%	0,0666	0,0000	0,00%
Sr	38,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0757	0,0000	0,00%	0,0645	0,0000	0,00%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,64	m/r	100,00%		m/r	87,43%	
Massa da parcela	0,9986	g			especifico			especifico		
Massa especifica da parcela	3,76	g/cm3			0,07829			0,06844		
cm ⁻¹										
mi interpolado para 660 kev 0.28325079										

Tabela 83 - Coeficiente de atenuação linear calculado Com 8.

Composição	Numero Atomico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0208	0,0208	0,25	0,0799	0,0017	2,12%	0,0701	0,0015	1,86%
Al	13,0000	0,0403	0,0403	0,52	0,0780	0,0031	4,02%	0,0684	0,0028	3,52%
Si	14,0000	0,0649	0,0649	0,91	0,0808	0,0052	6,69%	0,0708	0,0046	5,87%
P	15,0000	0,0007	0,0007	0,01	0,0785	0,0001	0,07%	0,0688	0,0001	0,07%
S	16,0000	0,0079	0,0079	0,02	0,0810	0,0001	0,15%	0,0790	0,0006	0,79%
Cl	17,0000	0,0015	0,0015	0,11	0,0780	0,0005	0,66%	0,0683	0,0001	0,13%
K	19,0000	0,0067	0,0067	0,13	0,0792	0,0005	0,67%	0,0693	0,0005	0,59%
Ca	20,0000	0,2374	0,2374	4,75	0,0815	0,0193	24,68%	0,0712	0,0169	21,57%
Ti	22,0000	0,0018	0,0018	0,04	0,0753	0,0001	0,18%	0,0657	0,0001	0,15%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0760	0,0000	0,04%	0,0662	0,0000	0,03%
Mn	25,0000	0,0022	0,0022	0,06	0,0751	0,0002	0,21%	0,0654	0,0001	0,19%
Fe	26,0000	0,6146	0,6146	15,98	0,0770	0,0473	60,42%	0,0670	0,0412	52,54%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0770	0,0000	0,04%	0,0666	0,0000	0,03%
Sr	38,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0757	0,0000	0,02%	0,0645	0,0000	0,01%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,81		m/r	100,00%		m/r	87,38%
						especifico			especifico	
						0,07836			0,06847	
Massa da parcela	1,0000	g								
Massa especifica da parcela	3,27	g/cm3								
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0.24653962

Tabela 84 - Coeficiente de atenuação linear calculado Com 9.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0313	0,0313	0,38	0,0799	0,0025	3,19%	0,0701	0,0022	2,80%
Al	13,0000	0,0312	0,0312	0,41	0,0780	0,0024	3,11%	0,0684	0,0021	2,73%
Si	14,0000	0,0801	0,0800	1,12	0,0808	0,0065	8,25%	0,0708	0,0057	7,23%
P	15,0000	0,0012	0,0012	0,02	0,0785	0,0001	0,12%	0,0688	0,0001	0,10%
S	16,0000	0,0119	0,0119	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0009	1,20%
Cl	17,0000		0,0000	0,14	0,0780	0,0006	0,80%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0080	0,0080	0,15	0,0792	0,0006	0,81%	0,0693	0,0006	0,71%
Ca	20,0000	0,2563	0,2558	5,13	0,0815	0,0209	26,62%	0,0712	0,0183	23,27%
Ti	22,0000	0,0063	0,0063	0,14	0,0753	0,0005	0,60%	0,0657	0,0004	0,53%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0007	0,0007	0,02	0,0760	0,0001	0,07%	0,0662	0,0000	0,06%
Mn	25,0000	0,0054	0,0054	0,13	0,0751	0,0004	0,51%	0,0654	0,0004	0,45%
Fe	26,0000	0,5666	0,5655	14,73	0,0770	0,0436	55,64%	0,0670	0,0380	48,38%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0020	0,0020	0,06	0,0794	0,0002	0,20%	0,0689	0,0001	0,17%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0005	0,0005	0,02	0,0770	0,0000	0,05%	0,0666	0,0000	0,05%
Sr	38,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0757	0,0000	0,02%	0,0645	0,0000	0,02%
Zr	40,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0776	0,0000	0,01%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,40	m/r		100,00%	m/r		87,69%
					especifico			especifico		
					0,07845			0,06879		
Massa da parcela	1,0018	g								
Massa especifica da parcela	3,49	g/cm3								
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0,26366638

Tabela 85 - Coeficiente de atenuação linear calculado Com 10.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0263	0,0260	0,32	0,0799	0,0021	2,66%	0,0701	0,0018	2,33%
Al	13,0000	0,0358	0,0354	0,47	0,0780	0,0028	3,53%	0,0684	0,0025	3,10%
Si	14,0000	0,0735	0,0726	1,03	0,0808	0,0059	7,51%	0,0708	0,0052	6,58%
P	15,0000	0,0012	0,0011	0,02	0,0785	0,0001	0,12%	0,0688	0,0001	0,10%
S	16,0000	0,0083	0,0082	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0007	0,83%
Cl	17,0000		0,0000	0,10	0,0780	0,0005	0,58%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0059	0,0058	0,11	0,0792	0,0005	0,59%	0,0693	0,0004	0,51%
Ca	20,0000	0,1900	0,1876	3,80	0,0815	0,0155	19,58%	0,0712	0,0135	17,11%
Ti	22,0000	0,0033	0,0033	0,07	0,0753	0,0002	0,32%	0,0657	0,0002	0,28%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0760	0,0000	0,04%	0,0662	0,0000	0,03%
Mn	25,0000	0,0017	0,0017	0,04	0,0751	0,0001	0,16%	0,0654	0,0001	0,14%
Fe	26,0000	0,6611	0,6527	17,19	0,0770	0,0509	64,41%	0,0670	0,0443	56,00%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000		0,0000	0,00	0,0794	0,0000	0,00%	0,0689	0,0000	0,00%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0031	0,0031	0,09	0,0770	0,0002	0,31%	0,0666	0,0002	0,26%
Sr	38,0000	0,0022	0,0022	0,08	0,0757	0,0002	0,21%	0,0645	0,0001	0,18%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	23,04	m/r	100,00%		m/r	87,47%	
		Massa da parcela	1,0128 g		específico			específico		
		Massa específica da parcela	3,72 g/cm3		0,07907			0,06917		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0.28309625

Tabela 86 - Coeficiente de atenuação linear calculado Com 11.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev m/r	m/r	800 kev m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0232	0,0232	0,28	0,0799	0,0019	2,38%	0,0701	0,0016	2,09%
Al	13,0000	0,0288	0,0288	0,37	0,0780	0,0022	2,89%	0,0684	0,0020	2,53%
Si	14,0000	0,0766	0,0766	1,07	0,0808	0,0062	7,95%	0,0708	0,0054	6,97%
P	15,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0785	0,0000	0,04%	0,0688	0,0000	0,04%
S	16,0000	0,0071	0,0071	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0006	0,72%
Cl	17,0000		0,0000	0,07	0,0780	0,0003	0,44%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0044	0,0044	0,08	0,0792	0,0003	0,44%	0,0693	0,0003	0,39%
Ca	20,0000	0,1560	0,1562	3,12	0,0815	0,0127	16,33%	0,0712	0,0111	14,28%
Ti	22,0000	0,0013	0,0013	0,03	0,0753	0,0001	0,13%	0,0657	0,0001	0,11%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0760	0,0000	0,02%	0,0662	0,0000	0,02%
Mn	25,0000	0,0018	0,0018	0,04	0,0751	0,0001	0,17%	0,0654	0,0001	0,15%
Fe	26,0000	0,6988	0,6995	18,17	0,0770	0,0538	69,17%	0,0670	0,0468	60,15%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000		0,0000	0,00	0,0794	0,0000	0,00%	0,0689	0,0000	0,00%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0770	0,0000	0,02%	0,0666	0,0000	0,02%
Sr	38,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0757	0,0000	0,01%	0,0645	0,0000	0,01%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	23,29	m/r	100,00%		m/r	87,47%	
		Massa da parcela	0,9990 g		específico			específico		
		Massa específica da parcela	3,3 g/cm3		0,07783			0,06808		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0,24718704

Tabela 87 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 12.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0273	0,0278	0,33	0,0799	0,0022	2,84%	0,0701	0,0019	2,50%
Al	13,0000	0,0306	0,0312	0,40	0,0780	0,0024	3,11%	0,0684	0,0021	2,73%
Si	14,0000	0,0748	0,0764	1,05	0,0808	0,0060	7,89%	0,0708	0,0053	6,92%
P	15,0000	0,0009	0,0009	0,01	0,0785	0,0001	0,09%	0,0688	0,0001	0,08%
S	16,0000	0,0009	0,0010	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0001	0,10%
Cl	17,0000		0,0000	0,01	0,0780	0,0000	0,05%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0005	0,0005	0,01	0,0792	0,0000	0,06%	0,0693	0,0000	0,05%
Ca	20,0000	0,1741	0,1777	3,48	0,0815	0,0142	18,52%	0,0712	0,0124	16,19%
Ti	22,0000	0,0005	0,0005	0,01	0,0753	0,0000	0,05%	0,0657	0,0000	0,04%
V	23,0000	0,0005	0,0006	0,01	0,0741	0,0000	0,05%	0,0647	0,0000	0,05%
Cr	24,0000	0,0006	0,0006	0,01	0,0760	0,0000	0,06%	0,0662	0,0000	0,05%
Mn	25,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0751	0,0000	0,03%	0,0654	0,0000	0,02%
Fe	26,0000	0,6682	0,6819	17,37	0,0770	0,0515	67,19%	0,0670	0,0448	58,42%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0770	0,0000	0,03%	0,0666	0,0000	0,03%
Sr	38,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0757	0,0000	0,01%	0,0645	0,0000	0,01%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	23,19	m/r	100,00%		m/r	87,19%	
		Massa da parcela	0,9799 g		específico			específico		
		Massa específica da parcela	3,19 g/cm3		0,07662			0,06680		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0.23501417

Tabela 88 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 13.

Composição	Numero Atomico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev				
					m/r	m/r	m/r	m/r			
					parcela		parcela				
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%	
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%	
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%	
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%	
Mg	12,0000		0,0000	0,00	0,0799	0,0000	0,00%	0,0701	0,0000	0,00%	
Al	13,0000	0,0242	0,0258	0,31	0,0780	0,0019	2,58%	0,0684	0,0017	2,26%	
Si	14,0000	0,0181	0,0193	0,25	0,0808	0,0015	2,00%	0,0708	0,0013	1,76%	
P	15,0000	0,0007	0,0008	0,01	0,0785	0,0001	0,08%	0,0688	0,0000	0,07%	
S	16,0000	0,0065	0,0069	0,03	0,0810	0,0002	0,21%	0,0790	0,0005	0,70%	
Cl	17,0000	0,0019	0,0020	0,09	0,0780	0,0004	0,56%	0,0683	0,0001	0,18%	
K	19,0000	0,0052	0,0056	0,10	0,0792	0,0004	0,57%	0,0693	0,0004	0,50%	
Ca	20,0000	0,1673	0,1783	3,35	0,0815	0,0136	18,66%	0,0712	0,0119	16,31%	
Ti	22,0000	0,0015	0,0016	0,03	0,0753	0,0001	0,16%	0,0657	0,0001	0,14%	
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%	
Cr	24,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0760	0,0000	0,03%	0,0662	0,0000	0,03%	
Mn	25,0000	0,0025	0,0027	0,06	0,0751	0,0002	0,26%	0,0654	0,0002	0,22%	
Fe	26,0000	0,7096	0,7562	18,45	0,0770	0,0547	74,84%	0,0670	0,0475	65,08%	
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%	
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%	
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%	
Zn	30,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0770	0,0000	0,02%	0,0666	0,0000	0,02%	
Sr	38,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0757	0,0000	0,01%	0,0645	0,0000	0,01%	
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%	
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%	
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%	
			1,0000	24,20	m/r		100,00%	m/r		87,29%	
		Massa da parcela	0,9384 g		especifico			especifico			
		Massa especifica da parcela	2,87 g/cm3		0,07305			0,06376			
										cm ⁻¹	
										mi interpolado para 660 kev	0,2017

Tabela 89 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 14.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0441	0,0441	0,53	0,0799	0,0035	4,52%	0,0701	0,0031	3,97%
Al	13,0000	0,0299	0,0299	0,39	0,0780	0,0023	2,99%	0,0684	0,0020	2,62%
Si	14,0000	0,0759	0,0759	1,06	0,0808	0,0061	7,86%	0,0708	0,0054	6,89%
P	15,0000	0,0047	0,0047	0,07	0,0785	0,0004	0,47%	0,0688	0,0003	0,41%
S	16,0000	0,0162	0,0162	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0013	1,64%
Cl	17,0000		0,0000	0,12	0,0780	0,0006	0,73%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0073	0,0073	0,14	0,0792	0,0006	0,74%	0,0693	0,0005	0,65%
Ca	20,0000	0,2613	0,2613	5,23	0,0815	0,0213	27,31%	0,0712	0,0186	23,87%
Ti	22,0000	0,0139	0,0139	0,30	0,0753	0,0010	1,34%	0,0657	0,0009	1,17%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0760	0,0000	0,04%	0,0662	0,0000	0,04%
Mn	25,0000	0,0042	0,0042	0,10	0,0751	0,0003	0,40%	0,0654	0,0003	0,35%
Fe	26,0000	0,5406	0,5406	14,06	0,0770	0,0416	53,43%	0,0670	0,0362	46,46%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0763	0,0000	0,02%	0,0661	0,0000	0,02%
Zn	30,0000	0,0005	0,0005	0,02	0,0770	0,0000	0,05%	0,0666	0,0000	0,04%
Sr	38,0000	0,0005	0,0005	0,02	0,0757	0,0000	0,05%	0,0645	0,0000	0,05%
Zr	40,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0776	0,0000	0,01%	0,0657	0,0000	0,01%
Nb	41,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,07		m/r	100,00%		m/r	88,21%
						especifico			especifico	
						0,07795			0,06876	
Massa da parcela	1,0000	g								
Massa especifica da parcela	3,23	g/cm3								
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0,24286086

Tabela 90 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 15.

Composição	Numero Atomico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0265	0,0267	0,32	0,0799	0,0021	2,74%	0,0701	0,0019	2,41%
Al	13,0000	0,0230	0,0231	0,30	0,0780	0,0018	2,33%	0,0684	0,0016	2,04%
Si	14,0000	0,0598	0,0602	0,84	0,0808	0,0048	6,26%	0,0708	0,0042	5,49%
P	15,0000	0,0024	0,0024	0,04	0,0785	0,0002	0,25%	0,0688	0,0002	0,22%
S	16,0000	0,0112	0,0113	0,03	0,0810	0,0002	0,21%	0,0790	0,0009	1,15%
Cl	17,0000	0,0020	0,0021	0,01	0,0780	0,0001	0,07%	0,0683	0,0001	0,18%
K	19,0000	0,0007	0,0007	0,01	0,0792	0,0001	0,07%	0,0693	0,0000	0,06%
Ca	20,0000	0,2454	0,2470	4,91	0,0815	0,0200	25,92%	0,0712	0,0175	22,66%
Ti	22,0000	0,0104	0,0104	0,23	0,0753	0,0008	1,01%	0,0657	0,0007	0,88%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0760	0,0000	0,04%	0,0662	0,0000	0,04%
Mn	25,0000	0,0035	0,0035	0,09	0,0751	0,0003	0,34%	0,0654	0,0002	0,29%
Fe	26,0000	0,6064	0,6103	15,77	0,0770	0,0467	60,57%	0,0670	0,0406	52,66%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0794	0,0000	0,03%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0763	0,0000	0,02%	0,0661	0,0000	0,02%
Zn	30,0000	0,0005	0,0005	0,02	0,0770	0,0000	0,05%	0,0666	0,0000	0,05%
Sr	38,0000	0,0007	0,0007	0,03	0,0757	0,0001	0,07%	0,0645	0,0000	0,06%
Zr	40,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0776	0,0000	0,01%	0,0657	0,0000	0,01%
Nb	41,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,76						
					m/r	100,00%		m/r	88,24%	
					especifico			especifico		
					0,07713			0,06806		
Massa da parcela	0,9935	g								
Massa especifica da parcela	2,74	g/cm3								
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0.20388616

Tabela 91 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 16.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000	0,0033	0,0033	0,04	0,0774	0,0003	0,33%	0,0679	0,0002	0,29%
Mg	12,0000	0,0428	0,0428	0,51	0,0799	0,0034	4,38%	0,0701	0,0030	3,85%
Al	13,0000	0,0273	0,0273	0,35	0,0780	0,0021	2,73%	0,0684	0,0019	2,40%
Si	14,0000	0,0681	0,0681	0,95	0,0808	0,0055	7,06%	0,0708	0,0048	6,19%
P	15,0000	0,0042	0,0042	0,06	0,0785	0,0003	0,42%	0,0688	0,0003	0,37%
S	16,0000	0,0157	0,0157	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0012	1,59%
Cl	17,0000		0,0000	0,13	0,0780	0,0006	0,75%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0075	0,0075	0,14	0,0792	0,0006	0,76%	0,0693	0,0005	0,67%
Ca	20,0000	0,2615	0,2615	5,23	0,0815	0,0213	27,33%	0,0712	0,0186	23,89%
Ti	22,0000	0,0203	0,0203	0,45	0,0753	0,0015	1,96%	0,0657	0,0013	1,71%
V	23,0000	0,0016	0,0016	0,04	0,0741	0,0001	0,15%	0,0647	0,0001	0,13%
Cr	24,0000	0,0010	0,0010	0,02	0,0760	0,0001	0,10%	0,0662	0,0001	0,08%
Mn	25,0000	0,0058	0,0058	0,14	0,0751	0,0004	0,55%	0,0654	0,0004	0,48%
Fe	26,0000	0,5390	0,5390	14,01	0,0770	0,0415	53,27%	0,0670	0,0361	46,32%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0763	0,0000	0,02%	0,0661	0,0000	0,02%
Zn	30,0000	0,0007	0,0007	0,02	0,0770	0,0001	0,07%	0,0666	0,0000	0,06%
Sr	38,0000	0,0008	0,0008	0,03	0,0757	0,0001	0,08%	0,0645	0,0001	0,06%
Zr	40,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0776	0,0000	0,01%	0,0657	0,0000	0,01%
Nb	41,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,15						
					m/r	100,00%		m/r	88,14%	
					especifico			especifico		
					0,07795			0,06870		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev
										0.23604945

Tabela 92 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 17.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0264	0,0264	0,32	0,0799	0,0021	2,69%	0,0701	0,0018	2,36%
Al	13,0000	0,0329	0,0329	0,43	0,0780	0,0026	3,28%	0,0684	0,0023	2,88%
Si	14,0000	0,0799	0,0799	1,12	0,0808	0,0065	8,24%	0,0708	0,0057	7,23%
P	15,0000	0,0005	0,0005	0,01	0,0785	0,0000	0,05%	0,0688	0,0000	0,04%
S	16,0000	0,0096	0,0096	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0008	0,97%
Cl	17,0000		0,0000	0,12	0,0780	0,0005	0,69%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0069	0,0069	0,13	0,0792	0,0005	0,70%	0,0693	0,0005	0,61%
Ca	20,0000	0,2357	0,2357	4,71	0,0815	0,0192	24,52%	0,0712	0,0168	21,44%
Ti	22,0000	0,0021	0,0021	0,05	0,0753	0,0002	0,20%	0,0657	0,0001	0,18%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0760	0,0000	0,03%	0,0662	0,0000	0,03%
Mn	25,0000	0,0016	0,0016	0,04	0,0751	0,0001	0,15%	0,0654	0,0001	0,13%
Fe	26,0000	0,6036	0,6036	15,69	0,0770	0,0465	59,39%	0,0670	0,0404	51,65%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000		0,0000	0,00	0,0794	0,0000	0,00%	0,0689	0,0000	0,00%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0770	0,0000	0,04%	0,0666	0,0000	0,03%
Sr	38,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0757	0,0000	0,01%	0,0645	0,0000	0,01%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,64						
					m/r	100,00%		m/r	87,55%	
					especifico			especifico		
					0,07829			0,06855		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev
										0.27811612

Tabela 93 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 18.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev			800 kev		
					m/r	m/r		m/r	m/r	
					parcela			parcela		
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0263	0,0263	0,32	0,0799	0,0021	2,67%	0,0701	0,0018	2,34%
Al	13,0000	0,0327	0,0327	0,42	0,0780	0,0025	3,24%	0,0684	0,0022	2,84%
Si	14,0000	0,0799	0,0799	1,12	0,0808	0,0065	8,20%	0,0708	0,0057	7,19%
P	15,0000	0,0007	0,0007	0,01	0,0785	0,0001	0,07%	0,0688	0,0000	0,06%
S	16,0000	0,0101	0,0101	0,02	0,0810	0,0001	0,11%	0,0790	0,0008	1,01%
Cl	17,0000	0,0011	0,0011	0,15	0,0780	0,0007	0,88%	0,0683	0,0001	0,09%
K	19,0000	0,0089	0,0089	0,17	0,0792	0,0007	0,89%	0,0693	0,0006	0,78%
Ca	20,0000	0,3118	0,3117	6,24	0,0815	0,0254	32,25%	0,0712	0,0222	28,19%
Ti	22,0000	0,0024	0,0024	0,05	0,0753	0,0002	0,23%	0,0657	0,0002	0,20%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0760	0,0000	0,04%	0,0662	0,0000	0,03%
Mn	25,0000	0,0027	0,0027	0,07	0,0751	0,0002	0,26%	0,0654	0,0002	0,22%
Fe	26,0000	0,5222	0,5222	13,58	0,0770	0,0402	51,08%	0,0670	0,0350	44,42%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0794	0,0000	0,03%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0005	0,0005	0,02	0,0770	0,0000	0,05%	0,0666	0,0000	0,04%
Sr	38,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0757	0,0000	0,02%	0,0645	0,0000	0,01%
Zr	40,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0776	0,0000	0,00%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000		0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,18						
					m/r		100,00%	m/r		87,45%
					especifico			especifico		
					0,07876			0,06888		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0,26755823

Tabela 94 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 19.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev			800 kev		
					m/r	m/r		m/r	m/r	
					parcela			parcela		
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000		0,0000	0,00	0,0774	0,0000	0,00%	0,0679	0,0000	0,00%
Mg	12,0000	0,0347	0,0346	0,42	0,0799	0,0028	3,54%	0,0701	0,0024	3,10%
Al	13,0000	0,0315	0,0315	0,41	0,0780	0,0025	3,14%	0,0684	0,0022	2,75%
Si	14,0000	0,0775	0,0775	1,09	0,0808	0,0063	8,00%	0,0708	0,0055	7,02%
P	15,0000	0,0015	0,0015	0,02	0,0785	0,0001	0,15%	0,0688	0,0001	0,13%
S	16,0000	0,0130	0,0130	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790	0,0010	1,32%
Cl	17,0000		0,0000	0,13	0,0780	0,0006	0,79%	0,0683	0,0000	0,00%
K	19,0000	0,0079	0,0079	0,15	0,0792	0,0006	0,80%	0,0693	0,0005	0,70%
Ca	20,0000	0,2566	0,2565	5,13	0,0815	0,0209	26,73%	0,0712	0,0183	23,36%
Ti	22,0000	0,0103	0,0103	0,23	0,0753	0,0008	0,99%	0,0657	0,0007	0,86%
V	23,0000	0,0007	0,0007	0,02	0,0741	0,0001	0,07%	0,0647	0,0000	0,06%
Cr	24,0000	0,0011	0,0011	0,03	0,0760	0,0001	0,10%	0,0662	0,0001	0,09%
Mn	25,0000	0,0038	0,0038	0,09	0,0751	0,0003	0,36%	0,0654	0,0002	0,32%
Fe	26,0000	0,5604	0,5602	14,57	0,0770	0,0432	55,19%	0,0670	0,0375	47,99%
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660	0,0000	0,00%
Ni	28,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0794	0,0000	0,02%	0,0689	0,0000	0,02%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0006	0,0006	0,02	0,0770	0,0000	0,06%	0,0666	0,0000	0,05%
Sr	38,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0757	0,0000	0,02%	0,0645	0,0000	0,02%
Zr	40,0000	0,0005	0,0005	0,02	0,0776	0,0000	0,05%	0,0657	0,0000	0,04%
Nb	41,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000		0,0000	0,00	0,0841	0,0000	0,00%	0,0674	0,0000	0,00%
			1,0000	22,32						
					m/r		100,00%	m/r		87,82%
					especifico			especifico		
					0,07823			0,06871		
										cm ⁻¹
										mi interpolado para 660 kev 0,26607811

Tabela 95 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 20.

Composição	Numero Atomico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev		800 kev			
					m/r	m/r	m/r	m/r		
					parcela		parcela			
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405	0,0000	0,00%
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708	0,0000	0,00%
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709	0,0000	0,00%
Na	11,0000	0,0061	0,0061	0,07	0,0774	0,0005	0,61%	0,0679	0,0004	0,53%
Mg	12,0000	0,0229	0,0229	0,27	0,0799	0,0018	2,36%	0,0701	0,0016	2,07%
Al	13,0000	0,0293	0,0293	0,38	0,0780	0,0023	2,95%	0,0684	0,0020	2,59%
Si	14,0000	0,0749	0,0749	1,05	0,0808	0,0061	7,82%	0,0708	0,0053	6,86%
P	15,0000	0,0026	0,0026	0,04	0,0785	0,0002	0,26%	0,0688	0,0002	0,23%
S	16,0000	0,0213	0,0213	0,01	0,0810	0,0000	0,05%	0,0790	0,0017	2,17%
Cl	17,0000	0,0005	0,0005	0,08	0,0780	0,0004	0,49%	0,0683	0,0000	0,05%
K	19,0000	0,0049	0,0048	0,09	0,0792	0,0004	0,50%	0,0693	0,0003	0,43%
Ca	20,0000	0,1656	0,1656	3,31	0,0815	0,0135	17,44%	0,0712	0,0118	15,24%
Ti	22,0000	0,0018	0,0018	0,04	0,0753	0,0001	0,18%	0,0657	0,0001	0,16%
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647	0,0000	0,00%
Cr	24,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0662	0,0000	0,00%
Mn	25,0000	0,0022	0,0022	0,05	0,0751	0,0002	0,21%	0,0654	0,0001	0,18%
Fe	26,0000	0,5994	0,5994	15,58	0,0770	0,0462	59,68%	0,0670	0,0402	51,89%
Co	27,0000	0,0005	0,0005	0,01	0,0760	0,0000	0,05%	0,0660	0,0000	0,05%
Ni	28,0000		0,0000	0,00	0,0794	0,0000	0,00%	0,0689	0,0000	0,00%
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661	0,0000	0,00%
Zn	30,0000	0,0002	0,0002	0,01	0,0770	0,0000	0,02%	0,0666	0,0000	0,02%
Sr	38,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0757	0,0000	0,03%	0,0645	0,0000	0,03%
Zr	40,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0776	0,0000	0,01%	0,0657	0,0000	0,00%
Nb	41,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664	0,0000	0,00%
Ba	56,0000	0,0675	0,0675	3,78	0,0841	0,0057	7,34%	0,0674	0,0046	5,89%
			1,0000	24,80		m/r	100,00%		m/r	88,39%
						especifico			especifico	
						0,07737			0,06839	
Massa da parcela	1,0000	g								
Massa especifica da parcela	3,15	g/cm3								

Tabela 97 – Coeficiente de atenuação linear calculado Com 22.

Composição	Numero Atômico	Massa da parcela	Parcela adimensional w	Z	600 kev m/r	m/r	800 kev m/r	m/r
					parcela		parcela	
H	1,0000		0,0000	0,00	0,1599	0,0000	0,00%	0,1405
C	6,0000		0,0000	0,00	0,0806	0,0000	0,00%	0,0708
O	8,0000		0,0000	0,00	0,0807	0,0000	0,00%	0,0709
Na	11,0000	0,0021	0,0021	0,02	0,0774	0,0002	0,21%	0,0679
Mg	12,0000	0,0290	0,0290	0,35	0,0799	0,0023	2,98%	0,0701
Al	13,0000	0,0341	0,0341	0,44	0,0780	0,0027	3,43%	0,0684
Si	14,0000	0,0903	0,0903	1,26	0,0808	0,0073	9,39%	0,0708
P	15,0000	0,0038	0,0038	0,06	0,0785	0,0003	0,38%	0,0688
S	16,0000	0,0354	0,0354	0,00	0,0810	0,0000	0,00%	0,0790
Cl	17,0000		0,0000	0,14	0,0780	0,0007	0,85%	0,0683
K	19,0000	0,0084	0,0084	0,16	0,0792	0,0007	0,86%	0,0693
Ca	20,0000	0,2887	0,2887	5,77	0,0815	0,0235	30,29%	0,0712
Ti	22,0000	0,0027	0,0027	0,06	0,0753	0,0002	0,27%	0,0657
V	23,0000		0,0000	0,00	0,0741	0,0000	0,00%	0,0647
Cr	24,0000	0,0005	0,0005	0,01	0,0760	0,0000	0,05%	0,0662
Mn	25,0000	0,0025	0,0025	0,06	0,0751	0,0002	0,24%	0,0654
Fe	26,0000	0,3691	0,3691	9,60	0,0770	0,0284	36,62%	0,0670
Co	27,0000		0,0000	0,00	0,0760	0,0000	0,00%	0,0660
Ni	28,0000	0,0003	0,0003	0,01	0,0794	0,0000	0,03%	0,0689
Cu	29,0000		0,0000	0,00	0,0763	0,0000	0,00%	0,0661
Zn	30,0000	0,0004	0,0004	0,01	0,0770	0,0000	0,04%	0,0666
Sr	38,0000	0,0006	0,0006	0,02	0,0757	0,0000	0,06%	0,0645
Zr	40,0000	0,0001	0,0001	0,00	0,0776	0,0000	0,01%	0,0657
Nb	41,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0786	0,0000	0,00%	0,0664
Ba	56,0000	0,1321	0,1321	7,40	0,0841	0,0111	14,31%	0,0674
			1,0000	25,39		m/r	100,00%	m/r
						especifico		especifico
						0,07765		0,06920
Massa da parcela	1,0000	g						cm ⁻¹
Massa especifica do concreto	3,58	g/cm3						mi interpolado para 660 kev (cm ⁻¹)
								0,26891966

Na tabela (98) é apresentado o resumo dos dados obtidos, e são relacionados os coeficientes de atenuação linear calculados, as massas específicas e os coeficientes mássicos de atenuação.

Tabela 98 – Resumos dos dados encontrados para os coeficientes de atenuação linear calculados.

Concreto	Coeficiente de atenuação linear calculado (cm^{-1}) para 660 keV	Massa específica (kg/dm^3)	Coeficiente mássico de atenuação linear calculado (μ/ρ) (cm^2/g)
1	0,2821	3,72	0,0758
2	0,2675	3,44	0,0777
3	0,2791	3,70	0,0753
4	0,2599	3,47	0,0749
5	0,2359	3,14	0,0751
6	0,2697	3,59	0,0751
7	0,2833	3,76	0,0753
8	0,2465	3,27	0,0754
9	0,2637	3,49	0,0755
10	0,2831	3,72	0,0761
11	0,2472	3,30	0,0749
12	0,2350	3,19	0,0737
13	0,2017	2,87	0,0703
14	0,2429	3,23	0,0752
15	0,2039	2,74	0,0744
16	0,2360	3,14	0,0752
17	0,2781	3,69	0,0754
18	0,2675	3,53	0,0758
19	0,2661	3,53	0,0754
20	0,2352	3,15	0,0747
21	0,2378	3,17	0,0750
22	0,2689	3,58	0,0751

4.7 Resultados dos ensaios para determinação dos coeficientes de atenuação linear para a energia de 660 keV.

Nas tabelas a seguir (99-119) são apresentados os dados dos ensaios de atenuação realizados, conforme figura (19), apresentada na página 57 desta tese. Na coluna PosX é mostrada a posição da linha na qual a contagem dos fótons foi realizada, na coluna PosY é mostrada a posição no eixo Y em que as medições foram feitas.

A coluna contagem, como o nome sugere, refere-se à contagem dos fótons, e a coluna I/I_0 refere-se à razão entre os fótons emitidos pela fonte e os detectados no detector, (mi) é o coeficiente de atenuação linear para a espessura de 1 cm, e a coluna (m) mostra o valor corrigido para a espessura de 4 cm.

Tabela 99 - Concreto 1, corpo de prova número AM 5.

$I_0 = 616570$								
Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I_0	mi	desvio	mcorrigido
06/12/2013	17:25	10000	100000	256148	0,41544	0,878	0,002	0,219604
06/12/2013	17:26	30000	100000	211960	0,343773	1,068	0,002	0,266944
06/12/2013	17:27	50000	100000	224603	0,364278	1,010	0,002	0,252459
06/12/2013	17:29	70000	100000	241769	0,392119	0,936	0,002	0,234047
06/12/2013	17:30	10000	110000	198999	0,322752	1,131	0,002	0,282718
06/12/2013	17:31	30000	110000	186338	0,302217	1,197	0,002	0,299152
06/12/2013	17:32	50000	110000	211593	0,343178	1,070	0,002	0,267377
06/12/2013	17:33	70000	110000	165202	0,267937	1,317	0,003	0,329251
06/12/2013	17:35	10000	120000	187606	0,304274	1,190	0,002	0,297457
06/12/2013	17:36	30000	120000	193830	0,314368	1,157	0,002	0,289298
06/12/2013	17:37	50000	120000	193782	0,31429	1,157	0,002	0,289360
06/12/2013	17:38	70000	120000	233311	0,378401	0,972	0,002	0,242950
06/12/2013	17:40	10000	130000	220097	0,35697	1,030	0,002	0,257526
06/12/2013	17:41	30000	130000	193050	0,313103	1,161	0,002	0,290306
06/12/2013	17:42	50000	130000	211302	0,342706	1,071	0,002	0,267721
06/12/2013	17:43	70000	130000	199157	0,323008	1,130	0,002	0,282520
								0,27512

Tabela 100 - Concreto 2, corpo de prova número AM 7.

lo = 585223

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	mcorrigido
05/12/2013	18:30	10000	100000	244227	0,417323	0,874	0,002	0,218474
05/12/2013	18:32	30000	100000	235253	0,401989	0,911	0,002	0,227833
05/12/2013	18:33	50000	100000	229532	0,392213	0,936	0,002	0,233988
05/12/2013	18:34	70000	100000	243536	0,416142	0,877	0,002	0,219182
05/12/2013	18:35	10000	110000	197631	0,337702	1,086	0,002	0,271398
05/12/2013	18:36	30000	110000	219312	0,374749	0,981	0,002	0,245374
05/12/2013	18:38	50000	110000	194304	0,332017	1,103	0,002	0,275642
05/12/2013	18:39	70000	110000	182328	0,311553	1,166	0,002	0,291546
05/12/2013	18:40	10000	120000	215095	0,367544	1,001	0,002	0,250228
05/12/2013	18:41	30000	120000	175861	0,300503	1,202	0,002	0,300575
05/12/2013	18:42	50000	120000	206831	0,353423	1,040	0,002	0,260023
05/12/2013	18:44	70000	120000	166752	0,284938	1,255	0,003	0,313871
05/12/2013	18:45	10000	130000	216269	0,36955	0,995	0,002	0,248867
05/12/2013	18:46	30000	130000	228767	0,390906	0,939	0,002	0,234822
05/12/2013	18:47	50000	130000	187496	0,320384	1,138	0,002	0,284559
05/12/2013	18:49	70000	130000	199070	0,340161	1,078	0,002	0,269584
								0,255126

Tabela 101 - Concreto 3, corpo de prova número AM 12.

lo = 585223

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	mcorrigido
05/12/2013	14:30	10000	100000	223993	0,382748	0,960	0,002	0,240095
05/12/2013	14:32	30000	100000	219245	0,374635	0,982	0,002	0,245451
05/12/2013	14:33	50000	100000	219763	0,37552	0,979	0,002	0,244861
05/12/2013	14:34	70000	100000	221909	0,379187	0,970	0,002	0,242431
05/12/2013	14:35	10000	110000	182633	0,312074	1,165	0,002	0,291129
05/12/2013	14:36	30000	110000	191821	0,327774	1,115	0,002	0,278858
05/12/2013	14:38	50000	110000	171034	0,292254	1,230	0,003	0,307533
05/12/2013	14:39	70000	110000	178454	0,304933	1,188	0,002	0,298916
05/12/2013	14:40	10000	120000	206962	0,353646	1,039	0,002	0,259864
05/12/2013	14:41	30000	120000	162838	0,278249	1,279	0,003	0,319809
05/12/2013	14:43	50000	120000	202080	0,345304	1,063	0,002	0,265832
05/12/2013	14:44	70000	120000	191423	0,327094	1,118	0,002	0,279377
05/12/2013	14:45	10000	130000	197870	0,33811	1,084	0,002	0,271096
05/12/2013	14:46	30000	130000	191166	0,326655	1,119	0,002	0,279713
05/12/2013	14:47	50000	130000	207430	0,354446	1,037	0,002	0,259300
05/12/2013	14:49	70000	130000	227907	0,389436	0,943	0,002	0,235764
								0,268464

Tabela 102 - Concreto 4, corpo de prova número AM 21.

lo = 585223

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	mcorrigido
05/12/2013	13:37	10000	100000	235475	0,402368	0,910	0,002	0,227597
05/12/2013	13:38	30000	100000	244255	0,417371	0,874	0,002	0,218445
05/12/2013	13:39	50000	100000	245096	0,418808	0,870	0,002	0,217586
05/12/2013	13:40	70000	100000	244187	0,417255	0,874	0,002	0,218515
05/12/2013	13:41	10000	110000	206046	0,352081	1,044	0,002	0,260973
05/12/2013	13:43	30000	110000	210166	0,359121	1,024	0,002	0,256024
05/12/2013	13:44	50000	110000	224264	0,383211	0,959	0,002	0,239792
05/12/2013	13:45	70000	110000	201072	0,343582	1,088	0,002	0,267082
05/12/2013	13:46	10000	120000	195273	0,333673	1,098	0,002	0,274399
05/12/2013	13:47	30000	120000	210161	0,359113	1,024	0,002	0,25603
05/12/2013	13:49	50000	120000	139975	0,239182	1,431	0,003	0,357632
05/12/2013	13:50	70000	120000	173878	0,296772	1,215	0,003	0,303697
05/12/2013	13:51	10000	130000	219048	0,374298	0,983	0,002	0,245676
05/12/2013	13:52	30000	130000	197999	0,338331	1,084	0,002	0,270933
05/12/2013	13:54	50000	130000	220790	0,377275	0,975	0,002	0,243695
05/12/2013	13:55	70000	130000	184805	0,315786	1,153	0,002	0,288173
								0,256027

Tabela 103 - Concreto 5, corpo de prova número AM 27.

I_o = 585223

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I _o	mi	desvio	mcorrigido
05/12/2013	14:11	10000	100000	259724	0,443803	0,812	0,002	0,203093
05/12/2013	14:12	30000	100000	268674	0,459097	0,778	0,002	0,194624
05/12/2013	14:13	50000	100000	277808	0,474705	0,745	0,002	0,186266
05/12/2013	14:14	70000	100000	257815	0,440541	0,820	0,002	0,204938
05/12/2013	14:15	10000	110000	251150	0,429153	0,846	0,002	0,211486
05/12/2013	14:17	30000	110000	261787	0,447329	0,804	0,002	0,201115
05/12/2013	14:18	50000	110000	195037	0,33327	1,099	0,002	0,274701
05/12/2013	14:19	70000	110000	250120	0,427393	0,850	0,002	0,212513
05/12/2013	14:20	10000	120000	213731	0,365213	1,007	0,002	0,251819
05/12/2013	14:21	30000	120000	219107	0,374399	0,982	0,002	0,245808
05/12/2013	14:23	50000	120000	247082	0,422201	0,862	0,002	0,215568
05/12/2013	14:24	70000	120000	207315	0,35425	1,038	0,002	0,259438
05/12/2013	14:25	10000	130000	250963	0,428833	0,847	0,002	0,211672
05/12/2013	14:26	30000	130000	223561	0,38201	0,962	0,002	0,240577
05/12/2013	14:28	50000	130000	234249	0,400273	0,916	0,002	0,228902
05/12/2013	14:29	70000	130000	247794	0,423418	0,859	0,002	0,214849
								0,213681

Tabela 104 - Concreto 6, corpo de prova número AM 33.

I_o = 616570

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I _o	mi	desvio	mcorrigido
06/12/2013	18:10	10000	100000	257825	0,41816	0,872	0,002	0,217973
06/12/2013	18:11	30000	100000	255618	0,414581	0,880	0,002	0,220122
06/12/2013	18:12	50000	100000	262758	0,426161	0,853	0,002	0,213235
06/12/2013	18:14	70000	100000	262862	0,42633	0,853	0,002	0,213136
06/12/2013	18:15	10000	110000	255085	0,413716	0,883	0,002	0,220644
06/12/2013	18:16	30000	110000	183136	0,297024	1,214	0,002	0,303486
06/12/2013	18:17	50000	110000	241571	0,391798	0,937	0,002	0,234252
06/12/2013	18:18	70000	110000	243602	0,395092	0,929	0,002	0,232159
06/12/2013	18:20	10000	120000	244274	0,396182	0,926	0,002	0,231470
06/12/2013	18:21	30000	120000	205144	0,332718	1,100	0,002	0,275115
06/12/2013	18:22	50000	120000	216813	0,351644	1,045	0,002	0,261284
06/12/2013	18:23	70000	120000	240892	0,390697	0,940	0,002	0,234956
06/12/2013	18:25	10000	130000	207566	0,336646	1,089	0,002	0,272181
06/12/2013	18:26	30000	130000	222126	0,360261	1,021	0,002	0,255232
06/12/2013	18:27	50000	130000	199876	0,324174	1,126	0,002	0,281619
06/12/2013	18:28	70000	130000	209752	0,340192	1,078	0,002	0,269561
								0,234604

Tabela 105 - Concreto 7, corpo de prova número AM 36.

I_o = 616570

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I _o	mi	desvio	mcorrigido
07/12/2013	16:51	10000	100000	313113	0,50783	0,678	0,002	0,169402
07/12/2013	16:52	30000	100000	291966	0,473533	0,748	0,002	0,186884
07/12/2013	16:53	50000	100000	306801	0,497593	0,698	0,002	0,174493
07/12/2013	16:54	70000	100000	299122	0,485139	0,723	0,002	0,180830
07/12/2013	16:56	10000	110000	196584	0,318835	1,143	0,002	0,285771
07/12/2013	16:57	30000	110000	199395	0,323394	1,129	0,002	0,282221
07/12/2013	16:58	50000	110000	201528	0,326853	1,118	0,002	0,279561
07/12/2013	16:59	70000	110000	209469	0,339733	1,080	0,002	0,268899
07/12/2013	17:00	10000	120000	192606	0,312383	1,164	0,002	0,290881
07/12/2013	17:02	30000	120000	189448	0,307261	1,180	0,002	0,295014
07/12/2013	17:03	50000	120000	199530	0,323613	1,128	0,002	0,282052
07/12/2013	17:04	70000	120000	209339	0,339522	1,080	0,002	0,270054
07/12/2013	17:05	10000	130000	210771	0,341844	1,073	0,002	0,268350
07/12/2013	17:07	30000	130000	196695	0,323881	1,127	0,002	0,281845
07/12/2013	17:08	50000	130000	190814	0,309477	1,173	0,002	0,293218
07/12/2013	17:09	70000	130000	186932	0,30318	1,193	0,002	0,298357
								0,280703

Tabela 106 - Concreto 8, corpo de prova número AM 44.

		lo = 585223							
Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	mcorrigido	
05/12/2013	17:59	10000	100000	256751	0,438723	0,824	0,002	0,205972	
05/12/2013	18:00	30000	100000	251326	0,429453	0,845	0,002	0,211311	
05/12/2013	18:01	50000	100000	245155	0,418909	0,870	0,002	0,217526	
05/12/2013	18:03	70000	100000	258028	0,440905	0,819	0,002	0,204731	
05/12/2013	18:04	10000	110000	253088	0,432464	0,838	0,002	0,209564	
05/12/2013	18:05	30000	110000	238841	0,40812	0,896	0,002	0,224049	
05/12/2013	18:06	50000	110000	259076	0,442696	0,815	0,002	0,203718	
05/12/2013	18:08	70000	110000	254805	0,435398	0,831	0,002	0,207874	
05/12/2013	18:09	10000	120000	240223	0,410481	0,890	0,002	0,222606	
05/12/2013	18:10	30000	120000	235288	0,402048	0,911	0,002	0,227796	
05/12/2013	18:11	50000	120000	260379	0,444923	0,810	0,002	0,202464	
05/12/2013	18:12	70000	120000	245155	0,418909	0,870	0,002	0,217526	
05/12/2013	18:14	10000	130000	213203	0,364311	1,010	0,002	0,252437	
05/12/2013	18:15	30000	130000	239348	0,408986	0,894	0,002	0,223519	
05/12/2013	18:16	50000	130000	249655	0,426598	0,852	0,002	0,212978	
05/12/2013	18:17	70000	130000	212772	0,363574	1,012	0,002	0,252943	
								0,215252	

Tabela 107 - Concreto 9, corpo de prova número AM 51.

		lo = 616570						
Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	mcorrigido
06/12/2013	18:31	10000	100000	248690	0,403344	0,908	0,002	0,226991
06/12/2013	18:32	30000	100000	241062	0,390973	0,939	0,002	0,234779
06/12/2013	18:33	50000	100000	239717	0,388791	0,945	0,002	0,236178
06/12/2013	18:34	70000	100000	231813	0,375972	0,978	0,002	0,24456
06/12/2013	18:36	10000	110000	243859	0,395509	0,928	0,002	0,231895
06/12/2013	18:37	30000	110000	232585	0,377224	0,975	0,002	0,243729
06/12/2013	18:38	50000	110000	240259	0,38987	0,942	0,002	0,235614
06/12/2013	18:39	70000	110000	242453	0,393229	0,933	0,002	0,233341
06/12/2013	18:40	10000	120000	201145	0,326232	1,120	0,002	0,280036
06/12/2013	18:42	30000	120000	235304	0,381634	0,963	0,002	0,240823
06/12/2013	18:43	50000	120000	240032	0,389302	0,943	0,002	0,23585
06/12/2013	18:44	70000	120000	216062	0,350426	1,049	0,002	0,262152
06/12/2013	18:45	10000	130000	238609	0,386994	0,949	0,002	0,237336
06/12/2013	18:47	30000	130000	214376	0,347691	1,056	0,002	0,26411
06/12/2013	18:48	50000	130000	206041	0,334173	1,096	0,002	0,274024
06/12/2013	18:49	70000	130000	227214	0,368513	0,998	0,002	0,24957
								0,23908

Tabela 108 - Concreto 10, corpo de prova número AM 53.

		lo = 616570						
Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	mcorrigido
06/12/2013	16:24	10000	100000	325951	0,528652	0,637	0,002	0,159356
06/12/2013	16:25	30000	100000	324332	0,526026	0,642	0,002	0,160601
06/12/2013	16:27	50000	100000	322724	0,523418	0,647	0,002	0,161844
06/12/2013	16:28	70000	100000	321567	0,521542	0,651	0,002	0,162741
06/12/2013	16:29	10000	110000	219514	0,356024	1,033	0,002	0,258189
06/12/2013	16:30	30000	110000	214889	0,348523	1,054	0,002	0,263513
06/12/2013	16:32	50000	110000	215535	0,349571	1,051	0,002	0,262762
06/12/2013	16:33	70000	110000	214254	0,347493	1,057	0,002	0,264252
06/12/2013	16:34	10000	120000	186433	0,302371	1,196	0,002	0,299025
06/12/2013	16:35	30000	120000	185584	0,300994	1,201	0,002	0,300166
06/12/2013	16:36	50000	120000	209021	0,339006	1,082	0,002	0,270434
06/12/2013	16:38	70000	120000	208661	0,338422	1,083	0,002	0,270865
06/12/2013	16:39	10000	130000	186052	0,301753	1,198	0,002	0,299536
06/12/2013	16:40	30000	130000	176489	0,286211	1,251	0,002	0,312757
06/12/2013	16:41	50000	130000	183022	0,296839	1,215	0,002	0,303641
06/12/2013	16:43	70000	130000	178780	0,289959	1,238	0,002	0,309504
								0,284945

Tabela 109 - Concreto 11, corpo de prova número AM 60.

io = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	moorrigido
04/12/2013	17:32	10000	100000	214710	0,367678	1,001	0,002	0,250137
04/12/2013	17:33	30000	100000	214950	0,368089	0,999	0,002	0,249858
04/12/2013	17:34	50000	100000	213262	0,365198	1,007	0,002	0,251829
04/12/2013	17:35	70000	100000	211290	0,361821	1,017	0,002	0,254151
04/12/2013	17:37	10000	110000	218732	0,374565	0,982	0,002	0,245497
04/12/2013	17:38	30000	110000	216094	0,370048	0,994	0,002	0,248531
04/12/2013	17:39	50000	110000	217578	0,372589	0,987	0,002	0,246820
04/12/2013	17:40	70000	110000	216528	0,370791	0,992	0,002	0,248029
04/12/2013	17:42	10000	120000	215134	0,368404	0,999	0,002	0,249644
04/12/2013	17:43	30000	120000	214238	0,36687	1,003	0,002	0,250687
04/12/2013	17:44	50000	120000	217129	0,37182	0,989	0,002	0,247336
04/12/2013	17:45	70000	120000	212186	0,363356	1,012	0,002	0,253093
04/12/2013	17:47	10000	130000	205964	0,352701	1,042	0,002	0,260534
04/12/2013	17:48	30000	130000	208462	0,356979	1,030	0,002	0,257520
04/12/2013	17:49	50000	130000	211884	0,362839	1,014	0,002	0,253449
04/12/2013	17:50	70000	130000	209725	0,359142	1,024	0,002	0,256010
								0,250412

Tabela 110 - Concreto 12, corpo de prova número AM 66.

io = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	moorrigido
04/12/2013	16:41	10000	100000	234470	0,401516	0,913	0,002	0,228127
04/12/2013	16:42	30000	100000	225139	0,385537	0,953	0,002	0,238279
04/12/2013	16:43	50000	100000	227756	0,390019	0,942	0,002	0,23539
04/12/2013	16:44	70000	100000	226708	0,388224	0,946	0,002	0,236543
04/12/2013	16:46	10000	110000	221805	0,379828	0,968	0,002	0,242009
04/12/2013	16:47	30000	110000	222530	0,381069	0,965	0,002	0,241193
04/12/2013	16:48	50000	110000	216578	0,370877	0,992	0,002	0,247971
04/12/2013	16:49	70000	110000	219344	0,375613	0,979	0,002	0,244799
04/12/2013	16:51	10000	120000	213475	0,365563	1,006	0,002	0,251579
04/12/2013	16:52	30000	120000	211227	0,361714	1,017	0,002	0,254226
04/12/2013	16:53	50000	120000	211410	0,362027	1,016	0,002	0,254009
04/12/2013	16:54	70000	120000	215275	0,368646	0,998	0,002	0,249480
04/12/2013	16:56	10000	130000	216531	0,370796	0,992	0,002	0,248026
04/12/2013	16:57	30000	130000	214865	0,367943	1,000	0,002	0,249956
04/12/2013	16:58	50000	130000	215225	0,36856	0,998	0,002	0,249538
04/12/2013	16:59	70000	130000	218765	0,374622	0,982	0,002	0,245459
								0,246715

Tabela 111 - Concreto 13, corpo de prova número AM 72.

io = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/Io	mi	desvio	moorrigido
04/12/2013	19:42	10000	100000	228057	0,390534	0,940	0,002	0,235060
04/12/2013	19:43	30000	100000	225977	0,386972	0,949	0,002	0,237351
04/12/2013	19:44	50000	100000	226038	0,387077	0,949	0,002	0,237283
04/12/2013	19:45	70000	100000	224978	0,385261	0,954	0,002	0,238458
04/12/2013	19:47	10000	110000	233724	0,400238	0,916	0,002	0,228924
04/12/2013	19:48	30000	110000	234326	0,401269	0,913	0,002	0,228281
04/12/2013	19:49	50000	110000	235338	0,403002	0,909	0,002	0,227203
04/12/2013	19:50	70000	110000	234697	0,401905	0,912	0,002	0,227885
04/12/2013	19:52	10000	120000	236395	0,404812	0,904	0,002	0,226083
04/12/2013	19:53	30000	120000	236174	0,404434	0,905	0,002	0,226317
04/12/2013	19:54	50000	120000	235584	0,403424	0,908	0,002	0,226942
04/12/2013	19:55	70000	120000	234986	0,402399	0,910	0,002	0,227577
04/12/2013	19:56	10000	130000	240445	0,411748	0,887	0,002	0,221836
04/12/2013	19:58	30000	130000	237456	0,406629	0,900	0,002	0,224963
04/12/2013	19:59	50000	130000	241124	0,41291	0,885	0,002	0,221131
04/12/2013	20:00	70000	130000	244157	0,418104	0,872	0,002	0,218006
								0,227390

Tabela 112 - Concreto 14, corpo de prova número AM 80.

I₀ = 939347

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I ₀	mi	desvio	mcorrigido
04/12/2013	15:43	10000	100000	392898	0,418267	0,872	0,002	0,217909
04/12/2013	15:45	25000	100000	385214	0,410087	0,891	0,002	0,222846
04/12/2013	15:47	40000	100000	382512	0,407211	0,898	0,002	0,224606
04/12/2013	15:49	55000	100000	370501	0,394424	0,930	0,002	0,232582
04/12/2013	15:51	70000	100000	372425	0,396472	0,925	0,002	0,231287
04/12/2013	15:53	10000	110000	364506	0,388042	0,947	0,002	0,236660
04/12/2013	15:54	25000	110000	365733	0,389348	0,943	0,002	0,235820
04/12/2013	15:56	40000	110000	365689	0,389301	0,943	0,002	0,235850
04/12/2013	15:58	55000	110000	366133	0,389774	0,942	0,002	0,235547
04/12/2013	16:00	70000	110000	370331	0,394243	0,931	0,002	0,232697
04/12/2013	16:02	10000	120000	369324	0,393171	0,934	0,002	0,233378
04/12/2013	16:04	25000	120000	383653	0,408425	0,895	0,002	0,223862
04/12/2013	16:06	40000	120000	382052	0,406721	0,900	0,002	0,224907
04/12/2013	16:07	55000	120000	385485	0,410376	0,891	0,002	0,222671
04/12/2013	16:09	70000	120000	381975	0,406639	0,900	0,002	0,224957
04/12/2013	16:11	10000	130000	381419	0,406047	0,901	0,002	0,225322
04/12/2013	16:13	25000	130000	377314	0,401677	0,912	0,002	0,228027
04/12/2013	16:15	40000	130000	366746	0,390427	0,941	0,002	0,235129
04/12/2013	16:17	55000	130000	367218	0,390929	0,939	0,002	0,234807
04/12/2013	16:19	70000	130000	370200	0,394104	0,931	0,002	0,232785
								0,231935

Tabela 113 - Concreto 15, corpo de prova número AM 84

I₀ = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I ₀	mi	desvio	mcorrigido
04/12/2013	20:02	10000	100000	256366	0,439011	0,823	0,002	0,205807
04/12/2013	20:03	30000	100000	238436	0,408307	0,896	0,002	0,223934
04/12/2013	20:05	50000	100000	236208	0,404492	0,905	0,002	0,226281
04/12/2013	20:06	70000	100000	241845	0,414145	0,882	0,002	0,220385
04/12/2013	20:07	10000	110000	237063	0,405956	0,902	0,002	0,225377
04/12/2013	20:08	30000	110000	234041	0,400781	0,914	0,002	0,228585
04/12/2013	20:09	50000	110000	243025	0,416166	0,877	0,002	0,219168
04/12/2013	20:11	70000	110000	246610	0,422305	0,862	0,002	0,215507
04/12/2013	20:12	10000	120000	248593	0,425701	0,854	0,002	0,213505
04/12/2013	20:13	30000	120000	244544	0,418767	0,870	0,002	0,217610
04/12/2013	20:14	50000	120000	243523	0,417019	0,875	0,002	0,218656
04/12/2013	20:15	70000	120000	248621	0,425749	0,854	0,002	0,213477
04/12/2013	20:17	10000	130000	246894	0,422791	0,861	0,002	0,215219
04/12/2013	20:18	30000	130000	241415	0,413409	0,883	0,002	0,220830
04/12/2013	20:19	50000	130000	243223	0,416505	0,876	0,002	0,218964
04/12/2013	20:20	70000	130000	239062	0,409379	0,893	0,002	0,223278
								0,219066

Tabela 114 - Concreto 16, corpo de prova número AM 90.

I₀ = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I ₀	mi	desvio	mcorrigido
04/12/2013	18:27	10000	100000	217438	0,37235	0,988	0,002	0,246981
04/12/2013	18:28	30000	100000	215253	0,368608	0,998	0,002	0,249505
04/12/2013	18:30	50000	100000	211605	0,362361	1,015	0,002	0,253779
04/12/2013	18:31	70000	100000	212473	0,363847	1,011	0,002	0,252755
04/12/2013	18:32	10000	110000	224517	0,384472	0,956	0,002	0,238971
04/12/2013	18:33	30000	110000	217395	0,372276	0,988	0,002	0,24703
04/12/2013	18:34	50000	110000	216301	0,370403	0,993	0,002	0,248291
04/12/2013	18:36	70000	110000	217556	0,372552	0,987	0,002	0,246845
04/12/2013	18:37	10000	120000	212742	0,364308	1,010	0,002	0,252439
04/12/2013	18:38	30000	120000	222154	0,380425	0,966	0,002	0,241616
04/12/2013	18:39	50000	120000	218652	0,374428	0,982	0,002	0,245589
04/12/2013	18:41	70000	120000	217971	0,373262	0,985	0,002	0,246368
04/12/2013	18:42	10000	130000	224513	0,384465	0,956	0,002	0,238976
04/12/2013	18:43	30000	130000	227223	0,389106	0,944	0,002	0,235976
04/12/2013	18:44	50000	130000	226227	0,3874	0,948	0,002	0,237074
04/12/2013	18:45	70000	130000	223648	0,382984	0,960	0,002	0,239941
								0,246607

Tabela 115 - Concreto 17, corpo de prova número AM 96.

I₀ = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I ₀	mi	desvio	micorrigido
04/12/2013	18:54	50000	100000	141123	0,241665	1,420	0,003	0,355051
04/12/2013	18:55	70000	100000	203116	0,347824	1,056	0,002	0,264015
04/12/2013	18:57	10000	110000	185922	0,31838	1,145	0,002	0,286127
04/12/2013	18:58	30000	110000	179876	0,308027	1,178	0,002	0,294392
04/12/2013	18:59	50000	110000	181239	0,310361	1,170	0,002	0,292505
04/12/2013	19:00	70000	110000	182716	0,31289	1,162	0,002	0,290476
04/12/2013	19:01	10000	120000	182899	0,313204	1,161	0,002	0,290225
04/12/2013	19:03	30000	120000	184823	0,316498	1,150	0,002	0,287609
04/12/2013	19:04	50000	120000	187037	0,32029	1,139	0,002	0,284632
04/12/2013	19:05	70000	120000	190204	0,325713	1,122	0,002	0,280435
04/12/2013	19:06	10000	130000	191973	0,328742	1,112	0,002	0,278120
04/12/2013	19:08	30000	130000	194873	0,333708	1,097	0,002	0,274372
04/12/2013	19:09	50000	130000	186157	0,318783	1,143	0,002	0,285811
04/12/2013	19:10	70000	130000	191289	0,327571	1,116	0,002	0,279013
								0,285969

Tabela 116 - Concreto 18, corpo de prova número AM 102.

I₀ = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I ₀	mi	desvio	micorrigido
04/12/2013	17:07	10000	100000	181737	0,311214	1,167	0,002	0,291819
04/12/2013	17:08	30000	100000	192522	0,329682	1,110	0,002	0,277406
04/12/2013	17:09	50000	100000	191598	0,3281	1,114	0,002	0,278609
04/12/2013	17:10	70000	100000	186971	0,320177	1,139	0,002	0,284721
04/12/2013	17:12	10000	110000	192672	0,329939	1,109	0,002	0,277212
04/12/2013	17:13	30000	110000	191907	0,328629	1,113	0,002	0,278206
04/12/2013	17:14	50000	110000	191554	0,328025	1,115	0,002	0,278667
04/12/2013	17:15	70000	110000	191711	0,328294	1,114	0,002	0,278462
04/12/2013	17:17	10000	120000	195901	0,335469	1,092	0,002	0,273057
04/12/2013	17:18	30000	120000	195746	0,335203	1,093	0,002	0,273255
04/12/2013	17:19	50000	120000	190695	0,326554	1,119	0,002	0,27979
04/12/2013	17:20	70000	120000	188816	0,323336	1,129	0,002	0,282266
04/12/2013	17:22	10000	130000	189312	0,324185	1,126	0,002	0,28161
04/12/2013	17:23	30000	130000	197062	0,337457	1,086	0,002	0,271579
04/12/2013	17:24	50000	130000	194826	0,333628	1,098	0,002	0,274432
04/12/2013	17:25	70000	130000	197468	0,338152	1,084	0,002	0,271065
								0,278334

Tabela 117 - Concreto 19, corpo de prova número AM 107.

I₀ = 583962

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/I ₀	mi	desvio	micorrigido
04/12/2013	19:20	10000	110000	198260	0,339508	1,080	0,002	0,270064
04/12/2013	19:21	30000	110000	204893	0,350867	1,047	0,002	0,261837
04/12/2013	19:22	50000	110000	197015	0,337376	1,087	0,002	0,271639
04/12/2013	19:23	70000	110000	209181	0,35821	1,027	0,002	0,256659
04/12/2013	19:25	10000	120000	198850	0,340519	1,077	0,002	0,269321
04/12/2013	19:26	30000	120000	198644	0,340166	1,078	0,002	0,269580
04/12/2013	19:27	50000	120000	196722	0,336875	1,088	0,002	0,272011
04/12/2013	19:28	70000	120000	198173	0,339359	1,081	0,002	0,270174
04/12/2013	19:30	10000	130000	196926	0,337224	1,087	0,002	0,271752
04/12/2013	19:31	30000	130000	200847	0,343938	1,067	0,002	0,266823
04/12/2013	19:32	50000	130000	201519	0,345089	1,064	0,002	0,265988
04/12/2013	19:33	70000	130000	199526	0,341676	1,074	0,002	0,268473
								0,269451

Tabela 118 - Concreto 20, corpo de prova número AM 114

lo = 939347

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/lo	mi	desvio	mcorrigo
04/12/2013	15:43	10000	100000	392898	0,418267	0,872	0,002	0,217909
04/12/2013	15:45	25000	100000	385214	0,410087	0,891	0,002	0,222846
04/12/2013	15:47	40000	100000	382512	0,407211	0,898	0,002	0,224606
04/12/2013	15:49	55000	100000	370501	0,394424	0,930	0,002	0,232582
04/12/2013	15:51	70000	100000	372425	0,396472	0,925	0,002	0,231287
04/12/2013	15:53	10000	110000	364508	0,388042	0,947	0,002	0,23666
04/12/2013	15:54	25000	110000	365733	0,389348	0,943	0,002	0,23582
04/12/2013	15:56	40000	110000	365889	0,389301	0,943	0,002	0,23585
04/12/2013	15:58	55000	110000	366133	0,389774	0,942	0,002	0,235547
04/12/2013	16:00	70000	110000	370331	0,394243	0,931	0,002	0,232697
04/12/2013	16:02	10000	120000	369324	0,393171	0,934	0,002	0,233378
04/12/2013	16:04	25000	120000	383653	0,408425	0,895	0,002	0,223862
04/12/2013	16:06	40000	120000	382052	0,406721	0,900	0,002	0,224907
04/12/2013	16:07	55000	120000	385485	0,410376	0,891	0,002	0,222671
04/12/2013	16:09	70000	120000	381975	0,406639	0,900	0,002	0,224957
04/12/2013	16:11	10000	130000	381419	0,406047	0,901	0,002	0,225322
04/12/2013	16:13	25000	130000	377314	0,401677	0,912	0,002	0,228027
04/12/2013	16:15	40000	130000	366746	0,390427	0,941	0,002	0,235129
04/12/2013	16:17	55000	130000	367218	0,390929	0,939	0,002	0,234807
04/12/2013	16:19	70000	130000	370200	0,394104	0,931	0,002	0,232785
								0,231935

Tabela 119 - Concreto 21, corpo de prova número AM 119.

lo = 585223

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/lo	mi	desvio	mcorrigo
05/12/2013	16:19	10000	100000	245030	0,418695	0,871	0,002	0,217653
05/12/2013	16:20	30000	100000	241825	0,413219	0,884	0,002	0,220945
05/12/2013	16:21	50000	100000	233245	0,398557	0,920	0,002	0,229976
05/12/2013	16:23	70000	100000	238470	0,407486	0,898	0,002	0,224437
05/12/2013	16:24	10000	110000	239759	0,409688	0,892	0,002	0,22309
05/12/2013	16:25	30000	110000	241678	0,412967	0,884	0,002	0,221097
05/12/2013	16:26	50000	110000	241001	0,411811	0,887	0,002	0,221798
05/12/2013	16:27	70000	110000	240167	0,410385	0,891	0,002	0,222665
05/12/2013	16:29	10000	120000	240084	0,410244	0,891	0,002	0,222751
05/12/2013	16:30	30000	120000	234424	0,400572	0,915	0,002	0,228715
05/12/2013	16:31	50000	120000	230332	0,39358	0,932	0,002	0,233118
05/12/2013	16:32	70000	120000	228517	0,390479	0,940	0,002	0,235096
05/12/2013	16:34	10000	130000	222086	0,37949	0,969	0,002	0,242232
05/12/2013	16:35	30000	130000	222298	0,379852	0,968	0,002	0,241994
05/12/2013	16:36	50000	130000	225221	0,384846	0,955	0,002	0,238728
05/12/2013	16:37	70000	130000	228053	0,389686	0,942	0,002	0,235604
								0,226576

Tabela 120 - Concreto 22, corpo de prova número AM 125.

lo = 585223

Data	Hora	PosX (um)	PosZ (um)	Contagem	I/lo	mi	desvio	mcorrigo
05/12/2013	17:06	10000	100000	244665	0,418071	0,872	0,002	0,218026
05/12/2013	17:07	30000	100000	226115	0,386374	0,951	0,002	0,237737
05/12/2013	17:08	50000	100000	225856	0,385932	0,952	0,002	0,238024
05/12/2013	17:09	70000	100000	228328	0,390156	0,941	0,002	0,235302
05/12/2013	17:10	10000	110000	212624	0,363321	1,012	0,002	0,253117
05/12/2013	17:12	30000	110000	208649	0,356529	1,031	0,002	0,257835
05/12/2013	17:13	50000	110000	206175	0,352302	1,043	0,002	0,260817
05/12/2013	17:14	70000	110000	210838	0,36027	1,021	0,002	0,255226
05/12/2013	17:15	10000	120000	206864	0,353171	1,041	0,002	0,260200
05/12/2013	17:17	30000	120000	204612	0,349631	1,051	0,002	0,262719
05/12/2013	17:18	50000	120000	205107	0,350477	1,048	0,002	0,262115
05/12/2013	17:19	70000	120000	210079	0,358973	1,025	0,002	0,256127
05/12/2013	17:20	10000	130000	204530	0,349491	1,051	0,002	0,262820
05/12/2013	17:21	30000	130000	200722	0,342984	1,070	0,002	0,267518
05/12/2013	17:23	50000	130000	197554	0,33757	1,086	0,002	0,271495
05/12/2013	17:24	70000	130000	204500	0,349439	1,051	0,002	0,262856
								0,259018

A seguir, na tabela (121), apresentamos o resumo dos coeficientes de atenuação linear dos concretos ensaiados, cujas medições e contagens foram mostradas anteriormnte.

Tabela 121 – Dados dos ensaios para determinação dos coeficientes de atenuação linear dos concretos.

Coeficientes de atenuação experimentais, médias das medidas realizadas para as amostra (cm^{-1})	Concreto número	Massa específica (kg/dm^3)
0,2751	1	3,72
0,2551	2	3,44
0,2685	3	3,70
0,2560	4	3,47
0,2137	5	3,14
0,2346	6	3,59
0,2807	7	3,76
0,2153	8	3,27
0,2391	9	3,49
0,2849	10	3,72
0,2504	11	3,30
0,2467	12	3,19
0,2274	13	2,87
0,2319	14	3,23
0,2191	15	2,74
0,2466	16	3,14
0,2860	17	3,69
0,2783	18	3,53
0,2695	19	3,53
0,2319	20	3,15
0,2266	21	3,17
0,2590	22	3,58

4.8 Determinação do Z efetivo similar.

A determinação do Z efetivo similar foi feita através da comparação entre o coeficiente de atenuação linear mássico obtido para o concreto à energia de 660 keV e a seção de choque do elemento que apresentasse o valor mais próximo.

Na tabela (122) são apresentadas as seções de choque dos elementos químicos interpoladas para a energia de 660 keV.

Tabela 122 – Seção de choque dos elementos químicos para as energias de 600, 800, 660 (KeV).

Elemento químico	Número Atômico do elemento químico	600 keV Seção de choque m/r	800 keV Seção de choque m/r	660 keV Seção de choque m/r
H	1,0000	0,1599	0,1405	0,154080
C	6,0000	0,0806	0,0708	0,077634
O	8,0000	0,0807	0,0709	0,077751
Na	11,0000	0,0774	0,0679	0,074516
Mg	12,0000	0,0799	0,0701	0,076940
Al	13,0000	0,0780	0,0684	0,075137
Si	14,0000	0,0808	0,0708	0,077785
P	15,0000	0,0785	0,0688	0,075630
S	16,0000	0,0810	0,0790	0,080408
Cl	17,0000	0,0780	0,0683	0,075043
K	19,0000	0,0792	0,0693	0,076241
Ca	20,0000	0,0815	0,0712	0,078400
Ti	22,0000	0,0753	0,0657	0,072419
V	23,0000	0,0741	0,0647	0,071300
Cr	24,0000	0,0760	0,0662	0,073046
Mn	25,0000	0,0751	0,0654	0,072174
Fe	26,0000	0,0770	0,0670	0,074025
Co	27,0000	0,0760	0,0660	0,073040
Ni	28,0000	0,0794	0,0689	0,076281
Cu	29,0000	0,0763	0,0661	0,073190
Zn	30,0000	0,0770	0,0666	0,073833
Sr	38,0000	0,0757	0,0645	0,072331
Zr	40,0000	0,0776	0,0657	0,074005
Nb	41,0000	0,0786	0,0664	0,074932
Ba	56,0000	0,0841	0,0674	0,079100

A tabela (123) apresenta os coeficientes de atenuação linear dos concretos, a massa específica, o coeficiente mássico, o número atômico do concreto e o elemento similar.

Tabela 123 - Coeficiente de atenuação linear experimental e elemento similar

Concreto número	Coeficiente de atenuação linear experimental 660 keV (cm^{-1})	Massa específica (kg/dm^3)	Coeficiente mássico de atenuação m/r (cm^{-2}/g)	Z do concreto calculado	Elemento químico similar
1	0,2751	3,7200	0,0740	23,6453	Zr
2	0,2551	3,4400	0,0742	22,7101	Fe
3	0,2685	3,8000	0,0726	22,6728	Ti
4	0,2560	3,4700	0,0738	23,4280	Zn
5	0,2137	3,1400	0,0681	23,2868	V
6	0,2346	3,5900	0,0653	23,1456	V
7	0,2807	3,7600	0,0747	22,6285	Na
8	0,2153	3,2700	0,0658	22,8287	V
9	0,2391	3,4900	0,0685	22,4914	V
10	0,2849	3,7200	0,0766	23,3631	K
11	0,2504	3,3000	0,0759	23,3069	P
12	0,2467	3,1900	0,0773	22,7292	Mg
13	0,2274	2,8700	0,0792	22,7305	Ba
14	0,2280	3,2300	0,0706	22,2018	V
15	0,2191	2,7400	0,0800	22,7772	S
16	0,2466	3,1400	0,0785	22,2759	Ca
17	0,2860	3,6900	0,0775	22,6728	Mg
18	0,2783	3,5300	0,0788	22,1896	Ca
19	0,2695	3,5300	0,0763	22,4083	Ni
20	0,2280	3,1500	0,0724	25,0587	Ti
21	0,2266	3,1700	0,0715	25,4256	V
22	0,2590	3,5800	0,0724	25,8096	Ti

4.9 Principais elementos presentes nos concretos ensaiados.

Na tabela (124) apresentamos os principais elementos que compõem os concretos preparados.

As análises são apresentadas sem os elementos leves H, O. Os resultados foram normalizados para a somatória dos elementos presentes.

Tabela 124 – Composição química dos elementos encontrados nos concretos ensaiados, normalizados para elementos presentes.

Elemento	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ba	Somatória
	12	13	14	15	16	19	20	22	25	26	56	
Com1	2,29	3,02	7,71	0,06	0,59	0,40	14,56	0,16	0,15	71,04		99,98%
Com2	4,10	3,22	7,69	0,34	1,25	0,74	26,55	1,05	0,23	54,49		99,66%
Com3	2,95	3,87	7,65	0,07	0,80	0,72	22,49	0,17	0,16	60,99		99,87%
Com4	2,42	2,88	6,78	0,09	0,75	0,46	15,15	0,38	0,15	70,85		99,91%
Com5	1,64	2,82	6,73	0,07	0,70	0,54	19,45	0,17	0,33	67,33		99,78%
Com6	2,08	3,53	8,33	0,05	0,68	0,55	16,42	0,15	0,26	67,85		99,90%
Com7	2,45	3,56	8,13	0,06	0,88	0,74	23,38	0,15	0,18	60,33		99,86%
Com8	2,08	4,03	6,49	0,07	0,79	0,66	23,74	0,18	0,22	61,46		99,72%
Com9	3,13	3,12	8,02	0,12	1,18	0,80	25,63	0,63	0,54	56,65		99,82%
Com10	2,63	3,58	7,34	0,12	0,83	0,58	18,19	0,33	0,17	66,10		99,87%
Com11	2,32	2,98	7,66	0,04	0,71	0,44	15,60	0,13	0,18	69,88		99,94%
Com12	2,73	3,06	7,48	0,09	0,95	0,54	17,41	0,49	0,26	66,81		99,82%
Com13	1,81	2,42	6,16	0,07	0,65	0,52	16,73	0,15	0,25	70,96		99,72%
Com14	4,41	2,99	7,59	0,05	1,62	0,73	26,13	1,38	0,42	54,06		99,38%
Com15	2,65	2,30	5,98	0,24	1,12	0,72	24,54	1,04	0,35	60,64		99,58%
Com16	4,28	2,73	6,82	0,42	1,57	0,75	26,15	2,03	0,57	53,90		99,22%
Com17	2,64	3,29	7,99	0,05	0,96	0,69	23,57	0,21	0,16	60,36		99,92%
Com18	2,63	3,27	7,99	0,06	1,01	0,89	31,17	0,24	0,29	52,22		99,77%
Com19	3,47	3,15	7,75	0,15	1,30	0,79	25,66	1,03	0,38	56,04		99,72%
Com20	2,29	2,93	7,49	0,25	2,13	0,48	16,56	0,18	0,22	59,94	6,75	99,22%
Com21	3,75	2,90	7,56	0,67	3,12	0,72	26,75	1,54	0,39	41,25	11,08	99,73%
Com22	2,90	3,40	9,03	0,38	3,54	0,84	28,87	0,27	0,25	36,91	13,21	99,60%

Observando a tabela acima podemos verificar que todos os concretos apresentaram elevado teor de óxido de ferro, elemento responsável pela elevada densidade e imprescindível para o preparo de concretos de elevada densidade.

É possível que sejam produzidos outras matérias primas naturais com elevada densidade porém não conseguimos identificar.

Massa específicas mais elevadas podem ser obtidas com a utilização de agregados com granulometrias mais graúdas porém podem dificultar o preparo e a aplicação devido a dimensão máxima da matéria prima.

Não fez parte do presente estudo a utilização de agregados artificiais, preparados com o corte de barras de aço em equenas dimensões pelo fato de serem extremamente caros.

4.10 Montagem do banco de dados.

Os dados resultantes dos ensaios realizados de acordo com a metodologia empregada são apresentados no Anexo II do presente trabalho.

Os dados mostrados são para um tipo de concreto, o banco de dados final será desenvolvido para ser disponibilizado em um arquivo aberto de fácil acesso pela internet.

CAPITULO 5

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS

5.1 Massa específica.

Na tabela (125) apresentamos os resultados das massas específicas encontradas, que variaram de 2,74 kg/dm³ até 3,76 kg/dm³, variação esta igual a 37,2%.

As massas específicas encontradas nos concretos preparados são similares às encontradas em trabalhos internacionais, quando utilizados agregados naturais de massa específica elevada para o preparo dos concretos. Na tabela (129), apresentada no item 5.5, podem ser verificados os dados encontrados em trabalhos publicados.

Tabela – 125 – Massas específicas dos concretos ensaiados.

Concreto número	Massa específica (kg/dm ³)
15	2,74
13	2,87
5	3,14
16	3,14
20	3,15
21	3,17
12	3,19
14	3,23
8	3,27
11	3,30
2	3,44
4	3,47
9	3,49
18	3,53
19	3,53
22	3,58
6	3,59
17	3,69
3	3,70
1	3,72
10	3,72
7	3,76
Média	3,46
Devio	0,28
Maximo	3,74
Minimo	3,17

Determinamos também a massa específica média de nossas vinte e duas amostras e seu desvio padrão, cujo valor encontrado é $0,28 \text{ kg/dm}^3$, tornando a variação da massa média $= 3,46 \pm 0,28 \text{ kg/dm}^3$.

A partir desses valores, verificamos quais concretos se encontram dentro do intervalo. Dezesseis se encontram dentro do intervalo, cinco se apresentam abaixo e um acima, sendo:

Traços cujas massas específicas se encontram abaixo do intervalo;

Concretos de número 5, 13, 15, 16, 20.

Traços cujas massas específicas se encontram dentro do intervalo;

Concretos de números 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 18, 19, 21, 22.

Traço cuja massa específica se encontra acima do intervalo;

Concretos de número 7.

5.2 Coeficiente de atenuação linear experimental.

A seguir, apresentamos a tabela (126), com os dados encontrados para os coeficientes de atenuação linear experimentais. Observamos que os concretos que apresentam os maiores coeficientes de atenuação linear são os concretos identificados com os números 17, 10 e 7, que são justamente alguns dos concretos que apresentaram as mais elevadas massas específicas, coincidindo com os conceitos básicos em que a seção de choque para o efeito Compton depende primordialmente da massa específica do composto.

Determinamos o coeficiente de atenuação linear médio das vinte e duas amostras, sendo o valor encontrado $0,2486 \text{ cm}^{-1}$ e o desvio padrão $0,0232 \text{ cm}^{-1}$.

A partir desses valores, verificamos quais concretos se encontram dentro do intervalo. Encontramos quatorze traços que se encontram dentro dos valores, três que se apresentam abaixo e cinco que estão acima, sendo:

Traços cujas massas específicas se encontram abaixo do intervalo;

Concretos de número 5, 8, 15.

Traços cujas massas específicas se encontram dentro do intervalo;

Concretos de número 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 20, 21, 22.

Traços cuja massa específica se encontra acima do intervalo;

Concretos de número 1, 7, 10, 17, 18.

Tabela 126 – Coeficientes de atenuação linear e densidades dos concretos ensaiados

Concreto	Coeficientes de atenuação linear experimental μ (cm ⁻¹)
5	0,2137
8	0,2153
15	0,2191
21	0,2267
13	0,2274
14	0,2319
20	0,2319
6	0,2346
9	0,2391
16	0,2466
12	0,2467
11	0,2504
2	0,2551
4	0,2560
22	0,2590
3	0,2685
19	0,2695
1	0,2751
18	0,2783
7	0,2807
10	0,2849
17	0,2860
Média	0,2486
Desvio	0,0232
Maximo	0,2718
Minimo	0,2253

Os coeficientes de atenuação linear experimental variam de 0,2137 cm⁻¹ para o concreto número 5 até 0,2860 cm⁻¹ para o concreto número 17, variação esta que fez com que o valor aumentasse em 33,8%, enquanto a massa específica aumentou em 37,2%.

5.3 Coeficientes de atenuação linear calculados, comparados com os coeficientes de atenuação linear experimentais.

Na tabela (127) é apresentado o comparativo entre os coeficientes de atenuação linear calculados e os coeficientes de atenuação linear experimentais; as diferenças encontradas são mostradas na última coluna da tabela.

Tabela 127 – Comparativo entre coeficientes.

Concreto	Coeficientes de atenuação linear calculados para 660 keV (cm^{-1})	Coeficientes de atenuação linear experimental μ (cm^{-1})	Diferença percentual (%)
1	0,2821	0,2751	2,54%
2	0,2675	0,2551	4,86%
3	0,2791	0,2685	3,95%
4	0,2599	0,2560	1,52%
5	0,2359	0,2137	10,39%
6	0,2697	0,2346	14,96%
7	0,2833	0,2807	0,93%
8	0,2465	0,2153	14,49%
9	0,2637	0,2391	10,29%
10	0,2831	0,2849	-0,63%
11	0,2472	0,2504	-1,28%
12	0,235	0,2467	-4,74%
13	0,2017	0,2274	-11,30%
14	0,2429	0,2319	4,74%
15	0,2039	0,2191	-6,94%
16	0,236	0,2466	-4,30%
17	0,2781	0,2860	-2,76%
18	0,2675	0,2783	-3,88%
19	0,2661	0,2695	-1,26%
20	0,2352	0,2319	1,42%
21	0,2378	0,2267	4,90%
22	0,2689	0,2590	3,82%

Os valores percentuais que representam as diferenças encontradas entre os coeficientes de atenuação linear experimentais e os calculados têm uma aproximação razoável. A utilização do cálculo do coeficiente de atenuação linear com a utilização da análise química do concreto pode servir de parâmetro orientativo quando da avaliação prévia de como se comportará quando submetido ao fluxo de radiação, sem a necessidade de se fazer testes de irradiação com fontes radioativas ou equipamentos de raios-X.

As variações são justificadas pelo fato de que, no concreto, os arranjos estruturais entre as partículas das matérias-primas e os vazios deixados pela evaporação da água são diferentes daquelas dos elementos químicos, o que faz com que os coeficientes de atenuação linear sejam próximos, mas não idênticos.

Alguns tipos de concretos foram preparados com teores de materiais finos elevados, o que gera um consumo de água elevado devido à superfície específica do agregado, o que faz com que o volume de vazios ou a porosidade aumente e, conseqüentemente, diminua o coeficiente de atenuação linear.

5.4 Custos de produção.

Os custos de produção dos concretos preparados foram calculados com base nos preços dos agregados, aglomerantes, aditivo e cimento, praticados para a cidade de São Paulo no primeiro mês do ano de 2014. Não foram considerados os custos de preparo e lançamento, pois são característicos de cada tipo de aplicação ou serviço.

Na tabela (128), apresentada a seguir, apresentamos os custos do metro cúbico encontrados para os concretos avaliados.

Classificando os resultados encontrados, três concretos ficaram abaixo do intervalo, concretos estes de números 14, 15, 16.

Treze concretos ficaram dentro do intervalo, concretos estes de números 1, 2, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 17, 19, 20, 21.

Seis concretos ficaram acima dos valores máximos, cujos números são 3, 7, 8, 10, 18, 22.

Tabela 128 – Custos de produção dos concretos preparados.

Concreto	Custo do concreto Preço de origem São Paulo - SP (R\$/m ³)
16	R\$ 1.375,97
14	R\$ 1.528,41
15	R\$ 1.545,16
12	R\$ 1.586,34
1	R\$ 1.666,72
4	R\$ 1.710,40
21	R\$ 1.731,46
2	R\$ 1.734,00
20	R\$ 1.735,31
19	R\$ 1.737,62
13	R\$ 1.768,29
9	R\$ 1.770,40
11	R\$ 1.841,59
6	R\$ 1.859,03
5	R\$ 1.925,98
17	R\$ 1.939,40
22	R\$ 1.960,54
8	R\$ 1.964,53
10	R\$ 2.013,98
18	R\$ 2.020,07
3	R\$ 2.027,65
7	R\$ 2.049,21
Média	R\$ 1.769,35
Desvio	R\$ 183,87
Mínimo	R\$ 1.585,48
Máximo	R\$ 1.953,21

5.5 Resultados de outros trabalhos.

A seguir, apresentamos a tabela (129), os dados encontrados no presente trabalho em comparação com dados de trabalhos internacionais.

Como podemos verificar na tabela apresentada a seguir, os valores obtidos para os coeficientes de atenuação linear, encontrados experimentalmente na tese variam em até 19,05% comparando-se os resultados, o que confirma que concretos com mesma densidade podem ter comportamento diferente para o coeficiente de atenuação linear quando utilizados para a blindagem das radiações gama e X na energia de 660 keV, região predominante do efeito Compton, governada pela densidade e pelo número atômico.

Tabela 129 – Massa específica e coeficiente de atenuação linear encontrados em outros trabalhos publicados.

Origem dos dados	Massa específica	Coeficiente de atenuação linear	Diferença %	
	(kg/dm ³)		Massa	μ
Tese – Com 1	3,74	0,2751	-0,53%	-5,82%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – I - 2a	3,76	0,2911		
Tese – Com 2	3,44	0,2551	0,00%	-3,96%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – INRU e	3,44	0,2652		
Tese – Com 3	3,7	0,2685	1,08%	-4,92%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – I-2b	3,66	0,2817		
Tese – Com 4	3,46	0,256	-1,16%	-10,94%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – BA - a	3,5	0,284		
Tese – Com 5	3,15	0,2137	-3,81%	-19,05%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – M-HW2	3,27	0,2544		
Tese – Com 6	3,59	0,2346	-0,84%	-14,07%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – M- c	3,62	0,2676		
Tese – Com 7	3,59	0,2807	-4,74%	-3,71%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – I - 2a	3,76	0,2911		
Tese – Com 8	3,27	0,2153	0,00%	-18,16%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – H-MW2	3,27	0,2544		
Tese – Com 9	3,49	0,2391	-0,29%	-18,78%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – Ba – a	3,5	0,284	0,00%	2,25%
Concreto 5 trabalho BASHTER	3,5	0,2776		
Tese – Com 10	3,7	0,2849	1,08%	1,12%
	3,66	0,2817		
Tese – Com 11	3,3	0,2504		-6,43%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – Ba - OR	3,3	0,2665		
Tese – Com 12	3,2	0,2467	-2,19%	-3,12%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – M – HW2	3,27	0,2544		
Tese – Com 13	2,9	0,2274		-0,18%
Concreto 3 trabalho BASHTER	2,9	0,2278		

Tese – Com 14	3,3	0,228	0,30%	-12,37%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – M - HW 1	3,29	0,2562		
Tese – Com 15	2,8	0,2191		
Tese – Com 16	3,2	0,2466	-2,19%	-3,16%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – M – HW2	3,27	0,2544		
Tese – Com 17	3,7	0,286	1,08%	1,50%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – I – 2b	3,66	0,2817		
Tese – Com 18	3,5	0,2676	0,00%	-2,13%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – I – 1a	3,5	0,2733		
Tese – Com 19	3,5	0,2661	0,00%	-2,71%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – I – 1a	3,5	0,2733		
Tese – Com 20	3,2	0,2352		
Tese – Com 21	3,2	0,2378		
Tese – Com 22	3,6	0,2689	-0,56%	0,48%
Engenering Compendium on Radiation Shielding – Mc	3,62	0,2676		

5.6 Discussões englobando a densidade, o coeficiente de atenuação linear e o custo do concreto.

Observando os valores que se encontram dentro dos limites tratados, massa específica, coeficiente de atenuação linear experimental e custo de produção, achamos 8 concretos cujos números são: 12, 4, 21, 2, 19, 9, 11, 6.

Portanto, o concreto de número 12 seria o de menor custo, seguido pelos concretos 4, 21, 2, 19 etc.

Esta solução, que pode ser afirmada por um incauto, está equivocada, pois o preço é um fator que deve ser avaliado pelo fator de redução na dose, e deve ser corrigido. Neste caso, corrigimos os preços dos concretos pelo comprimento de relaxação $\mu \cdot x = 1$ em que x é a espessura da amostra.

Neste caso, partindo da amostra mais densa, determinou-se o acréscimo percentual no custo, relacionado ao livre caminho médio, ver tabela (130), montada para os concretos que se apresentam dentro dos limites calculados para a combinação, massa específica e coeficiente de atenuação linear em conjunto.

Tabela 130 – Custos dos concretos corrigidos

Concreto	Coeficiente de atenuação linear experimental μ (cm ⁻¹)	Custo do concreto sómente para os materiais Preço de origem São Paulo - SP (R\$/m ³)	$1/\mu$	Fator de Ponderação	Preço Corrigido (R\$/m ³)
12	0,2467	R\$ 1.586,34	4,0535	1,159	R\$ 1.838,57
19	0,2695	R\$ 1.737,62	3,7106	1,061	R\$ 1.843,61
4	0,256	R\$ 1.710,40	3,9063	1,117	R\$ 1.910,52
2	0,2551	R\$ 1.734,00	3,9200	1,121	R\$ 1.943,81
11	0,2504	R\$ 1.841,59	3,9936	1,142	R\$ 2.103,10
9	0,2391	R\$ 1.770,40	4,1824	1,196	R\$ 2.117,40
21	0,2266	R\$ 1.731,46	4,4131	1,262	R\$ 2.185,10
6	0,2346	R\$ 1.859,03	4,2626	1,219	R\$ 2.266,16

Fazendo uma análise dos resultados encontrados para os custos corrigidos, obtivemos como opção mais econômica o concreto número 12, seguido pelos concretos 19, 4, 2, 11, 9, 21 e 6.

O concreto que apresentou o menor preço corrigido é o concreto 12, cujo valor orçado é de R\$ 1.838,37/m³. Se não houver problemas com relação à restrição de espaço, será o concreto escolhido para a blindagem das radiações gama e X na energia de 660 keV, por apresentar o menor custo.

Isso não significa que as outras opções devam ser eliminadas, pois o cliente poderá necessitar, além das características atenuantes do concreto, outras como resistência à compressão, módulo de deformação elevado, dentre outras.

Essa discussão é válida de acordo com a curva do gráfico, apresentado na figura (38), quando as condições remetam à região do efeito Compton.

Fig. 36 – Importância relativa dos três principais tipos de interação para radiação γ (2)

Na região do efeito fotoelétrico, devemos desconsiderar a densidade e o número atômico efetivo Z , pois, conforme já mencionado, a probabilidade de interação fotoelétrica depende de Z^4 .

Calculado o valor médio e o desvio padrão encontramos o valor médio de

$Z^4 = 279.841 \pm 113.182,8$. Considerando os dados encontrados, classificamos 15 concretos dentro do intervalo para os quais calculamos os preços corrigidos, sendo só para os concretos que apresentaram os menores preços os de números 12, 1, 4, 3, 2, 14, 11, 7, 21, 9, 6, 5, 8, 20 e 22.

Utilizando o mesmo raciocínio aplicado para avaliar os concretos que se encontram dentro dos limites da média e desvio, encontramos o valor medio para $Z^4 = 279.841 \pm 113.182$ para a predominância do efeito fotoelétrico, podemos dizer que,

não havendo problemas com o valor a ser pago, para a blindagem, o concreto mais indicado seria é o concreto de número 3, seguido dos concretos de número 7, 11, 2, 4 e assim por diante, conforme apresentado na tabela (131).

Tabela 131 – Resumo de dados para avaliação dos concretos cuja interação predominante é o efeito fotoelétrico.

Concreto número	Elemento químico similar	Z	Z ⁴
15	S	16	65536
10	K	19	130321
16	Ca	20	160000
13	Ca	20	160000
17	Ca	20	160000
18	Ca	20	160000
20	Ti	22	234256
22	Ti	22	234256
14	V	23	279841
21	V	23	279841
9	V	23	279841
6	V	23	279841
5	V	23	279841
8	V	23	279841
12	Cr	24	331776
1	Cr	24	331776
4	Cr	24	331776
2	Cr	24	331776
11	Al	24	331776
7	Cr	24	331776
3	Mn	25	390625
19	Ni	28	614656
		Media	279841
		desvio	113182,8
		Minimo	166658,2
		Maximo	393023,8

Da mesma maneira que descrito nas avaliações anteriores, os outros concretos não estão descartados, e a escolha dependerá de fatores locais e da aplicação.

CAPITULO 6

6 CONCLUSÕES.

a) Conseguimos concluir todos objetivos e chegar a bom êxito com a finalidade proposta para este trabalho.

b) Caracterizamos vinte e dois tipos de concretos com a utilização de matérias-primas nacionais, obtivemos concretos com as mais diversas combinações e massas específicas que resultaram em diferentes coeficientes de atenuação lineares e mássicos.

c) Para os concretos preparados, o número atômico maior, encontrado dentro do intervalo, foi similar ao elemento químico manganês, cujo Z é 25. Na tabela 121 apresentamos os valores e os elementos que apresentam comportamento similar aos concretos preparados na energia de 660 keV.

d) Probabilidade de ocorrência do efeito fotoelétrico. Se elevarmos o número atômico do manganês $Mn = 25$, maior número atômico encontrado para os concretos preparados, à quarta potência, encontraremos o valor de 390.625. Valor este que, se dividirmos pelo valor do número atômico do argônio 18, válido para o concreto convencional elevado à quarta potência, encontraremos uma razão de 3,72 entre os valores, que é o aumento percentual da probabilidade de ocorrer o efeito fotoelétrico.

e) Probabilidade da ocorrência do efeito Compton. A razão entre a maior massa específica classificada e encontrada para os concretos preparados foi de 3,72 kg/dm^3 . Considerando que a massa específica do concreto convencional é de aproximadamente 2,35 kg/dm^3 , a razão entre as duas massas específicas nos fornece o aumento da probabilidade de ocorrência do efeito Compton de 58,29% a mais.

f) Avaliando os dados obtidos para as seções de choque calculadas e experimentais para cada concreto preparado, observamos que a dispersão entre os resultados dos coeficientes de atenuação linear calculados e experimentais situam-se, no máximo, em 15%, resultado encontrado com aproximação razoável para ser

utilizado quando se pretende avaliar o resultado esperado de um concreto, utilizando-se da composição química do concreto para prever seu comportamento.

g) A metodologia proposta é prática, e não apresenta dificuldades técnicas, utiliza ensaios que são normalmente aplicados pelos técnicos, a custos acessíveis.

h) Cria uma base de dados embrionária, que foi obtida com dados resultantes de ensaios realizados em concretos produzidos no Brasil, com matérias-primas nacionais.

i) Os dados resultantes são similares aos encontrados em trabalhos de pesquisas internacionais, que avaliaram concretos para blindagem na energia de 660 keV.

j) A utilização da análise química do concreto a ser avaliado, realizada excluindo os elementos leves, que facilita e barateia o ensaio, apresentou-se eficiente com relação aos resultados encontrados.

7 Sugestões para futuros trabalhos.

Concluído o presente trabalho, entendemos ser importante:

- a) Desenvolver novos traços e ensaiá-los em outras energias.
- b) Avaliar a diferença que os elementos leves promovem no cálculo do coeficiente de atenuação linear.
- c) Identificar novas fontes fornecedoras de agregados naturais que possam ser utilizados na produção de concretos de massa específica elevada e repetir este trabalho com eles.
- d) Acrescentar outros tipos de agregados, isto é, a utilização de agregados não naturais, como barras de aço, cortadas, limalhas granalhas de jato de aço reaproveitadas, dentre outros.

Referência

- (1) INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. BLINDAGEM EM RADIOTERAPIA TÉCNICAS E NORMAS. Programa de Qualidade em Radioproteção. Instituto Nacional de Câncer, 2002.
- (2) EVANS, R. D. THE ATOMIC NUCLEOS. Robrt E. Krieger Publishing Company, Inc. Malabar, Florida, 1985.
- (3) MEHTA, P, K; MONTEIRO, P, J, M; “Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais”, Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, SP, 2008.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND, <https://www.abcp.org.br> , último acesso em dezembro de 2013.
- (5) SILVA, M. G. “ Cimento Portland com adições minerais” In: “Materiais de construção civil e princípios de engenharia e ciência dos materiais”. 1 edição, São Paulo, Geraldo Cechella Isaia IBRACON, 2007. V1, capítulo V. Paginas 761-795.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ADITIVOSQUIMICOS PARA CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND – REQUISITOS – NBR 11768. Rio de Janeiro, 2011.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. AGREGADOS TERMINOLOGIA– NBR 9935, 2011.
- (8) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. AGREGADO PARA CONCRETO -ESPECIFICAÇÕES – NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. AGREGADOS ÁNALISE PETROGRÁFICA DE AGREGADOS PARA CONCRETO PARTE 1 E 2. NBR 7389. Rio de Janeiro, 2009.
- (10) SBRIGH C. N. “Importancia dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos”. Revista Areia e Brita, São Paulo, SP, 2001, nº 12, pg. 26-28.
- (11) AMERICAN STANDARD TEST METHOD C 637–09. AGGREGATES FOR RADIATION-SHIELING.
- (12) AMERICAN STANDARD TEST METHOD C 638–09. STANDRT DESCRIPTIVE NOMENCLATURE OF CONSTITUENTS OF AGGREGATES FOR RADIATION-SHIELDING CONCRETE.
- (13) HELENE, P. L. TUTIKIAN B. F. “Dosagem dos concretos de cimento Portland” In: “Concreto: Ciencia e tecnologia”. 1 edição, São Paulo, Geraldo Cechella Isaia IBRACON, 2011. V1, capítulo XII. Paginas.
- (14) NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLY. Disponível em <<http://www.nist.gov>>. Acesso em: 20 de maio de 2013.

- (15) AITICIN, P. C. “Concreto de Alto Desempenho”. Associação Brasileira de Cimento Portland, Editora Pini, São Paulo, 2000.
- (16) BROWNELL, G. L. HINE, G. L. “Radiation Dosimetry”. Academic Press Inc. New York, 1956.
- (17) ATOMIC ENERGY COMMISSION REPORT – NYO-3075. “Calculations of the Gamma Rays”. New York, 1954.
- (18) ROCKWELL III, T. “Reactor Shielding Design Manual”. D. Van Nostrand Company, Inc. Princeton, New Jersey, 1956.
- (19) WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION ATOMIC POWER DEPARTMENT. WAPD –TN 217.
- (20) C. ANDRELLO, ALBUQUERQUE, S. M. “Avaliação da influência da granulometria de agregados utilizados em micro concretos de massa específica elevada sobre o coeficiente de atenuação linear a radiação gama”. In: Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON 50, Salvador Bahia, 2008, pg.272.
- (21) A. FACURE, A. X. SILVA. “The use of high-density concretes in radiotherapy treatment room design”. Science Direct, Applied radiation and isotopes, n° 65, Elsevier, pg 1023-1028. 2007.
- (22) A. N. KOMAROVSKII. “Evaluating the economic feasibility of using special heavy concretes for radiation shielding”. The Soviet Journal of Atomic Energy, Russian, 1958.
- (23) A.A.P. MANSUR, H. S. MANSUR. “Caracterização de materias primas utilizadas na produção de concreto celular”. Anais, 17° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, Paraná, 2006.
- (24) A.P. PROSHIN, V. S. DEMJANOVA, D. V. KALASHNICOV, O. V. GRINTSOVA, SUPER HEAVY “High-strength concrete for protection against radiation”. Asian Journal of Civil Engineering, Building and housing, v 6, n° 1-2, pg 67-73. 2005.
- (25) D. J. SIMPKIN. “Transmission data for shielding diagnostic x-ray facilities”. Health Physics, v 68, n° 5, pg 704-709. 1995.
- (26) F. BOUZARJOMEHRI, T. BAYAT, M. H. DASHTI R, J. GHISARI, N. ABDOLI, F. BOUZARJOMEHRI, T. BAYAT, M. H. DASHTI R, J. GHISARI, N. ABDOLI. CO “Gama-ray attenuation coefficient of barite concrete”. Iran. J. Radiat. Res, v 4 n° 2; 71-75. 2006.
- (27) G. HOFF, S. F. FIRMINO, G. HOFF, S. F. FIRMINO. “Transmission curves to primary beams to diagnostic radiology, a comparison among barite concrete, barite mortar and concrete”. Nuclear Science Symposium Conference Record. Honolulu, HI, 2007.

- (28) I. AKKURT, C. BASYIGIT, S. KILINCARSLAN, B. MAVI, A. AKKURT. "Radiation Shielding of concretes containing different aggregates". Science Direct, Elsevier, n° 28; pg 153-157. 2006.
- (29) I. AKKURT, H. AKYILDIRIM, B. MAVI, S. KILINCARSLAN, C. BASYIGIT. "Radiation shielding of concrete containing zeolit". Radiation Measurements. Elsevier, n° 45, pg 827-830. 2010.
- (30) I. C. P. SALINAS, C.C. CONTI, R.T. LOPES. "Effective density and mass attenuation coefficient for building material in Brazil". Science Direct, Elsevier, n° 64. pg 13-18. 2006.
- (31) I. I. BASHTER. "Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes". Ann.Nucl.Energy, 1997, v 24 n° 17, pg 1389-1401.
- (32) I. I. BASHTER, A. EL-SAYED ABDO, M SAMIR ABDEL-AZIM. "Magnetite ores with steel or basalt for concrete radiation shielding". Japanese Journal of Applied Physics, v 36. 1997.
- (33) I.I. BASHTER, A.S. MAKARIOUS, A.EL-SAYED ABDO. "Investigation of hematite-serpentine and Ilmenite-limonite concretes for reactor radiation shielding". Ann. Nucl. Energy, v. 23 n° 1 pg. 65-71. 1996.
- (34) K.H.LOKAN, N.K. SHERMAN, R.W. GELLIE, W.H. HENRY, R. LEVESQUE, A. NOWAK, G.G. TEATHER. "Bremsstrahlung attenuation measurements in ilmenite loaded concretes". Health Physics. Northern Ireland, v 23, pg. 193-199. 1972.
- (35) K.R.KASE, W. R. NELSON, A. FASSO, J. C. LIU, X. MAO, T. M. JENKINS, J. H. KLECK. "Measurements of accelerator-produced leakage neutrons and photon transmission through concrete". Health Physics, v 84, n° 2, pg 180-187. 2003.
- (36) M. A. G. PEREIRA, L. S. SEVERO, S. M. ALBUQUERQUE, P. B. BILESKY, C. LOPES. "Produção de micro concreto de alta massa específica para blindagem contra radiação ionizante com a utilização de agregado miúdo de areia de magnetita". Anais Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON 50. Salvador, Bahia, 2008, pg 389.
- (37) M. H. KAHARITA, M. TAKEYEDDIN, M. ALNASSAR, S. YOUSEF. "Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics". Science Direct. Elsevier, v 50 pg 33-36. 2008.
- (38) P.SELTEBORG, A. POLANSKI, S. PETROCHENKOV, A.LOPATKIN, W. GUDOWSKI, V. SHVETSOV. "Radiation shielding of high-energy neutrons in SAD". Research and Development Institute of Power Engineering. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, v 550, pg. 313-328. 2005.
- (39) R.J.BARISH. "Evaluation of a new high-density shielding material". Health Physics, v 64, pg 412-416. 1993.
- (40) S.M.J MORTAZAVI, M.A. MOSLEH-SHIRAZI, M.BARADARAN-GHAHFAROKHI, Z. SIAVASHPOUR, A. FARSHADI, M. GHAFoori, A.SHAHVAR. "Production of an economic high-

density concrete for shielding megavoltage radiotherapy rooms and nuclear reactors". Iran. J. Radiat. Res, v 5; pg 143-146. 2007.

(41) S.M.J MORTAZAVI, M.A. MOSLEH-SHIRAZI, M.R. MAHERI, H. YOUSEFNIA, S. ZOLGHADRI, A. HAJI-POUR. "Production of an economic high-density concrete for shielding megavoltage radiotherapy rooms and nuclear reactors". Iran. J. Radiat. Res.;v 5 n° 3; pg 143-146. 2007.

(42) T.MARUYAMA, Y.KUMAMOTO, Y.KATO, T.HASHIZUME. M. YAMAMOTO. "Attenuation of 4-32 MV X-Ray in ordinary concrete, heavy concrete, iron and lead". Health Physics, v 10, pg. 277-284. 1971.

(43) V. I. PAVLENKO, R. N. YASTREBINSKII, D. V. VORONOV. "Investigation of heavy radiation-shielding concrete after activation by fast neutrons and gamma radiation". Journal of Engineering Physics and Thermophysics, v 81 n° 4, pg 686-691. 2008.

(44) V. SOPKO, K. TRTÍK, F. VODÁK. "Influence of Gama irradiation on concrete strength". Acta polytechnica, v 44 n° 1, pg 57-58. 2004.

(45) YU-CHENG KAN, KUANG-CHIH PEI, CHIEN-LUNG CHANG. "Strength and fracture toughness of havy concrete with various iron aggregate". Elsevier, Nuclear Engineering and Design, v 228, pg 119-127. 2004.

(46) S.PRISZKULNIK. "Concretos pesados na construção civil". Anais 52° Congresso Brasileiro do Concreto IBRACON, pg 1-18, 2010.

(47) DANTAS, F. A. S. COSTA, M. M. TAKASHIMA, S. "Controle tecnológico do concreto pesado para blindagem do setor de radioterapia da Casa de Saúde Santa Marcelina". In Congresso Brasileiro do Concreto 40°, Instituto Brasileiro do Concreto, Rio de Janeiro 1988.

(48) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – NBR 5733. Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

(49) TUTIKIAN, B. F. DAL MOLIN, D.C. "Concreto Auto-Adensável". Editora Pini Ltda. São Paulo-SP, 2008.

(50) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. CONCRETO – ensios de compressão de corpos cilindrico. Rio de Janeiro, 2007.

(51) DANA, D. J. MANUAL DE MINERALGIA. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 1974.

ANEXO I

Barita – BaSO_4 (51)

Figura 37 – Rocha de barita - Foto: Eurico Zimbres (51)

Critalografia. Ortorrômbico, bipiramidal. Os cristais são usualmente tubulares, paralelamente à base, muitas vezes configurados em losângulos, por causa da presença de um prisma vertical. Usualmente estão presentes prismas de primeira e de segunda ordens, seja biselando os vértices dos cristais configurados em losango, seja se as $\{110\}$ faces estão faltando, biselando as arestas das bases e formando cristais prismáticos retangulares, alongados paralelamente ao eixo a ou b . Os cristais podem ser muito complexos, frequentemente em grupos de cristais tabulares divergentes formando a Barita em cristais ou rosas de barita. Apresenta-se também em lâminas grossas, granular, terrosa.

Propriedades físicas. Clivagem perfeita $\{001\}$, menos perfeita $\{210\}$. D 3-3,5. D 4,5 (pesada para mineral não metálico). Brilho vítreo, em alguns espécimes, nacarada base. Incolor, branca e com matizes claros de azul, amarelo e vermelho. Transparente e translúcida.

Composição. Sulfato de bário, BaSO_4 . Sendo de BaO 65,7% – SO_3 34,3%. O estrôncio substitui o bário e uma solução sólida completa chega, provavelmente, até a celestita, porém a maior parte do material está próximo de uma extremidade, ou da outra, da série. Uma pequena quantidade de chumbo pode substituir o bário.

Aspectos diagnósticos. Entende-se como a forma física que esta apresenta na natureza, por sua massa específica relativa elevada, clivagem característica e cristais.

Ocorrência. A barita é um mineral comum, de distribuição ampla. Ocorre geralmente como mineral de ganga nos filões metálicos, associada normalmente com minério de prata, chumbo, cobre, cobalto, manganês e antimônio. Encontrada veios no calcário, junto a calcita, ou como massa residuais na argila que recobre o calcário. Também nos arenitos, juntamente com minérios de cobre. Em certos lugares, age como cimento no arenito. Depositada ocasionalmente como síniter pelas águas das fontes termais. As localidades notáveis pela ocorrência de cristais de barita no Brasil são: Estado da Bahia, Minas Gerais, Goiás e Paraíba.

Uso – Empregado na preparação de nitrato de estrôncio para fogos de artifícios e balas traçadoras e de outros sais de estrôncio usados na refinação de açúcar de beterraba.

Nome – Derivado da palavra latina *caelestis*, em alusão à cor azul-pálido dos primeiros espécimes descritos.

Hematita – Fe_2O_3 (51)

Figura 38 – Rocha de Hematita Foto: Eurico Zimbres (51)

Cristalografia – Hexagonal – R; escalenoédrica-hexagonal. Cristais usualmente tabulares entre espessos e delgados. Planos basais acentuados mostrando muitas vezes marcas triangulares. As arestas das placas podem ser biseladas conformas romboédricas. Placas delgadas podem estar agrupadas em forma de rosetas (rosas de ferro). Mais raramente, os cristais são nitidamente romboédricos, muitas vezes com ângulos quase cúbicos. Usualmente terrosas. Também em configurações botrioidais a reniformes com estrutura radiada, *minério em forma de rim* pg 117. Também pode ser micácia e laminada, *especular*. Chama-se *martita* quando em pseudomorfos octaédricos sobre a magnetita.

Propriedades físicas – Participação {0001} e {1011} com ângulos quase cúbicos D 5,5 – 6,5 . d 5,26 para cristais. Brilho metálico nos cristais e opaco nas variedades terrosas. Cor, castanho-avermelhado a preto. Conhece-se como *ocra vermelha* a variedade terrosa vermelha. Traço vermelho-claro a escuro que se torna preto pelo aquecimento. Translúcida.

Composição – Óxido férrico, Fe_2O_3 . Sendo de Fe 70% – O 30%. Pode conter titânio.

Aspectos diagnósticos – Distingue-se principalmente por seu traço vermelho.

Ocorrência – A hematita é um mineral amplamente distribuído em rochas de todas as idades e forma o minério de ferro mais abundante e importante. Pode

ocorrer como produto de sublimação em conexão com as atividades vulcânicas. Ocorre nos depósitos metamórficos de contacto e, como mineral acessório, nas rochas ígneas, feldspáticas tais como granito. Substitui também as rochas silíceas. Encontrada desde a forma de escamas microscópicas até a de massas enormes em relação com as rochas metamórficas regionais, onde se pode ter originado pela alteração da limonita, siderita ou magnetita. Tal como a limonita pode ser formada em massas ou camadas irregulares como resultado da ação do tempo sobre as rochas contendo ferro. Os minérios oolíticos são de origem sedimentar e podem ocorrer em camadas de tamanho considerável. Encontradas nos arenitos vermelhos com material de cimentação que liga entre si os grânulos de quartzo.

O Brasil tem reservas significativas em relação às reservas mundiais com 9,8% de um montante de 340 bilhões de toneladas de reservas mundiais (pg 87 Sumário Mineral DNPM 2008). As reservas brasileiras com um teor médio de 56,1% de ferro, estão localizadas, em quase totalidade, nos estados de Minas Gerais (63,1%), Pará (18,0%) e Mato Grosso do Sul (17,2%).

Uso – A hematita é o mais importante minério de ferro. Usada também em pigmentos, ocre vermelha, e como pó para polir.

Nome – Derivado de uma palavra grega significando sangue, em alusão à cor do mineral pulverizado.

Magnetita – Fe_2O_3 (51)

Figura 39 – Rocha de Magnetita Foto:Eurico Zimbres (51)

Cristalografia – Isométrico, hexaoctaédrica. Frequentemente em cristais de hábito octaédrico, geminado ocasionalmente. Os dodecaedros são mais raros. Os dedocaédricos podem ser estriados paralelamente às interseções com as faces do octaedro. Outras formas são raras. Usualmente maciça granular, granulação grossa ou fina.

Propriedades físicas – Partição octaédrica em algumas espécimes. D 6. D 5,18. Brilho metálico. Côr: preto do ferro. Traço preto. Fortemente magnética, comporta-se como um imã natural, conhecida como *lodestone*. Opaca.

Composição – Fe_2O_3 ou FeFe_2O_4 . Sendo de Fe 72,4% – O 27,6%. A composição da magnetita usualmente corresponde àquela mostrada pela formula. Contudo, algumas análises mostram alguns por cento de magnésio e manganês bivalente.

Ensaio – Infusível. Vagarosamente solúvel em ácido clorídrico, a solução reagindo tanto para o ferro ferroso como para o ferro férrico.

Aspectos diagnósticos – Caracterizada principalmente pelo seu forte magnetismo, cor preta e sua dureza seis. Distingue-se da franklinita magnética pelo traço.

Ocorrência – A magnetita é um minério de ferro comum. Encontra-se distribuída, sob a forma de um mineral acessório, em muitas rochas magnéticas. Em certos tipos de rocha, através de segregação magnética, torna-se um dos principais constituintes e pode, assim, formar grandes corpos de minério. Estes corpos são

muitas vezes altamente titaníferos. A magnetita está associada, mais comumente, com rochas metamórficas cristalinas, ocorre também frequentemente em rochas ricas de minerais ferro-magnesianos, a saber, dioritos, garbos e peridotitos. Ocorre também sob a forma de camadas ou lentes imensas, incluídas em rochas metamórficas antigas. Encontra-se nas areias pretas de praias. Aparece em placas delgadas e sob a forma de crescimentos dentríticos entre as lâminas das micas. Associa-se intimamente, muitas vezes, com o córidon, para formar o material conhecido pela designação esmeril.

Uso – importante minério de ferro.

Nome – Deriva-se provavelmente da localidade Magnésia, nos limites da Macedônia. Uma fábula, atribuída a Plínio, liga seu nome a um pastor chamado Mangnes, que descobriu o mineral pela primeira vez no monte Ida, ao notar que os pregos de seus sapatos e a argola de ferro de seu bordão aderiam ao chão.

Espécimes semelhantes – A magnésio-ferrita, $MgFe_2O_4$ é um mineral raro que se encontra principalmente em fumarolas. A jacobsita, $MnFe_2O_4$, é um mineral raro, que se encontra em Langban, na Suécia.

ANEXO II

FICHAS PARA INSERÇÃO NO BANCO DE DADOS

Banco de dados	Concreto de elevada densidade específica para blindagem as radiações com utilização de matérias primas nacionais	
Informações Básicas		
Energia de aplicação	<input style="width: 150px;" type="text"/>	☐ KeV ☐ MeV
Características Especiais Necessárias para o Concreto		
Tipo de aglomerante utilizado		
Agregados utilizados		
Miudos:	Graudos:	
a)	a)	
b)	b)	
c)	c)	
d)	d)	
e)	e)	
Adição(s) utilizados		
a)	c)	
b)	d)	
Aditivo(s) utilizados		

Banco de dados		Características química do(s) aglomerante(s)	
Aglomerante			
Cimento	<input type="text"/>	Tipo ABNT	<input type="text"/>
Ensaio físico no cimento			
Determinações		Resultados	Unidade
Finura-Resíduo na peneira 0,0075 mm			%
Água para pasta normal			% massa do cimento
Início de pega			h:min
Fim de pega			h:min
Resistência			
Idades	Corpo de prova nº / Resistência		Média DRM (%)
	1	2 3 4	
1 dia			MPa
3 dias			MPa
7 dias			MPa
28 dias			MPa
Finura (NBR-11579/91) Resíduo na peneira de 0,075 mm (%)			
Água para pasta normal (NBR-NM-43/03) (% massa do cimento)			
Início de pega (NBR-NM-65/03) (h:min)			
Fim de pega (NBR-NM-65/03) (h:min)			
Índice de consistência da argamassa (NBR-7215/96) (mm)			
Ensaio mecânico - Resistência à compressão (MPa) - (NBR-7215/96)			
Resistência - Limites da NBR 5733/91			

Banco de dados		Características química do(s) aglomerante(s)	
Aglomerante			
Cimento	<input type="text"/>	Tipo ABNT	<input type="text"/>
Ensaios químicos no cimento			
Determinações		Resultados em %	
Perda ao fogo (PF)			
Anidrido silício (SiO ₂)			
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)			
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)			
Óxido de cálcio (CaO)			
Óxido de magnésio (MgO)			
Anidrido sulfúrico (SO ₃)			
Óxido de sódio (Na ₂ O) Nota 2			
Óxido de potássio (K ₂ O) Nota 2			
Equivalente alcalino (em Na ₂ O) Nota 3			
Óxido de cálcio livre (CaO)			
Resíduo insolúvel (RI)			
Anidrido carbônico (CO ₂)			

Nota 1 Perda ao fogo: NBR-NM 18/12 "Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo", item 5.1 (CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-001, Método A e Método B).

Nota 2 O resultado apresentado foi determinado por absorção atômica.

Nota 3 Equivalente alcalino (em Na₂O) = % Na₂O + 0,658 x %K₂O.

□ Anidrido silício (SiO₂): NBR-NM 11-2/12 "Cimento Portland - Análise química - Método optativo para determinação de óxidos principais por complexometria - Parte 2: Método ABNT", item 5.1.2, NBR-NM 22/12 "Cimento Portland com adições de materiais pozolânicos - Análise Química - Método de arbitragem". (CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-003, Método A e Método B).

□ Óxido férrico (Fe₂O₃): NBR-NM 11-2/12 "Cimento Portland - Análise química - Método optativo para determinação de óxidos principais por complexometria - Parte 2: Método ABNT", item 5.2.1. (CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-005, Método A e Método B).

□ Óxido de alumínio (Al₂O₃): NBR-NM 11-2/12 "Cimento Portland - Análise química - Método optativo para determinação de óxidos principais por complexometria - Parte 2: Método ABNT", item 5.2.2 (CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-006, , Método A e Método B).

□ Óxido de cálcio (CaO): NBR-NM 11-2/12 "Cimento Portland - Análise química - Método optativo para determinação de óxidos principais por

Banco de dados		Características química do agregado	
Agregados 1			
Agregado		Identificação :	
Ensaio químico dos agregados - Parte 1			
Agregado	Nome		
Determinações		Resultados	
Sai solúveis em água			
Íons sulfato (SO_4^{2-})			
Íons cloreto (Cl) solúveis em água			
Ensaio químico do agregado - Parte 2			
Método de análise:			
Elemento	% em massa		
Ca			
Mg			
Al			
Fe			
K			
S			
Ni			
Sr			
Zr			

Banco de dados		Características física do agregado	
Agregados 1			
Agregado		Identificação :	
Ensaio químicos dos agregados - Parte 1			
Agregado		Nome	
Determinações		Resultados	
Determinação da composição granulométrica			
Peneiras	Material retido (%)		
Abertura (mm)	individual	retido	
9,5			
6,3			
4,75			
2,4			
1,18			
0,6			
0,3			
0,15			
<0,15			
Resultados			
Módulo de finura			
Dimensão máxima característica (mm)			
Absorção (%)			
Massa específica saturada superfície seca (g/cm ³)			
Massa específica aparente (g/cm ³)			
Massa específica (g/cm ³)			
Material fino passante na peneira de 75µm por lavagem (%)			
Torções de argila			
Materiais carbonosos			
Materiais pulverulentos			

Banco de dados		Traço do Concreto	
Concreto	Identificação :		
Traço do concreto			
	Quantidade	Unidade	
consumo de cimento por m3			
adição de filler calcario por (m3)			
água total			
teor de argamassa			
ar aprisionado			
consistencia do concreto fresco			
massa específica			
areia de hematita graúda (AM7 Codigo fornecedor 7000.00)			
brita 1 de hematita (AM 10 codigo do fornecedor 7006.01)			
brita 0 de hematita (AM 9 codigo do fornecedor 7012.01)			
aditivo superplastificante 0,5%			

Caracterização do Traço do Concreto	
Banco de dados	
Concreto	Identificação :
Ensaio químico do concreto	
Metodo de análise:	
Elemento	% em massa
Fe	
Ca	
Si	
Mg	
Al	
S	
K	
Ti	
Mn	
P	
Cr	
Zn	
Sr	
Ni	
Zr	
Ensaio Físico	
	Resultado Unidade
Massa específica	
Resistência	

Banco de dados		Moldagem dos Corpos de Prova	
Concreto		Identificação :	
Dimensões			
Largura =		Altura=	Espessura=
Energia de Vibração			
Tempo de Cura

[illegible]