

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL**

JOÃO LUIZ MACEDO PRUDÊNCIO LOPES

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE
MÁRMORE E GRANITO (RBMG), COMO FÍLER, NAS PROPRIEDADES DO
CONCRETO**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JOÃO LUIZ MACEDO PRUDÊNCIO LOPES

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE
MÁRMORE E GRANITO (RBMG), COMO FÍLER, NAS PROPRIEDADES DO
CONCRETO**

Texto de dissertação do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento

Orientador: Prof. Dr. Edgar Bacarji

Co-Orientador: Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

Lopes, João Luiz Macedo Prudêncio

L864i **Influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler, nas propriedades do concreto / João Luiz Macedo Prudêncio Lopes. – Goiânia, 2007.**

173 f. : il., tabs., graf.

Orientador: Edgar Bacarji. Co-Orientador: Enio José Pazini Figueiredo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2007.

Bibliografia: f. 123-129.

Inclui apêndices

Inclui listas de ilustrações, tabelas, abreviaturas e siglas e símbolos

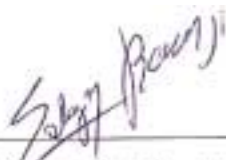
1. Granito – Resíduos – Reaproveitamento – Engenharia civil 2. Mármore – Resíduos – Reaproveitamento – Engenharia civil 3. Granito – Eliminação de resíduos – Construção civil 4. Mármore – Eliminação de resíduos – Construção civil 5. Concreto – Resistência I. Bacarji, Edgar II. Figueiredo, Enio José Pazini III. Universidade Federal de Goiás. *Escola de Engenharia Civil* IV. Título.

CDU: 679.852.1+679.854.8:69

JOÃO LUIZ MACEDO PRUDÊNCIO LOPES

INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO (RBMG), COMO FÍLER, NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do grau de Mestre, aprovada em 18 de junho de 2007, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

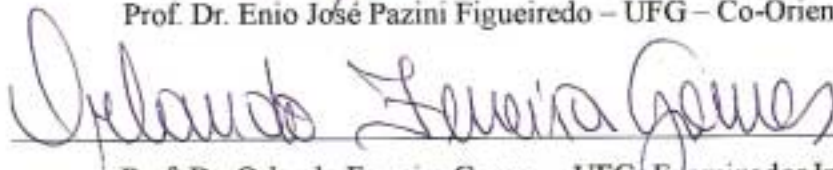


Prof. Dr. Edgar Bacarji – UFG

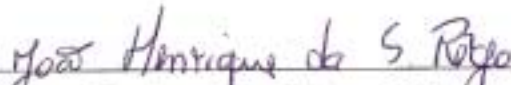
Presidente da Banca



Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo – UFG – Co-Orientador



Prof. Dr. Orlando Ferreira Gomes – UFG – Examinador Interno



Dr. João Henrique Silva Rêgo – UFG – Examinador Convocado



Prof. Dr. Romildo Dias Toledo Filho – COPPE /UFRJ – Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edgar Bacarji, pelo acompanhamento, amizade e a valiosa orientação.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Enio Pazini Figueiredo, pelos ensinamentos, pelas importantes sugestões e discussões durante a realização deste trabalho.

Ao Dr. João Henrique da Silva Rêgo, pelo seu conhecimento transmitido, orientações, e as valiosas sugestões para o desenvolvimento da dissertação.

Ao Mestre Alexandre de Furnas que contribuiu de forma significativa para a realização dos ensaios de caracterização do resíduo.

À FURNAS Centrais Elétricas pelo fundamental apoio técnico na realização da pesquisa.

Ao Laboratório de Materiais de Construção da UFG pelo grande auxílio na realização dos ensaios, sob a coordenação do Prof. Deusair e os funcionários Agnaldo e Manoel.

Ao Prof. Deusair, pela amizade, pelos seus conhecimentos e sugestões transmitidos durante a etapa experimental da pesquisa.

À CIMPOR BRASIL pela doação do Cimento Goiás utilizado na pesquisa.

Às marmorarias Pedra Goiana (A), Gruta (B) e Tropical (C), pela doação do resíduo.

Ao CNPq pelo apoio financeiro, colaborando para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao grande amigo Frederico pelo apoio, discussões e companheirismo.

Aos colegas, professores e funcionários do Mestrado do PPGEMA da EEC/UFG, principalmente o Prof. José Vicente, Prof. Alfredo, Fabíolla, Rita, Elza, Wilson, Rogério, Deuzélia pela amizade e o auxílio na realização do mestrado.

A toda a minha família, principalmente a minha mãe, ao meu pai, as minhas irmãs Thalita e Tatiane, aos meus primos Iure e Samuel, e a minha namorada Suzi, pelo apoio durante a realização do mestrado.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração do presente trabalho.

RESUMO

O Brasil possui aproximadamente 7.000 marmorarias, que fazem a serragem e o polimento das chapas ornamentais, e produzem anualmente cerca de 190.000 toneladas de lama do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG). Isto vem causando um grave problema ambiental, devido à falta de destinação para esse rejeito que, por sua vez, não contribui para o desenvolvimento sustentável. Uma possível solução para esse problema é a utilização do RBMG na construção civil, visto que o resíduo é classificado como inerte e a sua utilização não oferece risco de contaminação à saúde humana. O RBMG tem a vantagem de não possuir a granalha de ferro, a qual está presente no resíduo de serragem de blocos de granito (RCG). O objetivo dessa dissertação é a avaliação da viabilidade técnica da utilização do RBMG, gerado por três marmorarias (denominadas de A, B e C), da cidade de Goiânia, como substituição parcial do cimento na produção de concretos. Realizaram-se as caracterizações física, química, mineralógica, e a avaliação da atividade pozolânica do resíduo, e também, a caracterização granulométrica dos agregados graúdo e miúdo, bem como a caracterização física e química do cimento. Foram confeccionados concretos convencionais, sem substituição (referência) e concretos com 5% , 10% e 20% de substituição do RBMG ao cimento, sendo utilizadas as relações água/aglom de 0,50 e 0,65. Determinaram-se as propriedades dos concretos, como a trabalhabilidade, por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone, a resistência à compressão aos 7, 21 e 28 dias, o módulo de deformação aos 28 dias, o ensaio de absorção, e o índice de vazios. Os resultados mostraram que, por não ter atividade pozolânica, as resistências à compressão e os módulos de deformação dos concretos com o RBMG diminuíram significativamente com os teores de substituição de 10% e 20% . No entanto, com 5% de substituição do resíduo para a relação água/aglom igual a 0,65, houve uma tendência de aumento na resistência à compressão do concreto da empresa A, devido a distribuição granulométrica das pequenas partículas do resíduo, que provocou o preenchimento dos vazios deixados pela hidratação do cimento, ocasionando o chamado efeito filler. Com o teor de substituição de 5% do RBMG, os resultados da análise estatística mostraram que não houve variações significativas em nenhuma das propriedades analisadas, indicando a viabilidade técnica da substituição desta porcentagem de resíduo.

Palavras-Chave: Resíduo, mármore, granito, adição mineral, concreto.

ABSTRACT

Brazil approximately has 7,000 marble shops, which make the cutting and burnishing of ornamental plates, and produces annually about 190,000 tons of mud of Processing Residue of Marble and Granite (PRMG). This has been causing a serious environment problem, due to lack of destination to this residue that, in turn, it does not contribute for the sustainable development. A possible solution for this problem is the use of the PRMG in the civil construction; since the residue was classified, as Inert and its use does not offer risk of contamination to the human health. This research deals with the evaluation of the technique viability of use of the PRMG generated for three marble shops (called A, B and C) of Goiânia city as partial substitution of the cement in the concrete production. Characterizations had been become fulfilled, physical, chemical, mineralogical, and the determination of the residue pozzolanic activity, and also the grain sized characterization of coarse and fine aggregates, as well as the physical and chemical characterization of the Portland cement. Conventional concrete without any replacement (reference) and concretes with levels of 5%, 10% and 20% replacement of cement by PRMG were produced, being used water/agglo proportions of 0.50 and 0.65. The workability through slump test, the compressive strength at 7, 21 and 28 days, deformation module at 28 days and absorption test by immersion in the age of 28 days were determined. This study is based in comparative statistic analysis of the results obtained from the properties of concretes mixtures produced with different substitution contents of PRMG. The results have shown that, for not having pozzolanic activity, the concrete with PRMG reduces the resistance to compression significantly with the increase of levels of residue replacement. However, with the replacement level of 5% of PRMG, with the proportion water/agglo of 0.65, it was observed an increase in the resistance to compression in the concrete of workshop A in comparison to reference concrete. With the level of substitution of 5% of the PRMG, the results of the analysis statistics the have shown that it did not have significant variations in none of the analyzed properties, indicating the technique and environmental viability of the substitution of this percentage of residue.

Keywords: Residue, marble, granite, mineral addition, concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 01	Etapas de produção das rochas ornamentais (VILLASCHI FILHO; PINTO, 2000)	29
Ilustração 02	Quadro das propriedades dos minerais que compõem o mármore e o granito (SANTOS et al., 1998)	33
Ilustração 3a	Extração de granito nas jazidas (SOUZA et al., 1998)	33
Ilustração 3b	Extração de quartzito na jazida de Pirenópolis (ABIROCHAS, 2006).....	33
Ilustração 4a	Serragem nos teares dos blocos de granito (SOUZA et al, 1998).....	34
Ilustração 4b	Lama do resíduo de corte de granito (RCG).....	34
Ilustração 5a	Chapas ornamentais que serão processadas nas marmorarias	35
Ilustração 5b	Depósito de chapas de granito nas empresas (NASCIMENTO, 2006).....	35
Ilustração 6a	Serragem das chapas ornamentais com a cortadeira a jato de água.....	35
Ilustração 6b	Corte das chapas com a serra circular sem a utilização de água.....	35
Ilustração 07	Polimento das chapas ornamentais.....	36
Ilustração 08	Resíduos gerados pelas indústrias de rochas ornamentais (LAMEIRAS, 2004).....	37
Ilustração 09a	Lama do RBMG.....	39
Ilustração 09b	Retalhos de chapas das marmorarias.....	39
Ilustração 10a	Depósito do RBMG no córrego Tamanduá em Ap. de Goiânia.....	40
Ilustração 10b	Deposito do RBMG no córrego Tamanduá em Ap. de Goiânia.....	40
Ilustração 10c	Resíduos de marmoraria depositados no córrego Tamanduá	40
Ilustração 10d	Resíduos de marmoraria depositados no córrego Tamanduá	40
Ilustração 11	Modelo linear de desenvolvimento (JOHN, 2000)	41
Ilustração 12	Modelo cíclico de produção (LAMEIRAS, 2004).....	42
Ilustração 13	Quadro dos resultados da resistência à compressão da pesquisa de Gonçalves (2000).....	44
Ilustração 14	Quadro dos resultados da resistência à compressão do módulo de	

deformação dos concretos da pesquisa de Lameiras (2004)	45
Ilustração 15 Quadro dos resultados da resistência à compressão das argamassas (MOURA et al., 2002)	46
Ilustração 16 Quadro dos resultados da resistência à compressão das argamassas (LISBOA, 2004)	47
Ilustração 17 Fatores que influenciam a resistência do concreto (MEHTA ; MONTEIRO, 1994).....	61
Ilustração 18 Redução da resistência em relação ao teor de vazios (GIAMMUSSO, 1992 apud GUIMARÃES, 2005)	61
Ilustração 19 Plano de carga do módulo tangente inicial NBR 8522 (ABNT, 1984).....	63
Ilustração 20a Moinho de bolas	67
Ilustração 20b RBMG seco, peneirado e destorroado	67
Ilustração 21 Quadro da quantidade de RBMG coletado	67
Ilustração 22a Tanques de decantação da empresa A	68
Ilustração 22b Lama do RBMG	68
Ilustração 23 Tanques de decantação da empresa B	68
Ilustração 24a Canaleta com o RBMG	69
Ilustração 24b Tanque de decantação da empresa C	69
Ilustração 25 Distribuição granulométrica do cimento Portland	78
Ilustração 26 Difratoograma do RBMG da empresa A.....	80
Ilustração 27 Difratoograma do RBMG da empresa B	81
Ilustração 28 Difratoograma do RBMG da empresa C	81
Ilustração 29 Curvas granulométricas do RBMG e do cimento Portland	83
Ilustração 30 Quadro das massas específicas dos resíduos	87
Ilustração 31 Quadro da atividade pozolânica dos resíduos com a cal	89
Ilustração 32 Quadro da atividade pozolânica do RBMG pelo método de Fratini.....	89
Ilustração 33 Gráfico da curva de Saturação do Hidróxido de Cálcio	90
Ilustração 34 Quadro da quantidade de corpos-de-prova moldados na pesquisa	91

Ilustração 35	Quadro com o traço unitário em massa dos concretos	92
Ilustração 36	Quadro da dosagem dos concretos para a confecção dos corpos-de-prova	92
Ilustração 37a	Pesagem do RBMG	93
Ilustração 37b	Confecção do concreto	93
Ilustração 38	Prensa hidráulica da WPM modelo DIMB-200	94
Ilustração 39	Ensaio de abatimento de tronco de cone	97
Ilustração 40	Quadro dos abatimentos dos concretos de relação $a/aglom=0,50$	97
Ilustração 41	Quadro do slump dos concretos para a relação $a/aglom= 0,65$	98
Ilustração 42	Quadro dos resultados da resistência à compressão dos concretos com 5% de RBMG e relação $a/aglom$ igual a 0,50	99
Ilustração 43	Gráfico da resistência dos concretos com 5% de RBMG e $a/aglom$ de 0,50	99
Ilustração 44	Quadro da resistência à compressão dos concretos com 10% de RBMG	100
Ilustração 45	Gráfico da resistência dos concretos com 10% de RBMG ($a/aglom$ de 0,50)	100
Ilustração 46	Quadro da resistência dos concretos com 20% de RBMG ($a/aglom =0,50$)	101
Ilustração 47	Gráfico da resistência à compressão dos concretos, com 20% de RBMG e relação $a/aglom$ igual a 0,50	101
Ilustração 48	Quadro da resistência à compressão dos concretos com 5% de RBMG e $a/aglom$ igual a 0,65	102
Ilustração 49	Gráfico da Resistência dos concretos com 5% de RBMG ($a/aglom$ igual a 0,65)	103
Ilustração 50	Quadro da resistência dos concretos com 10% de RBMG ($a/aglom$ de 0,65)	103
Ilustração 51	Gráfico da resistência dos concretos com 10% de RBMG e $a/aglom$ de 0,65	104
Ilustração 52	Quadro da resistência à compressão dos concretos com 20% de RBMG ($a/aglo = 0,65$)	104

Ilustração 53	Gráfico da resistência dos concretos com 20% de RBMG e a/aglom de 0,65	105
Ilustração 54	Quadro do módulo de deformação dos concretos com relação a/aglom de 0,50	105
Ilustração 55	Gráfico do módulo de deformação dos concretos (a/aglom=0,50).....	106
Ilustração 56	Quadro do módulo de deformação dos concretos com relação a/aglom de 0,65	107
Ilustração 57	Gráfico dos resultados do módulo de deformação dos concretos (a/aglom = 0,65).....	107
Ilustração 58	Gráfico dos resultados da absorção média dos concretos.....	109
Ilustração 59	Gráfico dos resultados do índice de vazios médio dos concretos.....	110
Ilustração 60	Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para o slump dos concretos	112
Ilustração 61	Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para a resistência á compressão dos concretos.....	113
Ilustração 62	Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para o módulo de deformação dos concretos	114
Ilustração 63	Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para a absorção por imersão dos concretos.....	115
Ilustração 64	Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para o Índice de vazios dos concretos.....	116
Ilustração A1	Quadro do valor de F tabelado para P=5% (SHEFFÉ, 1959).....	131
Ilustração A2	Quadro dos valores de t em níveis de probabilidade (SHEFFÉ, 1959).....	132
Ilustração A3	Quadro dos Valores de F para P=5%, segundo o número de graus de liberdade do numerador e denominador (SHEFFÉ,1959)	133
Ilustração A4	Quadro da análise da variância do slump dos concretos (a/aglom = 0,50).....	134
Ilustração A5	Quadro dos valores da amplitude total studentizada (q) para	

	$\alpha=5%$ (SHEFFÉ, 1959)	135
Ilustração A6	Quadro do Teste de Tukey para a comparação entre as médias do slump dos concretos (a/aglom=0,50)	135
Ilustração A7	Quadro Comparação entre as médias do slump dos concretos (a/aglom = 0,50).....	136
Ilustração A8	Quadro dos resultados da variância do slump dos concretos (a/aglom = 0,65).....	138
Ilustração A9	Quadro do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos (a/aglom=0,65)	139
Ilustração A10	Quadro da comparação entre as médias do slump dos concretos (a/aglom=0,65).....	140
Ilustração A11	Quadro da análise da variância das resistências dos concretos (a/aglom=0,50).....	143
Ilustração A12	Quadro do Teste de Tukey das resistências dos concretos (a/aglom=0,50).....	143
Ilustração A13	Quadro da comparação das médias das resistências (a/aglom=0,50).....	144
Ilustração A14	Quadro da análise da variância das resistências dos concretos (a/aglom=0,65).....	147
Ilustração A15	Quadro do Teste de Tukey das resistências dos concretos (a/aglom=0,65).....	147
Ilustração A16	Quadro da comparação entre as médias das resistências dos Concretos (a/aglom=0,65)	148
Ilustração A17	Quadro da análise da variância do módulo dos concretos (a/aglom=0,50).....	151
Ilustração A18	Quadro do Teste de Tukey do módulo dos concretos (a/aglom=0,50).....	151
Ilustração A19	Quadro da comparação das médias dos módulos (a/aglom=0,50).....	152
Ilustração A20	Quadro da análise da variância do módulo dos concretos (a/aglo=0,65).....	154
Ilustração A21	Quadro do teste de Tukey para comparação entre as médias	

do módulo de deformação dos concretos ($a/aglom=0,65$)	155
Ilustração A22 Quadro da comparação comparação entre as médias do módulo de defomação dos concretos ($a/aglom=0,65$)	156
Ilustração A23 Quadro da análise da variância da absorção dos concretos ($a/aglo=0,50$).....	159
Ilustração A24 Quadro do Teste de Tukey das absorções dos concretos ($a/aglo=0,50$).....	159
Ilustração A25 Quadro da comparação entre as absorções dos concretos para a relação $a/aglom$ igual a 0,50	160
Ilustração A26 Quadro da análise da variância das absorções dos concretos ($a/aglom=0,65$).....	162
Ilustração A27 Quadro do Teste de Tukey para a comparação entre as médias das absorções dos concretos ($a/aglom=0,65$).....	163
Ilustração A28 Quadro da comparação entre as absorções dos concretos ($a/aglom=0,65$).....	164
Ilustração A29 Quadro da análise da variância do índice de vazios dos concretos ($a/aglo=0,50$)	167
Ilustração A30 Quadro do Teste de Tukey do índice de vazios dos concretos ($a/aglom=0,50$).....	167
Ilustração A31 Quadro da comparação entre as médias do índice de vazios dos concretos ($a/aglom=0,50$).....	168
Ilustração A32 Quadro da análise da variância do índice de vazios dos concretos ($a/aglo=0,65$)	171
Ilustração A33 Quadro do Teste de Tukey do índice de vazios dos concretos ($a/aglom=0,65$).....	171
Ilustração A34 Quadro da comparação entre as médias do índice de vazios dos concretos ($a/aglom=0,65$)	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Principais características físicas e químicas das rochas graníticas	32
Tabela 02	Composição do cimento Portland	50
Tabela 04	Composição granulométrica do agregado miúdo	72
Tabela 05	Composição granulométrica do agregado graúdo.....	74
Tabela 06	Análise química do cimento CP II F-32.....	75
Tabela 07	Análise das propriedades físicas e mecânicas do cimento CP II F-32.....	77
Tabela 08	Análise química entre o RBMG, RCG e RBCG de diferentes regiões.....	79
Tabela 09	Caracterização granulométrica do RBMG e do cimento.....	83
Tabela 10	Determinação da finura dos grãos do RBMG.....	87
Tabela 11	Atividade pozolânica do RBMG com o cimento.....	88
Tabela 12	Absorções dos concretos	108
Tabela 13	Índice de vazios dos concretos.....	110
Tabela A1	Parâmetros estatístico para o Slump dos concretos (a/aglo=0,50).....	131
Tabela A2	Determinação do Teste F, do slump dos concretos (a/aglo=0,50).....	132
Tabela A3	Cálculo do Teste t, do slump dos concretos (a/aglo = 0,50).....	133
Tabela A4	Parâmetros estatísticos para o Slump dos concretos (a/aglo=0,65).....	137
Tabela A5	Determinação do Teste F, do slump dos concretos (a/aglo=0,65).....	137
Tabela A6	Cálculo do Teste t, para o slump dos concretos (a/aglo = 0,65).....	138
Tabela A7	Parâmetros estatísticos para a resistência dos concretos (a/agl=0,50)....	141
Tabela A8	Teste F, para a resistência dos concretos (a/aglo=0,50).....	141
Tabela A9	Cálculo do Teste t, da resistência dos concretos (a/aglo = 0,50).....	142
Tabela A10	Parâmetros estatísticos para a resistência dos concretos (a/aglo=0,65) ..	145
Tabela A11	Teste F, para a resistência dos concretos (a/aglo=0,65).....	145
Tabela A12	Cálculo do Teste t, para a resistência dos concretos (a/aglo = 0,65)	146
Tabela A13	Variáveis estatísticas para o Módulo dos concretos (a/aglo=0,50).....	149
Tabela A14	Teste F, para o módulo de deformação dos concretos (a/aglo=0,50)	149
Tabela A15	Teste t, para o módulo de deformação dos concretos (a/aglo = 0,50).....	150
Tabela A16	Parâmetros estatísticos do Módulo dos concretos (a/aglo=0,65).....	153

Tabela A17	Teste F, para o módulo de deformação dos concretos ($a/aglo=0,65$) 153
Tabela A18	Teste t, para o módulo de deformação dos concretos ($a/aglo = 0,65$)..... 154
Tabela A19	Parâmetros estatístico para a absorção dos concretos ($a/aglo=0,50$)..... 157
Tabela A20	Teste F, da absorção por imersão dos concretos ($a/aglo=0,50$)..... 157
Tabela A21	Teste t, para a absorção dos concretos ($a/aglo = 0,50$)..... 158
Tabela A22	Parâmetros estatísticos para a Absorção dos concretos ($a/aglo=0,65$).... 161
Tabela A23	Teste F, para a absorção por imersão dos concretos ($a/aglo=0,65$) 161
Tabela A24	Teste t, para a absorção dos concreto ($a/aglo = 0,65$) 162
Tabela A25	Parâmetros estatísticos índice de vazios dos concretos ($a/aglo=0,50$).... 165
Tabela A26	Teste F, para o índice de vazios dos concretos ($a/aglo=0,50$) 165
Tabela A27	Teste t, para o índice de vazios dos concreto ($a/aglo = 0,50$)..... 166
Tabela A28	Parâmetros estatísticos índice de vazios dos concretos ($a/aglo=0,65$).... 169
Tabela A29	Teste F, para o índice de vazios dos concretos ($a/aglo=0,65$) 169
Tabela A30	Teste t, para o índice de vazios dos concreto ($a/aglo = 0,65$)..... 170

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RBMG	Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito
RCG	Resíduo de Corte de Granitocusto e eficiência
RBCG	Resíduo de Beneficiamento de Chapas de Granito
RCMG	Resíduo de Corte de Mármore e Granito
C0 ₂	Gás carbônico
ECO-92	Conferência mundial sobre o meio ambiente, realizada no Rio de Janeiro, em 1992
ENBRI	European Network of Building Research Institute – Instituto Europeu de pesquisas na construção civil
ABIROCHAS	Associação Brasileira de Rochas
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CFEM	Compensação financeira pela exploração dos recursos minerais
SIMAGRAN	Sindicato de mármore e granitos do Estado de Goiás
SGM	Superintendência de Geologia e Mineração
SIC	Secretaria da Indústria e Comércio
RSB	Rochas Silicáticas Brutas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DCT	Departamento de Apoio e Controle Tecnológico
SiO ₂	Sílica- Quartzo
Al ₂ O ₃	Alumina
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro
SO ₃	Sulfato - gesso
MgO	Óxido de magnésio
K ₂ O e Na ₂ O	Álcalis
TiO ₂	Óxido de Titânio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio - Calcita
MgCO ₃	Carbonato de magnésio
KAlSi ₃ O ₈	Microclínio

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dolomita
$\text{K}_2\text{Al}_4\text{Si}_6\text{A}_2\text{O}_{20}$	Muscovita
NaSi_3O_8	Albita
$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Anortita
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hidróxido de Cálcio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma do Mercosul
UFG	Universidade Federal de Goiás
EEC	Escola de Engenharia Civil
SANEAGO	Empresa de Saneamento do Estado de Goiás
CP I	Cimento Portland Comum
CP II-E	Cimento Portland Composto por Escória
CP II-F	Cimento Portland Composto por Fíler calcário
CP II-Z	Cimento Portland Composto por Pozolana
CP III	Cimento Portland de Alto Forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CP V ARI RS	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente Sulfatos

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Angström = 10^{-10} m; Absorção por imersão dos concretos
a/c	Fator água /cimento
a/aglom	Fator água/aglomerante
d	Distância interplanar
E_0	Módulo de deformação tangente inicial
$E_{c \text{ médio}}$	Módulo de deformação médio
F	Índice de finura do RBMG e do cimento
F_c	Fator de correção da peneira
f_c	Carga de ruptura; Resistência à compressão axial
$f_{c \text{ média}}$	Resistência à compressão média axial
I_v	Índice de vazios
K	Constante do aparelho
m	Massa
m_{sat}	Massa Saturada
m_{seca}	Massa Seca
m_i	Massa Imersa
nm	10^{-9} m
P_1	Massa do recipiente vazio
P_2	Massa do recipiente + brita + vidro
P_3	Massas da água + brita + vidro
P_4	Massas da água + vidro
P_s	Peso seco do agregado
R	Quantidade retida de material nas peneiras n°200 e n°325
t	Tempo
T	Massa da amostra pesada inicialmente
S	Área específica do cimento
v	Volume
V_a	Volume aparente

V_r	Volume real da amostra
ε	Deformações; Porosidade da camada
η	Viscosidade do ar
γ	Massa específica do agregado graúdo
γ_a	Massa unitária dos agregados
γ_r	Massa específica do agregado miúdo
μ	10^{-6} m
ρ	Massa específica do RBMG; Massa específica do cimento
θ	Ângulo de difração
σ_{inferior}	Tensão para a carga de 0,5 MPa
σ_{sup}	Tensão para a carga de $0,3 \cdot f_c$
ΔV	Variação de volume

SUMÁRIO

RESUMO	04
ABSTRACT	05
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	06
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
LISTA DE SÍMBOLOS	16
1. INTRODUÇÃO	22
1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA	25
1.2 OBJETIVOS.....	25
1.2.1 Objetivo Geral	25
1.2.2 Objetivos Específicos	25
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	26
2. RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E A INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	27
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	27
2.2 A INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	28
2.2.1 As características das rochas ornamentais	30
2.2.2 A extração e o desdobramento das rochas ornamentais	33
2.2.3 O beneficiamento das Chapas Ornamentais	34
2.2.4 O volume gerado do resíduo (RBMG)	36
2.3 A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	40
2.4 PESQUISAS REALIZADAS COM O RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	43

3. AS ADIÇÕES MINERAIS EM CONCRETOS	49
3.1 AS ADIÇÕES MINERAIS COM ATIVIDADE POZOLÂNICA	51
3.2 AS ADIÇÕES MINERAIS SEM ATIVIDADE POZOLÂNICA	52
3.3 O EFEITO FÍSICO E QUÍMICO DAS ADIÇÕES MINERAIS.....	54
4. AS PROPRIEDADES DO CONCRETO	64
4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	56
4.1.1 Trabalhabilidade	56
4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	59
4.2.1 Propriedades mecânicas do concreto	60
4.2.1a Resistência à compressão axial	60
4.2.1b Módulo de deformação.....	62
4.2.2 Propriedades de durabilidade do concreto	64
4.2.2a Absorção de água por imersão e Índice de vazios.....	65
5. PROGRAMA EXPERIMENTAL	66
5.1 COLETA E SELEÇÃO DO RBMG	66
5.1.1 Empresa A	67
5.1.2 Empresa B	68
5.1.3 Empresa C	69
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	70
5.2.1 Caracterização do agregado miúdo	70
5.2.2 Caracterização do agregado graúdo	73
5.2.3 Cimento Portland	74
5.2.3a Composição Química	75
5.2.3b Caracterização física.....	76
5.2.4 Água	78
5.3 CARACTERIZAÇÃO DO RBMG	78
5.3.1 Caracterização química	79
5.3.2 Caracterização mineralógica	80

5.3.3 Caracterização física	82
5.3.3a <i>Granulometria a laser</i>	82
5.3.3b <i>Massa específica</i>	84
5.3.3c <i>Finura na peneira nº 325</i>	85
5.3.4 Ensaio de atividade pozolânica com a cal e com o cimento	87
5.3.5 Determinação da Atividade pozolânica pelo método de Fratini	89
5.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS	90
5.4.1 Confecção dos corpos-de-prova	90
5.4.2 Dosagem	92
5.4.3 Concreto no estado fresco	93
5.4.4 Concreto no estado endurecido	94
5.4.4a <i>Resistência à compressão axial dos concretos</i>	94
5.4.4b <i>Módulo de deformação dos concretos</i>	95
5.4.4c <i>Determinação da absorção de água por imersão e índice de vazios dos concretos</i>	95
5.4.5 Metodologia da análise estatística dos resultados	96
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
6.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM O RBMG NO ESTADO FRESCO.....	97
6.1.1 Trabalhabilidade	97
6.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM O RBMG NO ESTADO ENDURECIDO.....	98
6.2.1 Resistência à compressão	98
6.2.2 Módulo de deformação	105
6.2.3 Absorção por imersão	108
6.2.4 Índice de vazios	110
6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	111
6.3.1 Resultados da análise estatística quanto ao slump dos concretos	111
6.3.2 Resultados da análise estatística para a resistência à compressão dos concretos	113

6.3.3 Resultados da análise estatística para o módulo de deformação dos concretos.....	114
6.3.4 Resultados da análise estatística para a absorção por imersões dos concretos.....	115
6.3.5 Resultados da análise estatística para o índice de vazios dos concretos.....	116
7. CONCLUSÕES.....	118
7.1 COM RELAÇÃO A CARACTERIZAÇÃO DO RBMG	118
7.2 COM RELAÇÃO ÀS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO FRESCO	118
7.3 COM RELAÇÃO ÀS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO ENDURECIDO	119
7.3.1 Propriedades mecânicas	119
7.3.1.a Resistência à compressão axial.....	119
7.3.1.b Módulo de deformação	120
7.3.2 Propriedades de durabilidade.....	120
7.3.2.a Absorção por imersão e Índice de vazios	120
7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
7.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
APÊNDICE.....	130

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria dos setores da indústria da construção civil é responsável pela geração de resíduos causadores de graves problemas ambientais que não contribuem para o desenvolvimento sustentável. Sabe-se que o Brasil consome aproximadamente 220 milhões de toneladas de agregados naturais, somente para a produção de concretos e argamassas (JOHN, 2000). Cerca de 20 a 50% do total dos recursos naturais consumidos pela sociedade são consumidos pela indústria da construção civil (SJÖSTROM, 1992).

Nas indústrias cimenteiras brasileiras, para a produção de 1 tonelada de cimento, é gerada cerca de 0,8 tonelada de CO₂, durante a calcinação do calcário (JOHN, 2001). De acordo com o ENBRI (European Network of Building Research Institute), a construção civil consome cerca de 4,5% do total de energia consumido no planeta, com 84% na fase de produção dos materiais. Portanto, a indústria da construção civil é grande consumidora de recursos naturais, sendo responsável pela geração de enorme quantidade de poluição na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. Neste contexto surge a idéia de desenvolvimento sustentável, que pode ser definido como uma forma de desenvolvimento econômico que “emprega os recursos naturais e o meio ambiente não apenas em benefício do presente, mas também das gerações futuras” (JOHN, 1999). O princípio básico do desenvolvimento sustentável é promover o desenvolvimento da sociedade de forma a minimizar ao máximo os prejuízos causados ao meio ambiente.

Dentre as melhores alternativas para o desenvolvimento sustentável, tem-se a reciclagem de resíduos como a solução dos problemas ambientais gerados, sendo que a construção civil possui um grande potencial de utilização dos resíduos, uma vez que ela chega a consumir até 75% de recursos naturais (JOHN, 2000; LEVY, 1997). A proteção do solo e da água, as limitações da produção de perdas e reutilização de materiais são aspectos fundamentais para o conceito de desenvolvimento sustentável, mas é necessário que se conheça todas as características físicas, químicas e ambientais dos resíduos a serem utilizados (PERA, 1996).

A busca por um desenvolvimento sustentável, o aumento do consumo dos recursos naturais, o enorme gasto energético, juntamente com a crescente produção de rejeitos têm dado uma nova dimensão à questão do aproveitamento de resíduos (JOHN, 2000). Por ser a maior consumidora de materiais na economia e por utilizar os mais diversos tipos de materiais, a

construção civil tem uma grande potencialidade de incorporar tais resíduos. De acordo com John (2000), pode-se também citar como fatores facilitadores da reciclagem na cadeia produtiva da construção civil:

- Possibilidade de utilização de grandes volumes de produtos com resistência mecânica baixa se comparada com outros setores da engenharia;
- Grande parte dos componentes da construção civil é de simples produção;
- Os diferentes ramos da cadeia produtiva estão presentes em todas as regiões, permitindo uma reciclagem local.

O mercado da construção civil se apresenta como uma das mais eficazes alternativas para consumir materiais reciclados, pois a atividade da construção é realizada em qualquer região e existe a ampliação do ambiente construído, o que permitirá a redução dos custos de transporte, e também reduzirá o consumo de energia na obtenção dos materiais. Além disso, a maioria dos componentes necessários à produção de edificações pode ser produzida sem grande sofisticação técnica (JOHN, 2000).

De acordo com Chiodi Filho (2006), a produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento foi estimada em 6,9 milhões de toneladas no ano de 2005, o Brasil é o quarto maior produtor de rochas ornamentais no mundo, representando 8% da produção mundial. As empresas brasileiras beneficiadoras têm capacidade estimada de serragem e polimento para 58 milhões de metros quadrados por ano, de rochas extraídas como blocos e chapas (mármore, granitos, quartzitos).

O Brasil é o maior detentor das reservas mundiais de granito, as maiores encontram-se no Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Ceará, com relação aos mármore as maiores reservas estão nos Estados, Espírito Santo, Bahia, Rio de Janeiro, Piauí, Minas Gerais e Paraná.

De acordo com ABIROCHAS (2001), o Espírito Santo é o principal estado produtor brasileiro de mármore e granito, e representa 47% da produção nacional. Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia, representam 80% da produção nacional de rochas ornamentais. O Estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor e possui a maior diversidade de rochas ornamentais.

A produção e comercialização das rochas ornamentais são desenvolvidas, por mais de 12.000 empresas, sendo 1.600 frentes de lavra, 2.000 atuando na serragem de blocos, 7.000

marmorarias fazendo o beneficiamento final e 877 empresas exportadoras (CHIODI FILHO, 2006).

De acordo com o presidente do Sindicato de Mármore e Granitos do Estado de Goiás (SIMAGRAN-GO), Carlos Queiroz, o Estado de Goiás possui 180 marmorarias registradas no Sindicato de Mármore e Granitos do Estado de Goiás (SIMAGRAN), que empregam cerca de duas mil pessoas. Somente na região metropolitana de Goiânia, o setor de rochas ornamentais conta com 82 empresas beneficiadoras das chapas de mármore e granito. Nessas empresas, são processadas rochas silicáticas e carbonáticas proveniente de outros Estados, como Espírito Santo e Minas Gerais, e também mármore importados.

Além das empresas que fazem a serragem e o polimento das chapas ornamentais, o Estado de Goiás possui também onze empresas mineradoras que realizam a extração dos blocos de rochas ornamentais (lavra), e cinco serrarias, que fazem o corte dos blocos em chapas ornamentais (CHIODI FILHO, 2006).

Os distritos graneiros em Goiás, localizam-se nas regiões oeste, central, nordeste e sul do Estado, constituindo respectivamente os municípios Fazenda Nova, Pilar de Goiás, Monte Alegre de Goiás e Joviânia. Outra rocha também explorada no Estado corresponde ao quartzito ou pedra goiana, que é extraída nos municípios de Pirenópolis e Buriti de Goiás.

Dados da Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria da Indústria e Comércio (SGM/SIC) mostram que a produção goiana de blocos varia entre 1.420 a 3.310 m³ por mês correspondendo, respectivamente, a algo em torno de 46 mil a 108 mil toneladas por ano de rochas ornamentais. No ano de 2005, o Estado produziu cerca de 170.000 toneladas de rochas silicáticas brutas (RSB), que incluem rochas como o granito vermelho e azul, arenito, basalto, gnaisses, dentre outros tipos de rochas (CHIODI FILHO, 2006).

Em função da enorme produção de rochas ornamentais no Brasil e o processo produtivo utilizado pelas empresas, há geração de grande quantidade de resíduo pela indústria de rochas ornamentais. O resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) é gerado na forma de lama, durante a serragem e o polimento de chapas ornamentais nas marmorarias. Estima-se que as 7.000 empresas de beneficiamento de chapas ornamentais, produzam algo em torno de 190.000 toneladas do RBMG por ano.

Segundo Moura e Gonçalves (2002), o Brasil produz cerca de 240.000 toneladas de resíduo de corte de mármore e granito por ano.

Considerando-se a grande quantidade de resíduo gerada e tentando contribuir para o desenvolvimento sustentável, por meio do aproveitamento do resíduo de corte e beneficiamento de mármore e granito na construção civil, alguns pesquisadores vêm estudando a possibilidade do uso desses resíduos na produção de argamassas (MOURA et al., 2002), concretos (GONÇALVES, 2000) e (LAMEIRAS, 2004), asfaltos (SOUZA, 1998), tijolos cerâmicos (MENEZES et al., 2002) e peças cerâmicas (LIMA FILHO et al., 2000).

Devido ao grande volume de resíduos gerado pelas marmorarias, esta pesquisa visa avaliar a viabilidade técnica da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como substituição parcial ao cimento, para a produção de concretos.

1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

A principal justificativa dessa pesquisa é contribuir para a sustentabilidade da construção civil, reduzindo o consumo energético e dos recursos naturais, na produção dos materiais da indústria da construção civil e, dessa forma, minimizar problemas ambientais decorrentes da deposição de resíduos na natureza.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa pesquisa é contribuir para o desenvolvimento sustentável na construção civil, estudando-se a viabilidade técnica da utilização do resíduo proveniente do beneficiamento do mármore e granito na substituição ao cimento, verificando a influência do resíduo nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dessa pesquisa são os seguintes:

- Caracterização física, química e mineralógica do resíduo do beneficiamento de mármore e granito (granulometria, massa específica, finura dos grãos);
- Avaliação das propriedades do concreto no estado fresco (trabalhabilidade);
- Determinação das características mecânicas do concreto, como a resistência à compressão e módulo de elasticidade;
- Determinação das propriedades de durabilidade do concreto, como absorção e índice de vazios;
- Realização de uma análise estatística dos resultados.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação possui sete capítulos, distribuídos da seguinte forma:

- No Capítulo 01 apresenta-se a introdução com os aspectos gerais da indústria de rochas ornamentais brasileira, e da reciclagem de resíduos na construção civil, bem como a relevância do tema, e os objetivos gerais e específicos da pesquisa;
- No Capítulo 02 apresenta-se a idéia do desenvolvimento sustentável, as etapas de produção da indústria de rochas ornamentais, e o volume gerado do RBMG. Abordam-se alguns aspectos da reciclagem de resíduos na construção civil, e a classificação dos mesmos;
- No Capítulo 03 são enfocados os aspectos gerais das adições minerais nos concretos, e também as propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido;
- O Capítulo 04 aborda o programa experimental da pesquisa, com os métodos de ensaios utilizados, a caracterização dos materiais, e a confecção dos corpos-de-prova;
- No Capítulo 05 são apresentados os resultados da pesquisa, com a caracterização do RBMG, e os resultados das propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido;
- No Capítulo 06 abordam-se as conclusões dos resultados obtidos no capítulo anterior, e também são feitas sugestões para trabalhos futuros.

2 A RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E A INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica concisa sobre o desenvolvimento sustentável, a geração e classificação dos resíduos sólidos, as vantagens da reciclagem, o consumo de matérias-primas na fabricação dos materiais da construção civil, e as fases de produção de resíduos na indústria de rochas ornamentais.

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao longo da história da humanidade, a visão de progresso vem se confundindo com um crescente domínio e transformação da natureza. A preservação do meio ambiente foi visto como um obstáculo ao desenvolvimento, e os recursos naturais eram tidos como ilimitados. Neste contexto, a conservação da natureza significou a criação de parques, preservação de espécies em extinção e áreas destinadas à preservação de amostras da natureza para as gerações futuras. Mas com a percepção da incapacidade desse modelo de desenvolvimento e de preservação ambiental se perpetuar e até mesmo garantir a sobrevivência da espécie humana, surgiu então a visão e teoria do “desenvolvimento sustentável”.

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, denominada de Comissão Brundtland, publicou o relatório “Nosso Futuro Comum” em 1987, que definiu o desenvolvimento sustentável, como sendo a necessidade de satisfazer às necessidades da geração atual, sem o comprometimento das necessidades das gerações futuras.

De acordo com John (2000), o desenvolvimento sustentável é aquele que “permite atender às necessidades básicas de toda a população e garante a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras em atenderem as suas próprias necessidades”. Para o atendimento das necessidades básicas, é necessário que haja também o avanço nas tecnologias, com a utilização de materiais alternativos, de forma a minimizar o impacto ambiental com a exploração de novas fontes, para a produção dos materiais.

A implantação de uma logística na gestão de resíduos é necessária para o uso racional dos recursos, tais como a energia e as matérias primas naturais. A indústria da construção civil explora uma enorme quantidade de matérias-primas naturais para a produção dos agregados, além da produção do resíduo durante os processos de demolição e construção. A União Européia produz entre 221 e 334 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano, o que corresponde uma média de 607 a 918 kg de resíduo por pessoa durante o ano, enquanto que o lixo doméstico corresponde quase a metade desse total, sendo aproximadamente 390 kg por pessoa anualmente (JOHN, 2000) .

A conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (ECO-92) consolidou, pela Agenda 21, a visão de que o desenvolvimento sustentável não apenas demanda a preservação dos recursos naturais, de modo a garantir às gerações futuras iguais condições de desenvolvimento, mas também a equidade no acesso aos benefícios do desenvolvimento. Segundo John (1999) o desenvolvimento sustentável está criando raízes na sociedade e certamente irá abranger as atividades do macro-complexo da construção civil, da extração de matérias-primas, da produção de materiais de construção, chegando ao canteiro de obras e às etapas de operação, manutenção e demolição.

De acordo com Pentalla (1997), o princípio do desenvolvimento sustentável está consolidado numa melhor distribuição dos recursos econômicos da humanidade, tendo uma preocupação com a preservação da natureza. Os processos de produção devem reduzir o gasto com energia e a produção de subprodutos perigosos ao meio ambiente e à saúde humana.

Com relação à construção civil o conceito de desenvolvimento sustentável deve ser compreendido como um processo que provoca mudanças na exploração dos recursos naturais, por meio de investimento em tecnologias que utilizem materiais alternativos de forma a garantir a preservação do meio ambiente para as gerações futuras. É importante que haja uma educação ambiental, para que as pessoas tenham consciência da importância da preservação das fontes da natureza, para a sobrevivência do futuro do nosso planeta.

2.2 A INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

As etapas da produção da indústria de rochas ornamentais constituem-se na extração, no desdobramento e no beneficiamento (Ilustração 01). A primeira etapa é constituída pelas

empresas extratoras, que retiram os blocos nas jazidas. A segunda fase consiste no desdobramento dos blocos em chapas, por meio de equipamentos denominados teares. A última etapa é composta pelas marmorarias, que fazem a serragem e o polimento das chapas, com os principais produtos sendo bancadas, lavatórios, soleiras, degraus, pisos, revestimento de paredes.

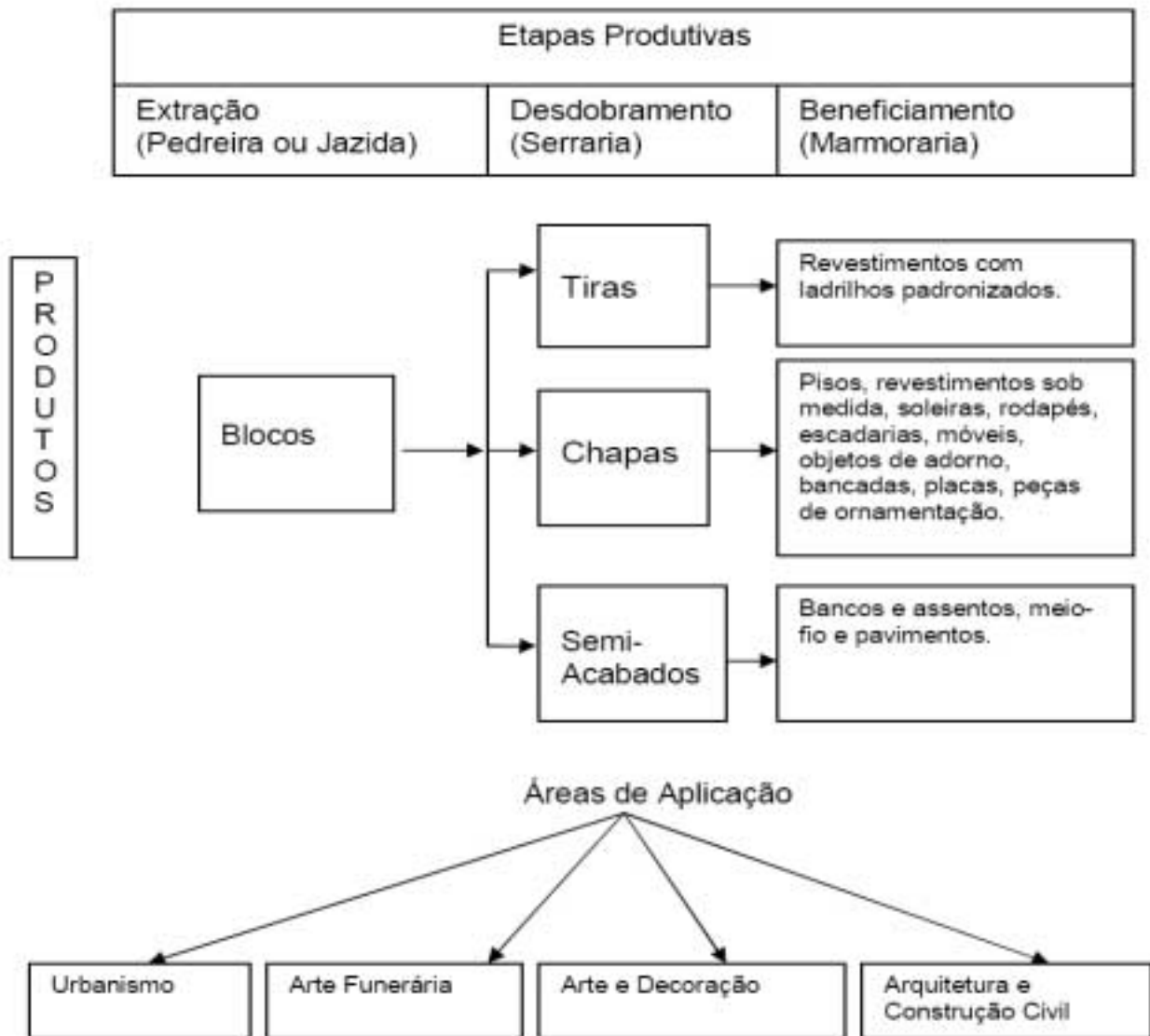


Ilustração 1 – Etapas de produção das rochas ornamentais (VILLASCHI FILHO; PINTO, 2000).

Com relação à demanda do consumidor final, as marmorarias estão sujeitas às dimensões e detalhes relacionados com as especificações requeridas. Portanto, na fase de beneficiamento, é preciso um conjunto de equipamentos, máquinas e insumos diferenciados em relação às demais etapas. (VILLASCHI FILHO; PINTO, 2000).

De acordo com Montani (2003) e Bradley (2001), os setores de pavimentação (interna e externa) consumiram no Brasil, em 2002, cerca de 13 milhões de m² de chapas de mármore e granito (2 cm de espessura), e o de revestimentos (internos e externos), utilizaram aproximadamente 7 milhões de m² de chapas beneficiadas. Ambos são os setores da construção civil, com maior utilização das chapas ornamentais, correspondendo a 44% do total dos diversos tipos de aplicações das rochas ornamentais.

2.2.1 As características das rochas ornamentais

Desde os tempos da pré-história, já se utilizava às rochas ornamentais, na produção de utensílios domésticos, armas de caça e pesca e objetos religiosos. Os mármore foram inicialmente utilizados nas edificações de habitações e de muralhas para a defesa de cidades. No Brasil as primeiras construções com essas rochas, foram feitas pelos portugueses no período colonial.

As rochas ornamentais são compostas por granito, mármore, quartzitos, arenitos, entre outros. Considera-se rocha ornamental aquela produzida pela sua extração, na forma de blocos paralelepípedicos de granito, sienito, migmatito, quartzito, arenito, ardósia, serpentinito, mármore, calcário, que serão serrados em placas com interesse comercial. Em termos comerciais, granito é um nome genérico para designar qualquer tipo de rocha ácida plutônica. Todas as rochas com alta resistência ao desgaste e beleza, que podem ser serrada e polida e utilizadas como materiais de revestimento são generalizadas como granito.

Os granitos fazem parte do grupo de rochas ígneas que, devido ao seu local de formação, são classificadas em ácidas plutônicas, resultantes da solidificação do material rochoso (magma), gerado no interior da crosta terrestre. As rochas ígneas formam a maior parte dos batólitos (massa ígnea de grande volume, abrangendo área de afloramento em superfície superior a 100 km²) em núcleos de cadeias montanhosas.

As rochas graníticas resultam em material cristalino, geralmente de graduação grossa e formas definidas, e são as que apresentam melhor comportamento geomecânico, sendo as mais utilizadas na indústria da construção civil brasileira.

De acordo com Oliveira et al., (1998), as rochas ácidas plutônicas são intrusivas, cristalinas, uniformes, de textura granular, com os feldspatos constituindo os fenocristais. Os

principais minerais (compostos químicos resultantes da associação de átomos de dois ou mais elementos) constituintes do granito são o quartzo (20-30%), e os feldspatos (50-70%), que se dividem em feldspato potássico (microclínio) e plagioclásio (anortita) e também possui os minerais ferromagnesianos (5-25%). Dos minerais ferromagnesianos, a biotita e hornblenda são os minerais mais comuns, sendo a magnetita, titanita, zircão e apatita, os minerais acessórios.

Os minerais quartzos, calcedônia e opala constituem os principais tipos de sílica, a qual se constitui num óxido, sendo que a sua estrutura se enquadra nos silicatos. Os silicatos apresentam o íon Si^{+4} situado entre quatro íons de O^{-2} compondo um arranjo tetraédrico $(\text{SiO}_4)^{-4}$, são divididos em subclasses conforme o tipo de ligação da estrutura tetraédrica. Os silicatos englobam os minerais constituintes das rochas graníticas como quartzo, muscovita, feldspato potássico, plagioclásio, zircão, titanita, apatita.

O quartzo pode ser encontrado nas rochas ígneas ácidas (granitos), sedimentares detríticas (arenitos) e metamórficas (quartzitos, gnaisses, xistos). Nas rochas é incolor (hialino), leitoso (branco, translúcido) e cinza. O quartzo é o principal mineral constituinte das areias, e aumenta a resistência mecânica da rocha, por outro lado aumenta a sua abrasividade, o que leva ao maior desgaste dos equipamentos de serragem.

A estrutura das rochas graníticas é usualmente maciça, mas pode exibir certa orientação marcada pela isorientação de feldspatos. A alteração intempérica dos granitos propicia a formação de argilominerais (caulinita), a partir dos feldspatos e a desagregação da rocha em material areno-argiloso.

A muscovita é a mica mais comum e importante das rochas metamórficas (gnaisses, quartzitos, xistos), e também podem aparecer em rochas ígneas, principalmente em pegmatitos. Estando na forma sericita, a muscovita apresenta variedade com hábito laminar, brilho sedoso e granulação mais fina.

Nas bordas e no interior de plutons (volumes irregulares de rochas intrusivas) graníticos, é comum a ocorrência de diques ou veios formados pelo preenchimento de fraturas, na rocha recém-consolidada. Estes diques podem ser de dois tipos, pegmatitos ou aplitos. Os minerais pegmatitos apresentam granulação muito grossa e a são compostos de quartzo, feldspato alcalino, e muscovita.

A Tabela 1 apresenta as características físicas, químicas e petrográficas das rochas graníticas.

Tabela 1 -Principais características, físicas e químicas das rochas graníticas.

Rocha	Plutônicas
Estrutura	Maciça
Textura	Granula fina a grossa
Cor	Cinza a rosa-avermelhada
Minerais Essenciais	Quartzo(SiO ₂); plagioclásio (anortita- CaAL ₂ Si ₂ O ₈ + albita- NaAlSi ₃ O ₈) feldspato potássico (microclínio - KAlSi ₃ O ₈)
Classificação química	Ácidas
Teor de SiO₂(quartzo)	52-66%
Classificação Petrográfica Granulometria	> 0,06 mm
Massa Específica	2,60 a 2,85 kg/dm ³
Porosidade	0,40 a 1,20 %
Resistência à compressão	1.600 a 3.000 kgf/cm ²
Resistência à tração	100 a 220 kgf/cm ²
Resistência ao impacto	10 a 15 choques
Desgaste por abrasão	0,35 a 0,82 mm

Fontes: ABIROCHAS (2006); OLIVEIRA et al., (1998).

Os mármorees fazem parte do grupo das rochas metamórficas, que são rochas formadas pelo metamorfismo de contato ou metamorfismo regional de rochas calcáreas ou dolomíticas, são consideradas rochas carbonáticas, de constituição calcítica. Comercialmente, o mármore é toda rocha calcárea, capaz de ser serrada e de receber polimento, incluindo-se rochas calcáreas, metamórficas ou sedimentares, como calcários cristalinos, travertino e outros. Os mármorees são classificados de acordo com a textura, a uniformidade do grão e o tom predominante. Podendo haver mármorees brancos (com textura do fundo creme), beges, azuis fundos negros, fundos rosa, cinza-pérola, amarelos, verdes, vermelhos e violetas.

Os minerais predominantes nos mármorees são os carbonáticos (minerais caracterizados pelo ânion (CO₃)⁻²), com a presença superior a 50%. Os carbonáticos fazem parte dos minerais não-silicatos, caracterizados pela ausência do íon Si⁺⁴. Estes minerais são compostos predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO₃) e carbonato de magnésio (MgCO₃), tais como calcita e dolomita. A calcita é o carbonato de cálcio (CaCO₃) e ocorre em rochas sedimentares (calcários) e metamórficas (mármorees). A dolomita é o carbonato de cálcio e magnésio CaMg(CO₃)₂. De acordo com CHIODI FILHO (2006), a massa específica dos mármorees, varia de 2,40 a 2,80 kg/dm³, a sua porosidade total varia de 5,0 a 12%, a resistência a compressão de 800 a 1.800 kgf/cm²; a resistência à tração de 40 a 150kgf/cm², resistência ao impacto de 8 a 10 choques, e o desgaste por abrasão de 1,5 a 5 mm. O quadro da Ilustração 02 apresenta as características físicas, químicas dos principais minerais que compõem o mármore e o granito.

Rocha	Mineral	Sistema Cristalino		Cor	Dureza	Brilho	Peso Kg/dm ³
		Grupos	Formas				
GRANITO	Muscovita (pegmatitos) $K_2Al_4Si_6Al_2O_{20}(OH)_4$	Monoclínico	prismas com faces inclinadas	Incolor Branca-prateada	2 a 3	Vítreo	2,76-3,0
	Quartzo (SiO_2)	Hexagonal	prismas	Incolor, branca Cinza	7,0	Vítreo	2,65
	Plagioclásio (cálcico) anortita $CaAl_2Si_2O_8$	Triclínico	Pares de faces paralelas (pinacóides)	Branca Cinza	6,0	Vítreo	2,62-2,76
	Feldspato potássico microclínio $KAlSi_3O_6$	Triclínico	Pares de faces paralelas (pinacóides)	Branca Cinza	6,0	Vítreo	2,62-2,76
MÁRMORE	Calcita $CaCO_3$	Hexagonal	romboedro	Incolor, branca variada	3,0	Vítreo	2,71
	Dolomita $CaMg(CO_3)_2$	Hexagonal	romboedro	Branca variada	3,5	Vítreo	2,85

Ilustração 02 – Quadro das Propriedades dos minerais que compõem o mármore e granito.
Fonte: (OLIVEIRA et al., 1998).

2.2.2 A Extração e o Desdobramento dos Blocos de Rochas Ornamentais

A primeira fase do processo industrial é denominada de lavra, que é a extração das rochas ornamentais ao ar livre. A extração dos blocos acarreta sérios problemas ambientais, em função dos resíduos que poluem os rios, o solo e o lençol freático, provocando também o desmatamento de florestas, ocasionando a desfiguração do ambiente (Ilustrações 3a e 3b).



Ilustração 3a – Extração de granito nas jazidas
(SOUZA et. al.; 1998).



Ilustração 3b – Extração de quartzito na jazida de Pirenópolis
(NASCIMENTO, 2006).

De acordo com Silveira e Neto (1996), dos métodos extrativos ou técnicas de corte utilizados nas pedreiras em atividade, 33% empregam desmonte por explosivos, 24,7% utilizam disco helicoidal, 15,9% corte contínuo, 14,5% são lavradas manualmente, 8,7% utilizam divisão mecânica por cunhas e 2,9% utilizam o fio adiamantado.

Após a extração dos blocos, o beneficiamento primário ou desdobramento, compreende a serragem destes em chapas, através de equipamentos denominados teares. Durante a serragem nos teares, gera-se uma lama proveniente de uma polpa abrasiva, que é constituída de água, granalha de ferro, cal e rocha moída. Depois de passar pelos teares (Ilustração 4a), cerca de 20% a 30% do bloco extraído na jazida, é transformado em lama, a qual é drenada por um sistema de esgotamento, seguindo para lagoas de decantação (Ilustração 4b), onde a água é reaproveitada e o material sólido é retirado e depositado em aterros ou em áreas reservadas pela empresas, o que vem causando grave problema ambiental.

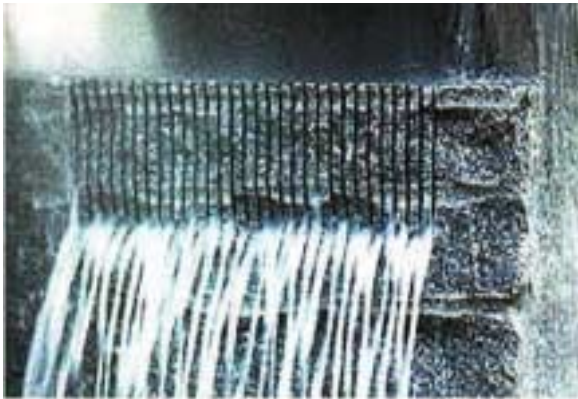


Ilustração 4a – Serragem nos teares dos Blocos de granito (SOUZA et al., 1998).



Ilustração 4b – Lama do Resíduo de Corte de Granito - RCG (MOURA; GONÇALVES, 2002).

Após a serragem dos blocos, que constitui a etapa de desdobramento, ocorre o descarregamento do tear, tendo como produto a chapa bruta, que é encaminhada ao processo de beneficiamento, o qual é feito pelas marmorarias. Algumas serrarias também fazem o polimento das chapas.

2.2.3 O Beneficiamento das Chapas Ornamentais

O processo de beneficiamento ocorre com as marmorarias, que transformam as chapas ornamentais (Ilustrações 5a e 5b) em peças, tais como lavatórios, bancadas, pisos, revestimento de parede, utilizadas principalmente pela indústria da construção civil, com

dimensões requeridas de acordo com a demanda do mercado consumidor. No beneficiamento, ocorre o desgaste da rocha por meio da serragem e do polimento das chapas, que transformam a rocha em pó, e em conjunto com a água forma-se o resíduo de marmoraria (RBMG).

As chapas ornamentais têm dimensões variáveis e espessura geralmente de 2 cm. Estas sofrem o processo de acabamento, onde são recortadas nas dimensões desejadas (Ilustrações 5a e 5b) e polidas, numa máquina denominada politriz (Ilustração 7).



Ilustração 5a – Chapas ornamentais que serão processadas nas marmorarias.



Ilustração 5b – Depósito de chapas de granito nas empresas (NASCIMENTO, 2006).

A serragem das chapas é feita por dois equipamentos, o primeiro equipamento denominado de cortadeira a jato de água (Ilustração 6a), possui uma serra circular diamantada, que em conjunto com a água faz o corte das chapas em dimensões maiores e retangulares. Já o segundo equipamento faz o acabamento final das peças, denominado de serra circular diamantada (Ilustração 6b), que faz o corte da rocha de forma seca, em dimensões circulares.



Ilustração 6a–Serragem das chapas ornamentais com a cortadeira a jato de água.



Ilustração 6b – Corte das chapas com a serra circular, sem a utilização de água.

A Ilustração 7 apresenta as politrizes que realizam o polimento das chapas, antes da serragem das rochas.

As politrizes dão o polimento necessário às rochas ornamentais, por abrasão e com a utilização de água. O polimento das chapas ornamentais visa a eliminação da rugosidade da superfície da peça, o fechamento dos poros dos diferentes minerais que constituem o material, e o realçamento da coloração dos diferentes minerais constituintes das rochas.



Ilustração 7 – Polimento das chapas ornamentais.

O resíduo proveniente do corte e polimento do mármore e granito (RBMG) destina-se aos tanques de decantação, que têm a função de reutilizar a água e evitar que a lama do RBMG escoe para o esgoto sanitário, o que acarretaria o entupimento das tubulações. A grande maioria das empresas deposita o rejeito de forma inadequada no meio ambiente. O RBMG muitas vezes, está sendo depositado no pátio das empresas, na margem de córregos, em terrenos clandestinos (lotes baldios) ou em caçambas que são recolhidas e destinadas ao aterro sanitário. O resíduo causa grande impacto ambiental sendo que não há ainda uma destinação final para esse material.

2.2.4 O volume gerado do resíduo (RBMG)

As três etapas da indústria de rochas ornamentais são fontes geradoras de resíduos sólidos, com grande potencial de reciclagem com materiais de construção. Dentre estes processos, ocorre a produção de resíduo nas seguintes etapas produtivas da indústria de rochas ornamentais:

- Resíduos da extração do bloco;
- Resíduos da serragem para enquadrar os blocos nas dimensões padrão;
- Resíduos da serragem dos blocos para transformá-los em chapas ornamentais, são os resíduos de corte de granito e mármore (RCG e RCMG);
- Resíduos da serragem e polimento das chapas para a fabricação das peças ornamentais pelas marmorarias; são os resíduos de beneficiamento de mármore e granito (RBMG).

A Ilustração 8 apresenta os resíduos gerados nas etapas de produção da indústria de rochas ornamentais.

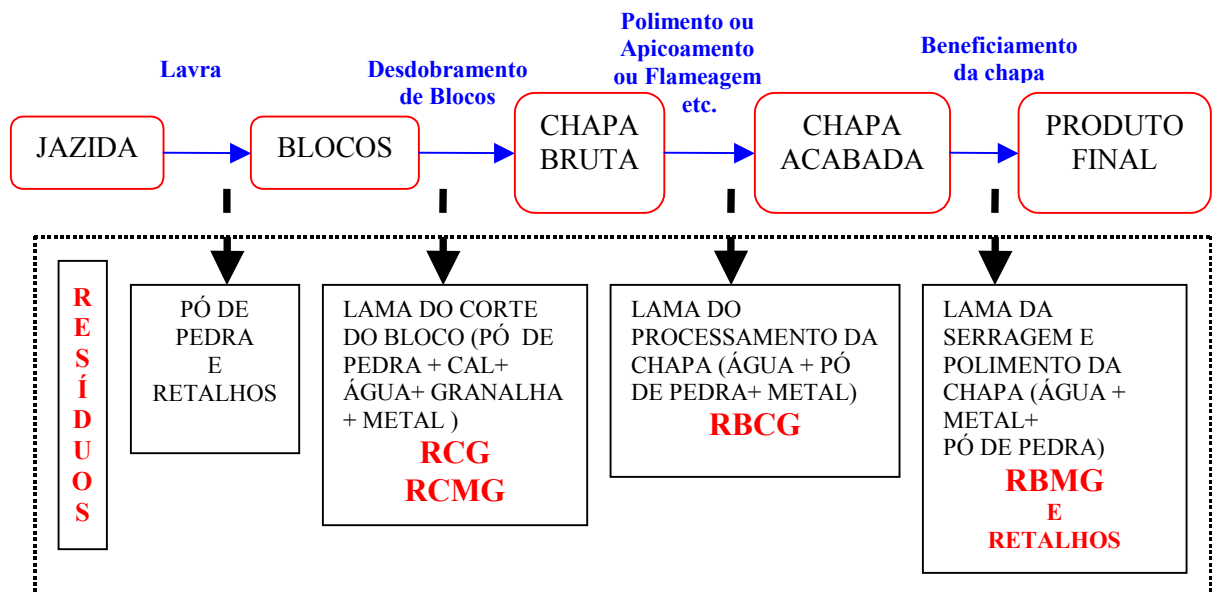


Ilustração 08 – Resíduos gerados pela indústria das rochas ornamentais (Adaptado de LAMEIRAS, 2004).

Essa pesquisa focaliza o resíduo (RBMG) gerado no processo de serragem e polimento das chapas de mármore e granito (produto final), realizado pelas marmorarias, constituindo na serragem e polimento (politrizes) de chapas ornamentais como mármore e granitos.

Durante o processo de serragem das chapas ornamentais, ocorre o desgaste da rocha, transformando-a em pó, que em conjunto com a água forma-se o resíduo de marmoraria (RBMG), que apresenta-se saturado. A principal diferença entre o resíduo de beneficiamento

(RBMG) e o de corte (RCMG), é que no segundo há a presença da granalha de ferro na polpa abrasiva.

Devido a enorme quantidade de água junto ao resíduo, as empresas utilizam tanques de decantação, para efetuar o reaproveitamento da água no processo e evitar que a lama do RBMG escoe para o esgoto sanitário.

A quantidade gerada do resíduo pelo beneficiamento de rochas ornamentais, incluindo mármore e granito, é bastante significativa, pois existem atualmente 7.000 empresas distribuídas em todas as regiões do Brasil, que fazem a serragem e o polimento das chapas ornamentais. Porém existe uma oscilação nestes valores, pois variam em função da demanda do mercado consumidor e da capacidade de produção das empresas.

Como o processo de serragem é o mesmo, este mercado será o fator principal para a produção de chapas de granito ou mármore e, conseqüentemente, do resíduo gerado. Portanto, existe o resíduo gerado somente pelo mármore, ou o resíduo gerado apenas pelo granito, e também existe o resíduo gerado pela mistura de ambos, o que é o foco principal dessa pesquisa.

Segundo Gonçalves (2000), no Brasil gera-se anualmente aproximadamente 165.000 toneladas de resíduo de corte de granito, sendo que cerca de 20% a 30% das rochas é desperdiçado na forma de lama, devido ao tipo de processo produtivo utilizado na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais. De acordo com Moura et al., (2002), gera-se no Brasil cerca de 240.000 toneladas de resíduo de corte de mármore e granito (RCMG), sendo os Estados do Espírito Santo, Bahia, Ceará e Paraíba, os principais produtores desse resíduo.

Para Freire e Motta (1995), as serrarias transformam em torno de 20% a 25% dos blocos em lama, durante o desdobramento destes blocos em chapas, as quais possuem dimensões variáveis e espessura equivalente a 2 cm. Atualmente, sabe-se que a produção anual de rochas brutas no Brasil está próxima aos 7,0 milhões de toneladas (CHIODI FILHO, 2006). De acordo com Chiodi Filho et al., (2004), as serrarias produziram em 2002, cerca de 58,2 milhões de metros quadrados de chapas ornamentais com espessura de 2 cm, sendo que a produção de rochas beneficiadas de mármore e granito correspondeu a 39,5 milhões de metros quadrados de chapas (2 cm de espessura).

Assumindo-se a densidade média de $2,75 \text{ g/cm}^3$ para as chapas de espessura de 2 cm, portanto cada metro quadrado de chapa possui um peso de 55kg (CHIODI FILHO et al., 2004). A quantidade de chapas produzidas em 2002, corresponde a 3,2 milhões de toneladas. Somando-

se as rochas mármore e granito, têm-se 2,17 milhões de toneladas de chapas. Considerando-se que 20% do bloco é desperdiçado na forma de lama (GONÇALVES, 2000), e que a produção de chapas de mármore e granito em 2002, foi de aproximadamente 2,17 milhões de toneladas, portanto a quantidade produzida do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) no ano de 2002, na fase de desdobramento dos blocos, é algo em torno de 430.000 toneladas.

Com relação às marmorarias, o Brasil possui atualmente, 7.000 empresas de micro a pequeno porte. De acordo com Chiodi Filho et al., (2004), o consumo interno de chapas ornamentais no Brasil em 2002, foi de 50,6 milhões de metros quadrados, considerando-se somente as chapas de mármore e granito. Foram comercializados 34,6 milhões de metros quadrados de chapas em 2002. A quantidade de chapas de mármore e granito, comercializadas em 2002, equivale a cerca de 1,90 milhões de toneladas de chapas. Estimando-se que 10% das chapas sejam desperdiçadas na forma de lama, geraram-se em 2002 cerca de 190.000 toneladas do resíduo de beneficiamento de chapas de mármore e granito.

Apesar da grande quantidade de RBMG gerada ao longo de todo o território brasileiro, as marmorarias não possuem uma destinação adequada para o resíduo produzido nos tanques de decantação (ilustração 9 a), e nem para os retalhos de chapas (ilustração 9b), que não podem ser aproveitados em função das suas dimensões reduzidas, e que são depositados nos pátios das empresas, ou jogados diretamente no meio ambiente.



Ilustração 09a – Lama do RBMG.



Ilustração 09b – Retalhos chapas das marmorarias.

Os retalhos de chapas, ao invés de serem jogados no meio ambiente, poderiam ser utilizados na confecção de pisos para calçadas.

As Ilustrações 10a a 10b, mostram uma marmoraria, localizada na periferia de Aparecida de Goiânia, no Setor Papillon Park que está depositando o RBMG e retalhos de

chapas, no córrego Tamanduá, que localiza-se próximo a empresa. Isto vem causando grave impacto ambiental, devido à poluição, e também o assoreamento do rio.

As ilustrações 10c e 10d mostram que são depositados no córrego Tamanduá, diversos tipos de resíduos da empresa, como retalhos de chapas ornamentais, a lama do RBMG, e discos de corte das máquinas que fazem à serragem das rochas.



Ilustrações 10a e 10b – Depósito do RBMG no Córrego Tamanduá, em Aparecida de Goiânia.



Ilustrações 10c e 10d – Resíduos de marmoraria depositados no Córrego Tamanduá.

2.3 A RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos são subprodutos gerados pelos processos econômicos, de atividades industriais, extrativistas e de serviços, que causam grande degradação ambiental.

Para a produção de cimento e cal, como exemplo, ocorre a calcinação de calcário, que origina o lançamento de grande quantidade de CO₂ na atmosfera. Para cada tonelada de cal virgem são produzidos cerca de 785 kg de CO₂, e para uma tonelada de cal hidratada são produzidos aproximadamente 590 kg de CO₂ (JOHN, 2000).

No Brasil, a indústria cimenteira é responsável por mais de 6% do total de CO₂ gerado (JOHN, 2000), sendo produzidos mais de 25,9 milhões de toneladas de cimento anualmente. Portanto, a quantidade de CO₂ lançada na atmosfera é muito grande, o que causa grave poluição e aumenta o efeito estufa, acelerando o aquecimento do planeta.

De acordo com John (2000), o desenvolvimento está associado ao modelo linear de produção (Ilustração 11), onde os bens são concebidos, projetados, construídos, consumidos, e após a sua vida útil, são depositados no meio ambiente.

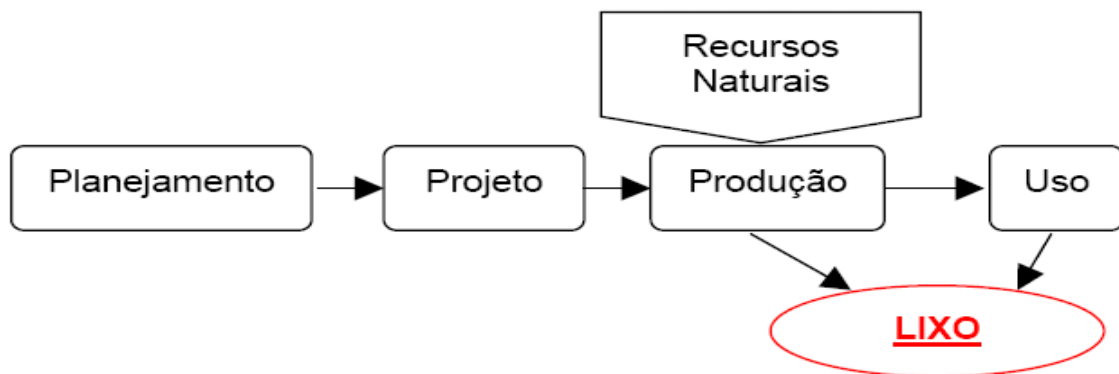


Ilustração 11 – Modelo linear de desenvolvimento John (2000).

O modelo linear, que é baseado no desenvolvimento econômico, surgiu durante a revolução industrial no século XIX. Este modelo mostra que com o aumento da população os resíduos foram produzidos em quantidades infinitamente superiores do que a capacidade de absorção da natureza, sendo que ela é incapaz de absorver e reciclar principalmente os materiais não-biodegradáveis e sintéticos.

O aumento da poluição e a crescente degradação ambiental, provocados pelo atual modelo de desenvolvimento econômico, proporcionaram problemas aos habitantes das metrópoles, como doenças, em função da péssima qualidade do ar, enchentes em função da impermeabilização do solo e do excesso de lixo jogados diretamente nos córregos.

Com o agravamento de diversos problemas ambientais, procurou-se implantar um novo modelo de desenvolvimento, que não fosse baseado somente no desenvolvimento econômico. Dessa forma, surgiu um modelo cíclico de produção e consumo (Ilustração 12) com a utilização da reciclagem, onde a utilização de todos os recursos empregados é otimizada e a geração de resíduos se reduz a um mínimo não reciclável.

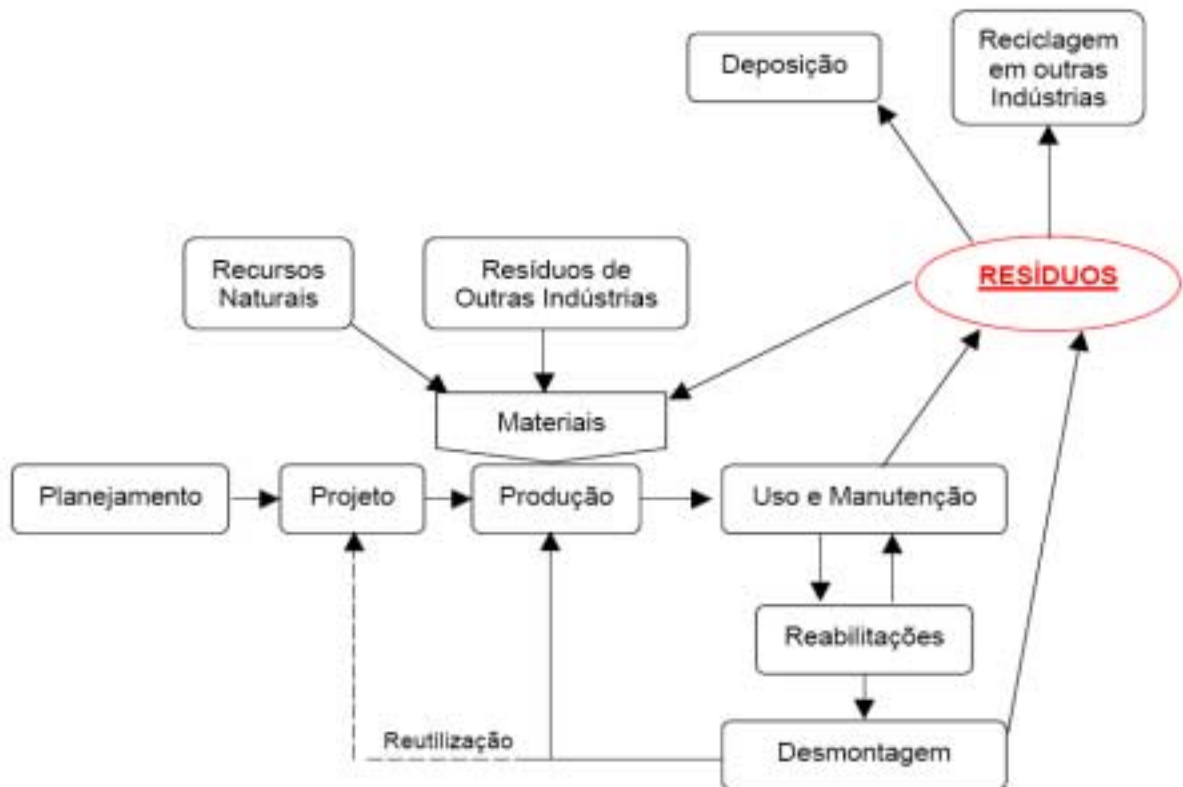


Ilustração 12 – Modelo cíclico de produção (LAMEIRAS, 2004).

Para a classificação dos resíduos, é necessária a identificação do processo que lhes deu origem, juntamente com a identificação de seus constituintes e das suas características físicas, químicas ou infecto-contagiosas, para que seja feito a comparação destes constituintes com a enumeração de resíduos e substâncias que possuem o impacto conhecido à saúde e ao meio ambiente.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004), classifica os resíduos em Perigosos (Classe I) e não-Perigosos (Classe II), os critérios de classificação dos resíduos são apresentados a seguir:

- Resíduos Perigosos – Classe I – apresentam riscos à saúde pública, provocando o aumento da mortalidade ou incidência de doenças, ao meio ambiente (quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada), ou apresentam características como inflamabilidade (amostra representativa com ponto de fulgor inferior a 60°C, gás comprimido inflamável), corrosividade (amostra representativa com pH inferior a 2,0 ou superior a 12,5), reatividade (amostra representativa com gases ou vapores tóxicos), toxicidade, patogenicidade, que estão definidas na norma em discussão;
- Resíduos Não Perigosos – Classe II A – Não Inertes - são aqueles que não se classificam como resíduos perigosos, inertes ou outros resíduos, tendo como propriedades a combustibilidade, a biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- Resíduos Não Perigosos – Classe II B - Inertes – são aqueles que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada à temperatura ambiente, conforme ao teste de solubilização da NBR 10.006 (ABNT, 1987), não tiverem seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos limites de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza, e sabor.

O resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais é classificado com sendo de classe II B – Inerte (MOURA et al., 2002). Portanto o resíduo pode ser utilizado na construção civil, pois não oferece risco ambiental nem a saúde humana. Porém o grande volume de lama do RBMG, quando descartado de forma incorreta no meio ambiente pode causar graves problemas ambientais, como o assoreamento dos rios, poluição dos mananciais. Além disso, quando seco, o resíduo transforma-se numa fina poeira, que pode causar doenças à população como a silicose.

2.4 PESQUISAS REALIZADAS COM O RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Com o intuito de contribuir para o desenvolvimento sustentável e o maior aproveitamento de resíduos na construção civil, diversos pesquisadores tem estudado a aplicação dos resíduos de corte de granito (RCG), o resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) , e o resíduo de

beneficiamento de chapas de granito (RBCG), na produção de argamassas, concretos, tijolos cerâmicos e asfaltos.

A pesquisa realizada por Gonçalves (2000), utilizou o RCG, como adição mineral ao concreto. O autor realizou adições de 10% e 20% do RCG, nas relações a/aglom iguais a 0,40, 0,55 e 0,70. Os resultados de caracterização do resíduo mostraram que o RCG possui forma irregular, angulosa, estrutura cristalina, diâmetro médio de 6,74 μ m e se classifica como Inerte.

Com relação aos resultados da resistência à compressão axial dos concretos, a adição de RCG, proporcionou ao concreto o melhor desempenho em relação ao concreto de referência (sem adição), com um aumento médio de 8% das resistências dos concretos com o teor de adição de 10%, e um aumento médio de 19,6%, para o teor de adição do RCG de 20%, em comparação ao concreto de referência. A Ilustração 13 apresenta os valores da resistência à compressão dos concretos.

Mistura	relação a/aglom	7 dias fc m (MPa)	28 dias fc m (MPa)	63 dias fc m (MPa)
Ref	0,40	26,5	31,1	33,4
	0,55	18	21,4	23,5
	0,70	14	18,1	18,3
RCG 10%	0,40	28,4	35,4	36,1
	0,55	19	23,6	25,6
	0,70	13,3	19	20,3
RCG 20%	0,40	31,8	35,8	39,4
	0,55	19,4	26,3	27
	0,70	17	20,9	22,1

Ilustração 13 – Quadro dos Resultados da Resistência a compressão da pesquisa de Gonçalves (2000).

Os resultados do ensaio de absorção por imersão dos concretos, com a adição de 10% do RCG mostram que o resíduo diminuiu a absorção média dos concretos em 10,2% e o índice de vazios médio em 9,1%, enquanto que, com o teor de adição do RCG de 20%, obteve-se um incremento de 2,5% da absorção e um aumento de 2,4% no seu índice de vazios, em comparação ao concreto de referência. Para as propriedades dos concretos no estado fresco, os concretos com adição do RCG, apresentaram maior coesão e consistência, havendo aumento nesses valores à medida que se aumentou o teor de adição do RCG. Segundo o autor, o uso do resíduo de corte de

granito com adição em concretos é viável tecnicamente, e o teor ótimo de adição do RCG ao concreto é com 10% .

Nos estudos realizados por Lameiras (2004), foi utilizado o RBCG como substituição ao cimento nos teores de 5% e 10%, e também substituiu-se o agregado miúdo nas porcentagens de 5%, 10% e 30%, trabalhou-se com as relações a/aglom de 0,45 e 0,65. A Ilustração 14 mostra os resultados da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dos concretos da pesquisa de Lameiras (2004).

Mistura	relação a/aglom	7 dias fc m (MPa)	28 dias fc m (MPa)	56 dias fc m (MPa)	28 dias Ec (Gpa)
Ref	0,45	33,71	43,97	46,92	13,88
	0,65	19,04	23,16	25,78	13,05
RBCG 5% CIM	0,45	31,80	39,64	44,44	13,53
	0,65	17,41	21,68	22,25	12,03
RBCG 10% CIM	0,45	26,44	40,15	43,29	13,74
	0,65	15,13	19,57	20,41	12,46
RBCG 5% AR	0,45	35,30	45,04	46,66	13,92
	0,65	18,27	23,11	25,49	12,60
RBCG 10% AR	0,45	35,74	43,77	45,96	13,51
	0,65	20,42	25,61	28,26	12,91
RBCG 30% AR	0,45	31,37	40,17	44,40	11,87
	0,65	20,85	29,28	29,56	12,26

Ilustração 14 – Quadro dos resultados da resistência à compressão e do módulo de deformação dos concretos da pesquisa de Lameiras (2004).

Segundo o autor, os concretos com a incorporação do RBCG apresentaram uma perda significativa em suas trabalhabilidades, indicando que o resíduo devido a sua elevada área específica, aumenta a demanda de água para se manter a consistência constante. Com relação aos resultados das propriedades dos concretos no estado endurecido, o uso do resíduo em substituição ao cimento Portland, acarretou perdas de resistências dos concretos, em torno de 9% e 15% para os teores de substituições de 5% e 10% do RBCG. A substituição de 30% do agregado miúdo pelo RBCG proporcionou um incremento de 26% nas resistências dos concretos com relação a/aglom de 0,65. Com relação ao módulo de deformação, a incorporação do resíduo não acarretou perdas significativas em tais valores.

Com relação aos resultados das absorções e o índice de vazios dos concretos, à medida que se aumentou o teor de substituição do RBCG no cimento, houve aumento tanto nos valores das absorções, como no índice de vazios dos concretos. Para a substituição do agregado miúdo pelo RBCG, apenas os concretos com o teor de substituição de 30% do resíduo e relação a/aglom igual a 0,65, não apresentaram aumento em tais valores. Segundo o autor, é viável substituir grandes quantidades de agregado miúdo do concreto pelo RBCG.

Na pesquisa de Moura et. al., (2002), foi utilizado o resíduo de corte de mármore e granito (RCMG), em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. As argamassas foram produzidas no traço 1:6 (cimento e areia com a incorporação do RCMG) em massa, com os teores de substituição de 5% e 10% da areia por RCMG. Para a confecção das lajotas, utilizou-se uma prensa manual, com a argamassa para a produção das peças, no traço 1: 0,5:0,5 (cimento, RCMG e areia siltosa). O quadro da Ilustração 15 apresenta os resultados da resistência à compressão das argamassas.

Classes	Resistência à compressão das argamassas (Mpa)		
	fc média (3 dias)	fc média (7 dias)	fc média (28 dias)
Referência	9,90	12,10	17,20
RCMG 5%	10,45	13,60	17,60
RCMG 10%	10,80	14,60	17,70

Ilustração 15 – Quadro dos Resultados da resistência à compressão das argamassas (MOURA et. al., 2002).

Pelos resultados da Ilustração 15, observa-se que nas três idades avaliadas, a resistência das argamassas com o RCMG, foram superiores a resistência da argamassa sem substituição do resíduo (referência), com o teor de 10% de substituição do RCMG apresentando melhor desempenho.

Com relação à sua caracterização o RCMG possui massa específica igual a 2,84 g/cm³, o resíduo se apresenta na forma cristalina. Pela sedimentação, verificou-se que o resíduo, possui 77% dos seus grãos passantes na peneira de 0,075 mm (nº200). Os ensaios de lixiviação de acordo com a NBR 10.005 (ABNT, 1987) e solubilização pela NBR 10.006 (ABNT, 1987), classificaram o resíduo como Classe I – Inerte, isto é o RCMG não é tóxico nem perigoso.

Nos estudos de Lisboa (2004), foi utilizado o Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito (RBMG), para a obtenção do concreto auto-adensável. O autor desenvolveu o estudo da pasta de cimento pelos ensaios de Cone de Marsh e no Mini-Slump, e ainda realizou-se

o estudo da argamassa, com o objetivo de se obter o percentual ótimo de superplastificante e uma quantidade adequada do RBMG, na composição da mistura. A mistura da pasta foi composta por cimento, areia, substituição de 50% e 60% do RBMG em relação à massa do cimento, substituição de 3% sílica ativa em relação à massa do cimento, e água. Já a argamassa foi composta por cimento, areia, substituição de 50% do RBMG em relação à massa do cimento, água, e superplastificante, no teor de 0,25% em substituição a massa da água. Com os parâmetros obtidos no estudo da pasta e argamassa, foi feita uma aplicação prática do preenchimento de peças pré-moldadas, com argamassa auto-adensável. Neste estudo foram obtidos dois concretos auto-adensáveis, um usando apenas o RBMG (substituição de 50% e 60% em relação à massa do cimento), e o outro usando o RBMG (substituição de 50% em relação à massa do cimento) juntamente com 3% de sílica ativa (substituição em relação à massa do cimento).

A Ilustração 16 apresenta os resultados da resistência à compressão das argamassas da pesquisa de Lisboa (2004).

Composição das argamassas	Resistência (MPa)
RBMG-r/c = 0,50 - (cimento + RBMG + areia + água)	45,6
Água -a/c = 0,50 - (cimento+areia+água)	38,3
Superplast.-sp/c=0,25%-(cimento+RBMG+areia+água+sp.)	43,4
Areia -ar/c = 2 - (cimento+areia+água)	44,8

Ilustração 16 – Quadro das Resistências à compressão das argamassas (LISBOA, 2004).

Os resultados da resistência à compressão das argamassas mostraram que a argamassa composta com o RBMG (r/c=0,50) apresentou resistência superior as demais.

Com relação aos resultados, as pastas com 50% de RBMG e acréscimo de 3% de sílica, apresentaram bons resultados com relação a trabalhabilidade dos concretos, ocorrendo a diminuição da velocidade de fluxo no ensaio de Cone de Marsh, e melhora da estabilidade causada pela coesão devido a presença da sílica. Nos resultados práticos da argamassa, com 50% de RBMG e sp/c = 0,25, houve boa eficiência no preenchimento das peças pré-moldadas. Diante disso, o autor afirma que o uso do RBMG em concretos auto-adensáveis é possível, no entanto o autor ressalta que é necessário um volume maior de pesquisas nessa área.

A pesquisa de Menezes et al., (2002), utilizou o resíduo de serragem de granito (RCG), gerado por três indústrias de beneficiamento dos Estados da Paraíba, Ceará e Pernambuco, como matéria-prima cerâmica alternativa na produção de blocos e revestimentos

cerâmicos, que foram prensados manualmente e queimados em temperaturas de 1150°C a 1200°C. As massas para cerâmica vermelha foram compostas por argila vermelha e teores de resíduos nas proporções de 20%, 25%, 30% até 60%.

Com relação à caracterização do RCG das empresas, todas as amostras possuíram 100% de sua massa passante na peneira de 0,075mm (ABNT n°200), a massa específica do resíduo das empresas variou de 2,63 g/cm³ a 2,70 g/cm³, e a área específica ficou entre 6,16 m²/g e 11,41 m²/g. A caracterização química mostrou que o resíduo das empresas é composto na sua maioria por sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃), estando o RCG na sua forma cristalina.

Com base nos ensaios mecânicos, observou-se que todas as composições apresentaram valores de resistência à compressão dentro da faixa especificada para tijolos maciços, sendo superiores a 1,5 MPa, com os blocos com composição de 40% e 50% de resíduo, apresentando resistência superior a 2,0 MPa, estes valores estão dentro dos limites normalizados.

No trabalho de Souza et al., (1998), foi feito um estudo sobre a utilização do resíduo de serragem de granito (RCG), nos concretos asfálticos como filer, em substituição aos produtos convencionais do tipo cimento Portland e cal, como objetivo de destinação adequada ao resíduo e a redução do custo final dos concretos asfálticos.

A metodologia da pesquisa se divide em três fases, na fase 1 buscou-se a familiarização com os equipamentos a serem utilizados, foram moldados corpos-de-prova com 45% de agregado graúdo, 50% de agregado miúdo e 5% de filer do resíduo. Na fase 2 verificou-se o comportamento mecânico das misturas asfálticas, foram confeccionados corpos-de-prova, com o mesmo quantitativo de materiais da fase 1, com o rompimento dos corpos-de-prova no aparelho Marshall. Na fase 3, verificou-se a variabilidade do teor de filer, com a utilização do resíduo nos teores 4%, 6% e 7%.

Com relação a sua caracterização, o resíduo é constituído predominantemente por Sílica e Alumina, com partículas de morfologia irregular e superfícies arredondas com massa específica igual a 3,33 g/cm³. Segundo o autor, a mistura asfáltica composta com o filer do resíduo apresentou valores de estabilidade compatíveis com os valores estimados para mistura asfáltica com o filer cal. A estabilidade mínima preconizada pelo DNIT foi alcançada para as três misturas analisadas. Os resultados indicam que a utilização do RCG, como filer nas misturas asfálticas em substituição aos produtos convencionais na proporção de 6% de resíduo, satisfaz os métodos de misturas asfálticas preconizados pelo DNIT.

3 ADIÇÕES MINERAIS EM CONCRETOS

As adições minerais são materiais silicosos finamente moídos, adicionados ao concreto em quantidades que variam de 20% a 100% da massa do cimento Portland (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Geralmente estas adições são adicionadas ao clínquer na fase de moagem, permitindo a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland que atualmente estão disponíveis no mercado. De acordo com Malhotra e Mehta (1996) apud Dal Molin (2005), o uso de adições minerais provenientes de material vulcânico na construção civil é bastante antigo; teve início na Grécia no ano de 1.500 a.C. Nesse período ainda não existia o cimento.

O uso das adições minerais no concreto tem proporcionado benefícios econômicos, ambientais, além do aumento no desempenho dos concretos, tanto no estado fresco como no estado endurecido. De acordo com Farias e Tesuka (1992), entre as principais medidas preventivas para minimizar o processo de corrosão das armaduras, encontra-se a modificação da característica dos concretos, obtendo como resultado a baixa permeabilidade.

De acordo com Mehta e Malhotra (1996) apud Dal Molin (2005), o benefício econômico das adições, é devido a substituição parcial ao cimento, proporcionando a redução no custo final, devido ao menor consumo de cimento. Com relação ao benefício ambiental, é que a maioria das adições são constituídas de resíduos industriais, e a sua utilização no concreto, evita que esses resíduos sejam lançados no meio ambiente. Outro benefício do uso de adições em substituição ao cimento, é a redução do lançamento de CO₂ na atmosfera, por reduzir a produção de clínquer.

Para Mehta e Monteiro (1994), o emprego de adições minerais no concreto, melhora o desempenho dos concretos, com o aumento da resistência à fissuração térmica devido ao baixo calor de hidratação, aumento das resistências e redução da permeabilidade por refinamento dos poros, e uma durabilidade maior a ataques químicos, tais como a reação álcali-agregado. Segundo Neville (1997), o grande impulso para a incorporação de materiais suplementares ao concreto, foi em função do aumento excessivo no custo de energia na década de 1970, pois o custo da energia influenciava diretamente no custo de produção do cimento.

A preocupação ambiental, devido a degradação do meio ambiente na produção de matérias primas para a fabricação do cimento, a redução das emissões de dióxido de carbono na produção do cimento Portland, e também a diminuição na distância de transportes em busca das

matérias primas, têm impulsionado a utilização das adições minerais no concreto. Além de melhorar o desempenho do concreto, essas adições podem minimizar o impacto dos resíduos no meio ambiente, sendo uma forma de destinação para a grande quantidade de rejeitos produzidos por diversas indústrias, como as siderúrgicas, beneficiadoras de arroz, e de rochas ornamentais.

A Tabela 2 apresenta os diversos materiais das adições minerais, que compõem os tipos mais comuns de cimentos Portland disponíveis no mercado.

Tabela 2 - Composição do cimento Portland.

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Tipo Composição (%)				Classe Resist. MPa
		Clínquer + Gesso	Escória Forno	Pozolana	Materiais Carbonáticos	
Comum	CP I	100	0	0	0	25 32
	CPI- S	95 - 99	0	1 - 5	0	40
Composto	CP II - E	56 - 94	6 - 34	0	0 - 10	25
	CP II - Z	76 - 94	0	6 - 14	0 - 10	32
	CP II - F	90 - 94	0	0	6 - 10	40
Alto-forno	CP III	25 - 65	35 - 70	0	0 - 5	25
						32
						40
Pozolânico	CP IV	45 - 85	0	15 - 50	0 - 5	25
						32
Alta	CP V - ARI	95 - 100	0	0	0 - 5	
Resistência	CP V - ARI - RS	95 - 100	*	*	0 - 5	

Segundo Dal Molin (2005), uma das contribuições da indústria concreteira para o desenvolvimento sustentável é a substituição do cimento por adições em largas proporções. Dentre as adições mais pesquisadas são:

- Adições com atividade pozolânicas (sílica ativa, cinza de casca de arroz, metacaulim);
- Adições sem atividade pozolânicas, como os fileres, que possuem apenas o efeito físico dentro do concreto (material carbonático, pó de pedra);

- Adições com atividade cimentante (escória de alto forno, cinza volante).

As adições com atividade pozolânicas são constituídas por pozolanas, que são materiais naturais ou artificiais, silicosos e aluminosos que apenas possuem o poder aglomerante na presença de água, e que na temperatura ambiente reagem com o hidróxido de cálcio (KIHARA 1981). As pozolanas podem ser classificadas em comuns (cinza volante com teor de cálcio inferior a 10%), pouco reativas (escória de alto-forno, cinza de casca de arroz cristalina) e superpozolanas (sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz amorfa).

Com relação às adições sem atividade pozolânica, tem-se os fileres, que são materiais inertes, sem atividade química, tendo apenas o efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento.

As adições com materiais cimentantes possuem auto-hidratação lenta, não necessitam do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland para formar produtos cimentantes, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), mas essa quantidade de produtos cimentantes formados não é suficiente para a aplicação dessas adições para fins estruturais.

3.1 AS ADIÇÕES MINERAIS COM ATIVIDADE POZOLÂNICA

A NBR 12.653 (ABNT, 1992), define material pozolânico como sendo um material silicoso ou sílico-aluminoso, que por si só possui pouca ou quase nenhuma propriedade cimentícia, mas, quando finamente moído e na presença de água, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentantes. Esses materiais pozolânicos são classificados de acordo com a sua origem, podendo ser materiais naturais de origem vulcânica, com a quantidade de sílica superior a 65%, ou materiais artificiais proveniente de tratamento térmico (cinza de casca de arroz, argila calcinada).

De acordo com Massazza et al., (1977), “as adições com habilidades para reagir com o hidróxido de cálcio na presença de água em temperaturas ambientes e habilidade para formar produtos hidratados com propriedades aglomerantes são consideradas pozolanas”.

De acordo com Kattar e Almeida (1998), as pozolanas são rochas vulcânicas, queimadas em elevadas temperaturas (550°C a 900°C), e também as cinzas provenientes da queima de carvão mineral nas usinas termoeletricas. Os materiais pozolânicos quando pulverizados em partículas muito finas, apresentam a propriedade de ligante hidráulico na

presença de água, mas a reação só acontece se a pozolana for colocada juntamente com o clínquer, fazendo com que no processo de hidratação aconteça a liberação de hidróxido de cálcio que reage com a pozolana.

A equação 3.1 apresenta a reação entre o hidróxido de cálcio e a sílica, tendo como resultado o silicato de cálcio hidratado.



Onde:

C =CaO óxido de cálcio; H=H₂O;S=SiO₂=óxido de silício(sílica)

A quantificação da reatividade pozolânica, pode ser feita por ensaios que determinam o índice de atividade pozolânica do material em estudo, com a cal - NBR 5751 (ABNT, 1992) e com o cimento – NBR 5752 (ABNT, 1992).

Geralmente, as pozolanas exercem influência na consistência, coesão e segregação dos concretos no estado fresco. De acordo com Kihara (1981), este tipo de adição, reduz o tamanho e o volume de vazios, melhorando a coesão e diminuindo a exsudação e segregação dos concretos. Em função da sua alta finura e elevada superfície específica, as pozolanas altamente reativas requerem um aumento na demanda de água dos concretos.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a resistência final, dos concretos com as adições de pozolanas, também é alterada devido à formação de uma maior quantidade de silicato de cálcio hidratado (CSH), obtendo uma redução da porosidade da matriz cimentícia e da zona de transição. As pozolanas também retardam a velocidade de desenvolvimento da resistência à compressão dos concretos, pois as reações ocorrem lentamente. Mas em função do aumento da quantidade de produtos de hidratação, as pozolanas podem reduzir a porosidade da matriz e da zona de transição, e conseqüentemente pode causar a elevação da resistência final do concreto (GONÇALVES, 2000).

3.2 AS ADIÇÕES MINERAIS SEM ATIVIDADE POZOLÂNICA

As adições sem atividade pozolânica, são também denominadas de fileres, possuem elevada finura, com diâmetro médio compreendido na faixa de 5 a 75µm (PETRUCCI, 1973) e contribuem para o melhoramento da matriz cimentícia, preenchendo os vazios deixados pelos produtos de hidratação do cimento.

Os fileres são compostos por materiais carbonáticos, pó de pedra e pó de quartzo. As propriedades dos fileres, como finura, forma dos grãos e massa específica, exercem grande influência nos concretos. A finura influencia diretamente na demanda de água, no preenchimento dos poros capilares, e na densificação da zona de transição entre pasta e agregado graúdo (GONÇALVES, 2000). Com isso, tem-se um efeito do filer sobre as propriedades do concreto, tais como a trabalhabilidade, segregação, resistência à compressão, permeabilidade e exsudação.

A forma dos grãos dos fileres tem grande influência no desempenho dos concretos, pois quanto mais angulosas forem as partículas, maior será o atrito entre estas na mistura e menor será a disseminação delas pelos poros da matriz cimentícia. E quanto mais regular a forma da partícula, menor será a demanda de água e a porosidade da mistura (MELO, 2005). Já os fileres constituídos por partículas esféricas, geralmente proporcionam menor redução da trabalhabilidade e um melhor preenchimento dos vazios nos concretos (LAMEIRAS, 2004).

Os fileres podem ter funções diferentes devido ao tamanho dos seus diâmetros, se eles possuírem um diâmetro médio inferior a $50\mu\text{m}$, podem contribuir para o preenchimento de vazios deixados pelos produtos de hidratação do cimento (matriz cimentícia). Caso eles possuem um diâmetro médio entre 50 e $150\mu\text{m}$, podem contribuir para o preenchimento de vazios entre os agregados miúdos (GONÇALVES, 2000).

Atualmente, o cimento Portland do tipo CP II – F (25/32 /40) disponível no mercado é composto por adições minerais de filer calcário. Estes materiais possuem finura semelhante ao cimento, e fazem parte dos minerais carbonáticos, sendo do grupo das rochas sedimentares.

De acordo com Melo (2005), os fileres calcários são classificados de acordo com a sua composição física, sendo denominado calcário dolomítico, aqueles compostos por carbonato de cálcio CaCO_3 , e calcário calcítico, aqueles compostos por $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, os principais minerais compostos nos calcários são magnésio, silício, alumínio ou ferro.

O cimento Portland composto possui 75% de carbonato de cálcio, em sua composição, sendo empregado grande quantidade de calcário calcítico. Já o calcário dolomítico, é utilizado na correção da acidez de solo, devido ao teor de óxido de magnésio (MgO) ser superior a 12% (MELO 2005). Segundo Neville (1997), este alto teor de óxido de magnésio, compromete a utilização deste material, na produção de concreto, devido a reação álcali-carbonato.

A NBR 11578 (ABNT, 1991) limita o conteúdo de filer em 10% para os cimentos Portland compostos, sendo que o teor de material carbonático (CaCO_3) deve ser inferior a 85%.

Nos estudos de Esping (2003) apud Melo (2005), quanto maior a área específica dos diferentes fileres utilizados na produção de argamassas, maior é a demanda de água necessária para que se atendam os requisitos exigidos à auto-compactabilidade e reologia.

A pesquisa realizada por Melo (2005), utilizou o filer calcário na produção de concreto auto-adensável, para as relações água/cimento iguais a 0,55, 0,67 e 0,82. Os resultados mostraram que, o filer calcário proporcionou um ganho da resistência e redução da porosidade dos concretos, em função do favorecimento provocado sobre a hidratação inicial do cimento, sendo possível o estabelecimento da relação água/cimento em função da resistência desejada.

3.3 O EFEITO FÍSICO E QUÍMICO DAS ADIÇÕES MINERAIS

Geralmente o efeito químico das adições minerais está relacionado com a capacidade de reação do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , que é formado durante a hidratação do cimento Portland, para formar o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), sendo este o produto responsável pela resistência das pastas de cimento hidratadas. Com relação a velocidade das reações pozolânicas, elas podem ser lentas ou rápidas, dependendo da superfície específica das partículas e da sua composição química.

De acordo com Dal Molin (2005), os efeitos físicos das adições minerais no concreto, podem ocorrer nas seguintes formas:

- Efeito microfíler: As partículas de fileres com o diâmetro médio semelhante ao do cimento, ocasionam o aumento da densidade da mistura, tendo como resultado o preenchimento dos vazios dos concretos;
- Refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento: As pequenas partículas das adições agem como pontos de nucleação para os produtos de hidratação (acelera as reações). A adição altera o crescimento dos cristais, que ocorrerá não somente a partir da superfície dos grãos do cimento, mas também nos poros ocupados pelo filer e pela água;
- Alteração da microestrutura da zona de transição: As adições com atividade pozolânica e elevada finura no concreto interferem na movimentação das partículas de água em relação aos sólidos da mistura, o que reduz o acúmulo de água livre, provocando a melhoria da zona de transição da matriz cimentícia.

Isto ocorre, devido a ação conjunta dos efeitos da diminuição da espessura da zona de transição pela redução da exsudação, ao preenchimento dos vazios deixados pelas partículas de cimento próximos à superfície do agregado, à interferência no crescimento dos cristais, e à redução da concentração de Ca(OH)_2 provocada pelas reações químicas das pozolanas.

A Tabela 03 apresenta os parâmetros químicos e físicos estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 1993), para materiais pozolânicos utilizados em concretos, sendo classificados em classe N (pozolanas naturais e artificiais), classe C (cinza volante proveniente da queima de carvão mineral) e classe E (qualquer pozolana que não se enquadra nas classes anteriores).

Tabela 03 - Propriedades físicas e químicas das pozolanas.

Propriedades químicas	Classes das pozolanas		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (% min)	70,0	70,0	50
SO_3 (% máx)	4,0	5,0	5,0
Perda ao fogo (% max)	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na_2O (%max)	1,5	1,5	1,5
Propriedades físicas	N	C	E
Material retido na peneira n°325 (%max)	34,0	34,0	34,0
Índice de atividade pozolânica com o cimento aos 28 dias (% min)	75,0	75,0	75,0
Índice de atividade pozolânica com a cal aos 7 dias (MPa)	6,0	6,0	6,0

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 1992).

Segundo Mehta e Malhotra (1996) apud Dal Molin (2005), a porcentagem de 70% para os óxidos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Tabela 6), não apresenta relação direta com o material, pois muitas vezes as pozolanas não encontram-se na fase amorfa, como é o caso da cinza de casca de arroz na fase cristalina.

4 AS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Este capítulo trata do estudo das propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido, como a trabalhabilidade, a resistência à compressão axial, o módulo de elasticidade, absorção por imersão, e o índice de vazios.

4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Para Petrucci (1973), as propriedades do concreto no estado fresco como a consistência, a textura, a integridade da massa (oposto da segregação), o poder de retenção da água (oposto de exsudação) e a massa específica, são denominadas de trabalhabilidade, a qual é medida pela consistência da mistura.

Segundo Guimarães (2005), a mistura no estado fresco deve possuir trabalhabilidade suficiente, para permitir a concretagem de uma edificação, desde que no estado endurecido sejam atingidos os parâmetros de estabilidade e durabilidade dessa estrutura, pré-estabelecidos na fase de projeto da norma de projeto e execução de estrutura de concreto armado, a NBR 6118 (ABNT, 2003).

4.1.1 Trabalhabilidade

De acordo com Guimarães (2005), a trabalhabilidade é a energia necessária para manipular o concreto fresco sem perda considerável da homogeneidade, sendo desde a mistura até o acabamento. Para Petrucci (1973), a trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão de ser empregado com determinada finalidade, sem perda da homogeneidade. De acordo com Mehta e Monteiro (1994), a trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades do concreto, sendo que ela determina a facilidade com a qual um concreto pode ser manipulado, sem que haja segregação. Portanto, para que o concreto tenha trabalhabilidade, é preciso que a mistura seja fácil de transportar, lançar, consolidar, e também deve obter resistência à segregação.

Uma mistura de concreto trabalhável facilita o lançamento e adensamento durante a execução das construções. Com isso consegue-se expulsar ao máximo, o ar aprisionado, para evitar perdas de resistência e durabilidade, que diminuem a vida útil da estrutura. A

trabalhabilidade é estabelecida em função da geometria da peça estrutural, do tipo de fôrma, da taxa de armadura, os tipos de equipamentos utilizados para o transporte e adensamento do concreto, e também o acabamento desejado para a edificação.

A consistência do concreto tem influência diretamente na sua trabalhabilidade, pois ela está relacionada com a força e o escoamento do concreto, indicando a fluidez ou umidade da massa. As duas principais qualidades do concreto no estado fresco são a coesão e fluidez. A fluidez representa a facilidade de mobilidade da mistura, enquanto que a coesão é a resistência, à exsudação, e à segregação.

Para Mehta e Monteiro (1994), a trabalhabilidade está relacionada com a coesão e a consistência do concreto fresco, sendo que consistência é a medida de umidade do concreto, a qual é normalmente avaliada pelo ensaio de abatimento de tronco de cone. Quanto maior for o abatimento do concreto, mais úmida será a mistura. Já a coesão é a medida da facilidade de adensamento e de acabamento, sendo avaliada pela resistência a segregação.

A segregação é a separação dos componentes do concreto fresco, sendo que a sua distribuição não é mais uniforme. Os dois tipos de segregação são: a separação dos agregados da argamassa do concreto, em misturas secas (vibração excessiva), e a exsudação (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As causas da segregação são as diferenças nas massas específicas e nos tamanhos das partículas dos materiais constituintes do concreto. A segregação reduz a resistência e a durabilidade da estrutura, pela falta de compactação total do concreto.

A segregação ocorre nas seguintes formas: a tendência dos agregados maiores se separarem por deslocamento ao longo de declives, ou sedimentar mais do que as partículas menores (misturas secas), e a tendência da pasta do concreto separar os agregados (misturas com excesso de água).

Um fator importante para evitar a segregação, é o uso de adições de materiais finos nos concretos, pois esses materiais aumentam a coesão da mistura, logo o aumento do teor de cimento ou das adições, reduz a segregação no concreto. Outro fato importante, para se evitar a segregação do concreto, é a redução das distâncias de transporte da betoneira até o local de concretagem.

A exsudação corresponde ao aparecimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém antes de ocorrer a sua pega. Uma quantidade dessa água

acumula-se na parte inferior dos agregados graúdos e das barras de aço, prejudicando a aderência e a resistência final do concreto. Como a água é o componente mais leve da mistura, conseqüentemente a exsudação é uma forma de segregação, porque os sólidos em suspensão tendem a sedimentar sob a ação da força de gravidade.

Alguns fatores como a consistência inadequada, excesso de agregado graúdo, falta de finos, lançamento e adensamento inadequados, são as causas mais comuns de excesso de segregação. O uso de partículas finas (agregado graúdo britado) com cerca de 15% de material passante na peneira de 0,15 mm, o aumento no consumo de cimento, o uso de adições e ar incorporado, contribuem para reduzir a exsudação da mistura (GUIMARÃES, 2005).

Segundo Guimarães (2005), os principais fatores que alteram a trabalhabilidade dos concretos são:

- Consumo de água: O aumento no consumo de água no concreto provoca o aumento na fluidez do concreto, reduzindo a sua coesão;
- A Granulometria e a forma dos grãos dos agregados: Quanto menor o diâmetro do agregado, maior será a quantidade de água para um mesmo abatimento de tronco de cone;
- Consumo de cimento: O traço de concreto pobre em cimento normalmente é áspero, e prejudica o acabamento da superfície, enquanto que os concretos com maiores quantidades de cimento tendem a ser coesivos e viscosos;
- As adições minerais: As pozolanas tendem a aumentar a coesão e reduzir a trabalhabilidade dos concretos. Já a adição de filer com diâmetro inferior a 125 μ m, tem a função de agregado com elevada finura, sendo importante para o aumento da trabalhabilidade dos concretos;
- Aditivos: Os plastificantes fazem a execução de concretos com baixas relações água/cimento, com o aumento da trabalhabilidade do concreto por certo período, obtendo-se aumento no desempenho mecânico dos concretos estruturais.

Existem alguns fatores que limitam a trabalhabilidade do concreto, como o tipo de mistura, o transporte, o lançamento, e o adensamento. Por exemplo, quando se utiliza o adensamento por vibração, o concreto sofrerá segregação a partir de um determinado consumo de

água, enquanto que para o adensamento manual o concreto poderá apresentar um comportamento adequado. O concreto que é lançado de grandes alturas deverá ter alta coesão, para evitar a segregação.

Há alguns métodos que fazem a medição da trabalhabilidade dos concretos, como o ensaio de abatimento de tronco de cone, realizado de acordo com a NBR 7223 (ABNT, 1992), o ensaio de fator de compactação, o ensaio de Vebe, e o ensaio de espalhamento. Para a avaliação de concreto auto-adensável são utilizados os ensaios, fluxo no cone de Abrams, fluxo na caixa em L, ensaio no funil em V.

Nos concretos dessa pesquisa, realizou-se o ensaio de abatimento de tronco de cone, seguindo-se os procedimentos da NBR 7223 (ABNT, 1992). Esse ensaio utiliza uma placa metálica, sendo que no centro desta placa coloca-se um tronco de cone de altura igual a 30cm, base igual a 20cm de diâmetro, e o topo com 10 cm de diâmetro. Coloca-se a mistura dentro do molde, fazendo-se o adensamento do concreto em três camadas de 25 golpes, depois retira-se o molde, e realiza-se leitura do abatimento do tronco de cone com uma régua graduada.

O ensaio de abatimento de tronco de cone serve para verificar se há alguma variação não esperada no traço do concreto. Por exemplo, se após a retirada do molde houver o cisalhamento da mistura, isto indica a falta de coesão do concreto. Caso haja o desmoronamento do concreto, após a retirada do molde, isto indica a desagregação da mistura. Em concretos com altas ou baixas trabalhabilidade, esse ensaio não deve ser aplicado, pela falta de condições em se realizar a medida de abatimento do concreto.

A adição de água extra no concreto deve ser calculada durante a dosagem inicial da mistura, porque a água pode reduzir o desempenho do concreto. Problemas como ninhos de concretagem são comuns em estruturas, as quais foram adicionadas água em excesso ao concreto, quando não era necessário.

4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

As principais propriedades do concreto endurecido são a massa específica, a resistência axial à compressão, o módulo de elasticidade, a permeabilidade, a absorção por imersão, o índice de vazios e as deformações. As propriedades desse material heterogêneo

dependem de um grande número de fatores relativos à pasta de cimento e aos agregados utilizados.

A deformação no concreto, decorrente de cargas aplicadas é expressa em deformações específicas. As cargas aplicadas geram tensões. As tensões podem ser de diversos tipos, como compressão, tração, flexão, cisalhamento e torção. A resistência é a medida de tensão exigida para romper o material, sendo exigida durante o projeto estrutural. O módulo de elasticidade é definido com sendo a relação entre a tensão e a deformação elástica. A durabilidade é definida como a vida útil de um material sob as condições ambientais.

4.2.1 Propriedades mecânicas do concreto

4.2.1a Resistência à compressão axial

A resistência do concreto é definida como a capacidade do material em suportar as ações aplicadas sem que ele entre em colapso (JACINTHO; GIONGO, 2005). Para o controle de qualidade das obras, tem-se a resistência como a propriedade mais valorizada por arquitetos e engenheiros. A capacidade que um material possui de resistir a tensão de ruptura é denominada de resistência. A resistência está relacionada com a tensão requerida para causar a fratura do concreto, sendo que a tensão aplicada atinge seu valor máximo para que ocorra a ruptura (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com Petrucci (1973), os fatores que interferem na resistência à compressão dos concretos, são a relação água/cimento, a idade, a granulometria dos agregados, tipo de cimento, e a dimensão dos corpos-de-prova. Segundo Jacintho e Giongo (2005), o comportamento mecânico do concreto também é influenciado pelo tipo de sollicitação, a velocidade de carregamento, o grau de adensamento, as adições minerais e os aditivos que, incorporados ao concreto, podem aumentar a sua resistência à compressão.

A NBR 5739 (ABNT, 1994) padroniza o ensaio de resistência nos corpos-de-prova cilíndricos que são moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 1994), com diâmetro de 15 cm e altura igual a 30 cm. Devido a capacidade das máquinas de ensaios, a redução no gasto de material, e em virtude do aumento das resistências dos concretos, também são utilizados corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro igual a 10 cm e altura de 20 cm.

Os diversos fatores que interferem na resistência mecânica do concreto, são apresentados na Ilustração 17.



Ilustração 17 – Fatores que influenciam a resistência do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O fator água/cimento é o responsável pela porosidade da matriz da pasta de cimento, para um dado grau de hidratação, sendo um dos principais fatores que interferem na resistência do concreto.

Com relação ao ar incorporado, o péssimo adensamento da mistura, ou o uso de aditivo incorporador de ar, têm o efeito de aumentar a porosidade e reduzir a resistência do concreto. (Ilustração 18).

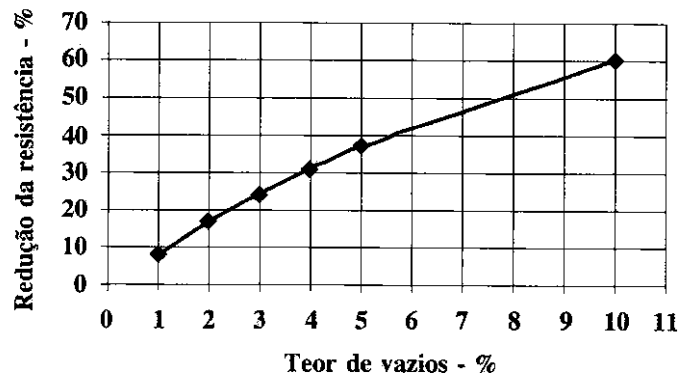


Ilustração 18 – Redução da resistência em relação ao teor de vazios (GIAMMUSSO, 1992 apud GUIMARÃES, 2005).

O aumento da porosidade da matriz faz com que ocorra um efeito contrário sobre a resistência do concreto.

Para Neville (1997), na prática a resistência de um concreto, curado em água e temperatura constante depende apenas de dois fatores a relação água/cimento e o grau de adensamento.

As características do agregado, como a sua forma, tamanho, textura da superfície, granulometria, e mineralogia, interferem na resistência do concreto. As partículas de agregados grandes requerem menos água de amassamento do que aquelas que contêm agregados menores, para um mesmo teor de cimento e mesma consistência do concreto. As partículas dos agregados grandes tendem a formar zonas mais fracas contendo mais micro fissuras. Portanto, a mudança na granulometria do agregado sem que ocorra a variação do diâmetro máximo do agregado graúdo, acarretará mudanças na resistência do concreto, se houver interferências na consistência e nas características de exsudação da mistura.

A água de amassamento do concreto, quando possui excesso de impurezas (sal, açúcar, óleo, ácidos), pode interferir na resistência, e alterar o tempo de pega da mistura. Além de provocar o surgimento de eflorescência (depósito de sais sobre a superfície do concreto), e a corrosão das armaduras da estrutura.

Os aditivos são capazes de acelerar ou retardar a hidratação do cimento. Portanto, muitas vezes reduzem as resistências iniciais dos concretos, mas não alteram as resistências finais.

A cura do concreto faz o controle do tempo, temperatura, e condições de umidade, com o objetivo de promover a hidratação do cimento, e conseqüentemente o aumento na resistência do concreto.

A evolução da resistência do concreto, tem sido acompanhada com a substituição parcial do agregado graúdo por materiais cada vez mais finos, com a finalidade de ocupar todos os vazios entre os grãos. (JACINTO; GIONGO, 2005).

4.2.1b Módulo de Deformação

O módulo de deformação pode ser classificado em três tipos, módulo secante, módulo cordal e tangente. De acordo com a NBR 8522 (ABNT, 1984) o módulo de deformação secante

(E_{cs}), representa a propriedade do concreto cujo valor numérico é o coeficiente angular da reta secante ao diagrama tensão-deformação específica, quando não se menciona a tensão, adota-se que o módulo secante seja relativo a uma tensão igual a 40 e 50% da resistência à compressão (Ilustração 25). O módulo de corda é dado pela declividade de uma reta traçada entre dois pontos da curva tensão-deformação. O módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}), é considerado equivalente ao módulo de deformação cordal ou secante entre a tensão de 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura (f_c).

Nessa pesquisa determinou-se o módulo de elasticidade tangente inicial, de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 1984), que determina as deformações para a tensão inferior igual a 0,50 MPa e tensão superior igual a 30% da carga de ruptura. (Ilustração 19).

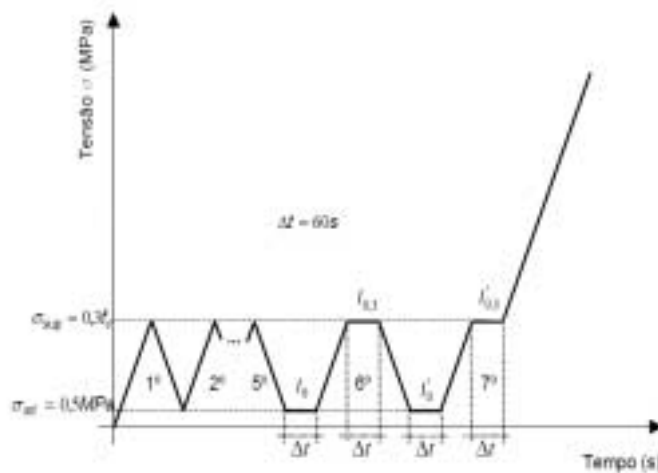


Ilustração 19 – Plano de carga do módulo tangente inicial, NBR 8522 (ABNT, 1984).

A determinação do módulo de deformação foi feita pela equação 4.1:

$$E_0 = 2 \cdot \frac{\sigma_{\text{sup}} - \sigma_{\text{inf}}}{\varepsilon_{0,3} - \varepsilon_0 + \varepsilon_{0,3} - \varepsilon'_0} \quad (4.1)$$

Onde:

σ_{sup} = Tensão para a carga de 0,3. f_c ;

σ_{inf} = Tensão para a carga 0,5 MPa ;

ε = deformações

f_c = carga de ruptura;

O comportamento elástico do concreto é afetado por diversos fatores como a massa específica, a fração volumétrica, o módulo de deformação dos principais constituintes, e as características da zona de transição. Para Mehta e Monteiro (1994), existe uma relação direta entre a resistência e módulo de deformação, que ambos são afetados pela porosidade das fases constituintes, mas essa relação não ocorre no mesmo grau.

As propriedades do agregado gráudo como a dimensão máxima, a forma dos grãos, a textura superficial, a granulometria e a composição granulométrica afetam o módulo de elasticidade do concreto. A porosidade do agregado gráudo é a mais importante propriedade que pode afetar a curva tensão-deformação. Quanto maior quantidade de agregado gráudo com módulo de deformação alto, maior será o módulo do concreto.

Com relação à matriz da pasta de cimento, o seu módulo é determinado pela sua porosidade. Os fatores responsáveis pelo controle da porosidade na matriz da pasta de cimento são os mesmos fatores que alteram a resistência a compressão.

4.2.2 Propriedades de durabilidade do concreto

De acordo com Sarja e Vesikari (1996) apud Dal Molin (2005), a durabilidade pode ser definida como a capacidade de um edifício, componente, estrutura ou material, manter um desempenho mínimo num determinado tempo, estando sob a influência de agentes agressivos. Para Mehta e Monteiro (1994), durabilidade do concreto está relacionada ao seu tempo de vida útil sob a influência das condições ambientais, sendo que os fatores determinantes da durabilidade são a impermeabilidade e a estanqueidade do material.

A porosidade total da pasta de cimento está relacionada diretamente com a resistência da mesma, podendo ocorrer na forma de vazios entre as camadas de C-S-H (são vazios muito pequenos, inferiores a 25 \AA); vazios capilares que representam o espaço não preenchido pelos produtos sólidos de hidratação, inferiores a 50 nm; ou poros de ar incorporado, os quais possuem forma esférica e dimensões bem superiores aos vazios capilares, geralmente são decorrentes da má vibração do concreto, podem reduzir bastante a resistência do concreto

4.2.2a Absorção de água por imersão e Índice de vazios

A NBR 9778 (ABNT, 2005), define absorção de água por imersão como sendo o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. De acordo com BAUER (1987), a absorptividade avalia o grau de absorção da água num material sólido, em um determinado tempo.

Segundo Gonçalves (2000), a absorptividade é uma característica muito importante para a verificação da influência de uma adição no concreto, pois os efeitos causados são diretamente relacionados a esta característica; pela absorptividade pode-se observar o ganho no refinamento da estrutura de poros promovidos pela incorporação da adição.

De acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005), o índice de vazios é a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, estando relacionado diretamente com a absorção por imersão.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), os vazios capilares representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da pasta de cimento, sendo que a hidratação do cimento faz com que o espaço inicialmente ocupado pelo cimento e a água vão sendo gradativamente substituídos pelos produtos de hidratação.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo tem como objetivos apresentar a forma da coleta e seleção do RBMG, os ensaios de caracterização realizados, às propriedades verificadas nos concretos, e a dosagem dos concretos com RBMG.

5.1 COLETA E SELEÇÃO DO RBMG

O resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) utilizado nessa pesquisa foi fornecido por três marmorarias localizadas em diferentes regiões da cidade de Goiânia, que utilizam o mármore e granito no seu processo de beneficiamento. As empresas foram classificadas da seguinte forma:

- A – Setor Santa Genoveva (norte);
- B – Jardim América (sudoeste);
- C – Setor Pedro Ludovico (sul).

A coleta do RBMG nas empresas foi feita nos seguintes períodos:

- Empresa A ⇒ 22 de junho e 12 de outubro de 2005;
- Empresa B ⇒ 28 de julho e 10 outubro de 2005;
- Empresa C ⇒ 27 de junho e 11 de outubro de 2005.

Realizou-se a avaliação individual das características físicas e químicas do resíduo coletado de cada uma das empresas, para a verificação das semelhanças e diferenças do RBMG produzido pelas marmorarias.

Após a coleta do material que estava saturado, foi feita a secagem do resíduo, no Laboratório de Materiais de Construção da UFG, numa estufa a uma temperatura de 100°C por um período de 24 horas.

Com o material seco, utilizou-se o moinho de bolas (Ilustração 20a), para o destorroamento do RBMG, sendo utilizado como carga abrasiva 10 bolas de aço (4,00 kg), para um total de 8,0 Kg de resíduo num tempo de moagem de 10 minutos. Após a homogeneização do RBMG, realizou-se o peneiramento do mesmo, utilizando-se o material passante na peneira de diâmetro de 4,8 mm. A ilustração 20b, mostra o resíduo seco e peneirado, no Laboratório de Materiais de Construção da UFG.



Ilustração 20a – Moinho de bolas.



Ilustração 20b – RBMG, seco, peneirado e destorroado.

A Ilustração 21 exemplifica os quantitativos do resíduo coletado de cada empresa.

EMPRESAS	MASSA (kg)
A	138,420
B	190,600
C	195,100
TOTAL	524,120

Ilustração 21 – Quadro da quantidade do RBMG coletado.

5.1.1 Empresa A

A empresa A, possui dois locais de esgotamento da lama do RBMG com três tanques de decantação em cada local (Ilustrações 22a e 22b). Os tanques fazem à separação da lama, na qual os sedimentos ficam no tanque e a água é separada, sendo bombeada e reaproveitada.

Cada tanque possui 0,60m de profundidade, com 0,60m de largura e 0,60m de comprimento, com um volume total de aproximadamente 1.300 litros, nos seis tanques. A capacidade dos tanques é esgotada a cada 45 dias.

Constatou-se pela visita no local, que a limpeza dos tanques é feita pelos próprios funcionários da empresa, que depositam o RBMG de maneira indiscriminada num lote clandestino, localizado próximo a marmoraria.



Ilustração 22a – Tanques de decantação da empresa A. Ilustração 22b – Lama do RBMG.

5.1.2 Empresa B

A empresa B possui quatro tanques de decantação (Ilustração 23), com as dimensões de 0,90m de largura, 1,90m de comprimento e 1,30m de profundidade.



Ilustração 23 - Tanques de decantação da empresa B.

A capacidade total dos tanques é de aproximadamente 8.900 litros de RBMG, com a empresa fazendo a limpeza dos tanques, geralmente a cada 4 meses. Essa limpeza é feita por um caminhão limpa-fossa, que faz a sucção da lama do RBMG, com o custo total de R\$ 72,00 reais.

Na visita ao local, percebeu-se que o RBMG escoar inicialmente para o primeiro tanque, e depois à medida que este vai enchendo, o resíduo escoar juntamente com a água para os demais tanques, por meio de um cano localizado na parte superior de cada reservatório. Notou-se também que à medida que o resíduo escoar para os demais tanques, a sua finura vai aumentando.

5.1.3 Empresa C

A empresa C possui uma canaleta (Ilustração 24a) com 0,20m de largura, 0,20m de profundidade e 26,60m de extensão, esta canaleta possui capacidade para escoar 1.000 litros de resíduo.

A lama do RBMG escoar para a canaleta até chegar aos tanques por gravidade. Esta marmoraria possui o sistema com quatro tanques de decantação (Ilustração 24b), sendo que 1 deles está desativado. Os reservatórios fazem a separação da lama, na qual os sedimentos ficam no tanque e a água é separada e reaproveitada.



Ilustração 24a – Canaleta com o RBMG. Ilustração 24b - Tanque de decantação da empresa C.

Cada reservatório possui 2,00m de profundidade, com 1,00m de largura e 1,80m de comprimento. A capacidade total dos 3 reservatórios é de aproximadamente 11.000 litros de RBMG. O período para que os tanques atinjam a sua capacidade máxima de resíduo, varia entre 12 e 18 meses, dependendo da demanda do mercado consumidor, que interfere na produção do resíduo das marmorarias.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios de caracterização química e física do cimento foram realizados nos Laboratórios do DCT da Empresa Furnas Centrais Elétricas S.A. Já os ensaios de caracterização dos agregados, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFG.

Para a caracterização do cimento realizaram-se os seguintes ensaios:

- Análise química;
- Difração por Raios-X;
- Granulometria a laser;
- Finura Blaine;
- Finura na peneira nº 200 (75 μ m).

Com relação à caracterização dos agregados, foram feitos os ensaios:

- Massa Unitária;
- Massa Específica;
- Granulometria;
- Determinação do teor de material pulverulento no agregado miúdo;

5.2.1 Caracterização do Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado nessa pesquisa foi a areia natural de rio, proveniente da cidade de Jaraguá, em Goiás. Para a determinação da composição granulométrica (Tabela 07) seguiram-se os seguintes procedimentos da NBR NM 248 (ABNT, 2003):

- Pesou-se 1000g de agregado miúdo seco em estufa, e depois peneirou-se a amostra, utilizando uma série normal de peneiras, para separar e classificar os grãos de diferentes tamanhos;
- Pesou-se o material retido, em cada uma das peneiras e também no prato, utilizando uma balança de precisão de 0,1g.

O diâmetro máximo do agregado miúdo é determinado pela porcentagem acumulada de material retido na peneira, inferior a 5% . O módulo de finura é calculado pelo somatório das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras, dividido por 100.

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo, utilizou-se o frasco de Chapman, de acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987). Sabe-se que a massa específica é a relação entre a massa e o volume de sólidos, excluindo-se os vazios (Equação 5.1).

$$\gamma_r = \frac{P_s}{V_r} \quad (5.1)$$

Onde:

γ_r = massa específica (kg/dm³); P_s = Peso seco da amostra;

V_r = Volume real da amostra (leitura no Frasco de Chapman).

O procedimento realizado no ensaio da massa específica foi o seguinte:

- Pesou-se 500g de amostra de areia seca em estufa, e depois colocou-se água no frasco até o volume de 200 cm³;
- Aguardou-se para que a água subisse até o gargalo do recipiente, e logo depois realizou-se a leitura do nível atingido B.

Segundo a NBR 7251 (ABNT, 1982), a massa unitária é a relação entre a massa e o volume de sólidos, incluindo os vazios, sob determinadas condições de compactação, sendo determinada pela equação 5.2:

$$\gamma_a = \frac{P_s}{V_a} \quad (5.2)$$

Onde:

γ_a = massa unitária (kg/dm³);

P_s = Peso seco do agregado (kg);

V_a = volume aparente (dm³).

O procedimento do ensaio foi realizado da seguinte forma:

- Secou-se o agregado em estufa;
- Pesou-se o recipiente metálico vazio com dimensões conhecidas (volume igual a 14,92 dm³);
- Encheu-se o recipiente com a pá, com o agregado sendo lançado a uma altura aproximadamente de 10 cm do topo do recipiente, e regularizou-se a superfície com o auxílio de uma régua;
- Pesou-se o recipiente juntamente com o agregado, determinou-se a massa do agregado solto, pela diferença entre a massa do recipiente cheio e a massa do recipiente vazio.

A Tabela 4 apresenta a composição granulométrica do agregado miúdo, bem como as massas específica e unitária, e o teor de material pulverulento.

Tabela 4 – Composição Granulométrica do Agregado Miúdo.

Abertura das Peneiras (mm)	Massas (g)	Percentuais Retidos		
		Método de Ensaio NBR NM 248(ABNT, 2003)		
		(%) Simples	(%) Acumuladas	Cálculo do M.F.
6,3	0,0	0	0	0
4,8(4)	0,0	0	0	0
2,4(8)	2,1	0	0	0
1,2(16)	198,1	21	21	21
0,6(30)	280,4	29	50	50
0,3(50)	270,1	27	76	76
0,15(100)	192,1	18	94	94
Prato	56,2	6	-----	-----
Totais	1.000,0	100	241	241
Módulo de Finura (NBR NM 248)			2,41	
Dimensão Máxima Característica			2,40 mm (Média)	
Frasco de Chapman: Massa Específica (kg/dm ³)			2,63	
Massa Unitária (kg/dm ³)			1,55	
Teor de Material Pulverulento (NBR NM 46)			1,01%	

5.2.2 Caracterização do Agregado Graúdo

Nessa pesquisa utilizou-se agregado graúdo proveniente de origem granítica, obtido de um estabelecimento comercial de Goiânia-Go. Para a determinação da composição granulométrica deste agregado, realizou-se a seguinte metodologia da NBR NM 248 (ABNT, 2003):

- Pesou-se 10.000g de agregado graúdo seco em estufa,
- Peneirou-se a amostra num peneirador mecânico, utilizando uma série normal de peneiras, para separar e classificar os grãos de diferentes tamanhos;
- Pesou-se o material retido, em cada uma das peneiras e também no prato, utilizando uma balança de precisão de 20g.

A massa unitária da brita foi determinada da mesma forma que o agregado miúdo, porém utilizou-se um recipiente metálico com volume igual a 20,40 dm³.

Determinou-se a massa específica, de acordo com o método proposto por Neville (1997) para agregados convencionais, seguindo-se os procedimentos:

- Secou-se a amostra em estufa a 110°C por 24 horas; depois utilizou-se um recipiente com dimensão e capacidade compatíveis ao diâmetro máximo do agregado.
- Preencheu-se o recipiente com água, utilizando uma placa de vidro colocada no topo do recipiente, para evitar a formação de bolhas de ar e garantir que o frasco esteja totalmente cheio;

O cálculo da massa específica foi determinado pela equação 5.3:

$$\gamma = \frac{P_2 - P_1}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (5.3)$$

Onde:

P_1 = massas do recipiente vazio + vidro;

P_2 = massas do recipiente + brita + vidro;

P_3 = massas do recipiente + água + brita + vidro; P_4 = massas do recipiente + água + vidro;

γ = massa específica (kg/dm³).

A Tabela 5 apresenta composição granulométrica do agregado graúdo utilizado na pesquisa, bem como as suas massas específica e unitária.

Tabela 5 – Composição Granulométrica do Agregado Graúdo.

Abertura das Peneiras (mm)	Massas (g)	Percentagens Retidas		
		Método de Ensaio NBR NM 248(ABNT, 2003)		
		(%) Simples	(%) Acumuladas	Cálculo do M.F.
19 (3/4")	-----	-----	-----	-----
12,7 (1/2")	7579,9	76	76	-----
9,5(3/8")	1899,9	19	95	95
6,3	219,9	2	97	-----
4,8(4)	42,5	0	98	98
2,4(8)	47,2	0	100	100
Prato	210,7	2	-----	400
Totais	10.000	100	-----	693
Módulo de Finura			6,93	
Dimensão Máxima Característica			19 mm (Brita 01)	
Massa Específica (kg/dm ³)			2,69	
Massa Unitária (kg/dm ³) NBR 7251 (ABNT, 1982)			1,40	

5.2.3 Cimento Portland

Na produção dos concretos desta pesquisa, utilizou-se o cimento composto Portland do tipo CP II F-32 (fíler calcário), a escolha deste tipo de cimento, foi devido a sua composição,

ou seja, é o único, entre os cimentos disponíveis no mercado, com menor teor de adição (inferior a 10%), que apresenta somente a substituição por mineral não pozolânico (filer).

5.2.3a Composição Química

Os resultados da composição química do CP II F-32 utilizado estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise Química do Cimento CP II F-32.

Propriedades Determinadas		Resultados (%)	Limites NBR 11578 (ABNT, 1991)
	Perda ao fogo	11,45	≤6,50
	Resíduo insolúvel	1,99	≤2,50
	Trióxido de Enxofre (SO ₃)	3,09	≤4,00
	Óxido de Magnésio (MgO)	1,23	≤6,50
	Dióxido de Silício (SiO ₂)	17,11	-----
	Óxido de Ferro(Fe ₂ O ₃)	2,42	-----
	Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	3,65	-----
	Óxido de Cálcio (CaO)	60,64	-----
	Óxido de Cálcio livre (CaO)	2,30	-----
Alcalis	Óxido de Sódio (Na ₂ O)	0,09	-----
Totais	Óxido de Potássio (K ₂ O)	0,22	-----
	Equivalente Alcalino	0,23	-----
	Sulfato de Cálcio(CaSO ₄)	2,30	-----

De acordo com os resultados encontrados, pode-se afirmar que o cimento atende as principais especificações da NBR 11578 (ABNT, 1991), exceto a perda ao fogo que apresentou um valor superior ao estabelecido pela norma.

Segundo Rego (2004), a perda ao fogo é a porcentagem de perda de massa quando o cimento Portland é aquecido até 950±50°C.

O excesso de perda ao fogo, pode indicar a presença no CP II F -32, de quantidades de materiais carbonáticos superiores aos estabelecidos por norma. Atualmente a NBR 11578 (ABNT, 1991), estabelece um teor de adição de filer calcário entre 6% e 10%, sendo que valores superiores aos especificados, podem diminuir a reatividade do cimento.

5.2.3b Caracterização física

A finura é uma propriedade do cimento muito importante, estando relacionada com o tamanho dos grãos do material. De acordo com Mehta e Monteiro (1994), a finura do cimento influencia a sua reação com a água. Quanto mais fino o cimento, mais rápido ele reagirá, obtendo ganhos de resistência mais rapidamente.

Realizou-se nessa pesquisa, o ensaio de finura do cimento na peneira nº 200 (75µm), seguindo-se a seguinte metodologia da NBR 11579 (ABNT, 2005):

- Pesou-se 20g de cimento, numa balança de precisão de 0,05g;
- Colocou-se a amostra sobre a peneira com abertura de 0,075mm ABNT;
- Fez-se o peneiramento mecânico durante 3 min;
- Pesou-se a quantidade retida.

Determinou-se a quantidade de cimento retido na peneira nº 200, pela equação 5.4:

$$F = \frac{R.F_c \cdot 100}{T} \quad (5.4)$$

Onde:

F = índice de finura do cimento (%);

R = Quantidade de material retido na peneira 200 (g);

T = Massa da amostra pesada inicialmente (20g);

F_c = fator de correção utilizado para cada peneira ($F_c = 1,15$)

O método Blaine de permeabilidade ao ar segue os procedimentos NBR NM 76 (ABNT, 1996), avalia a superfície específica do cimento, observando-se o tempo para uma determinada quantidade de ar fluir através de uma camada de cimento compactada de dimensões e porosidade conhecidas.

O cálculo da área específica do cimento Portland é realizado pela equação 5.5.

$$S = \frac{K \cdot \sqrt{\varepsilon^3} \cdot \sqrt{t}}{\rho \cdot (1 - \varepsilon) \sqrt{0,1\eta}} \quad (5.5)$$

Onde:

S = área específica do cimento (cm^2/g);

ε = Porosidade da camada; t = tempo em segundos;

ρ = massa específica do cimento (g/cm^3); K = constante do aparelho;

η = viscosidade do ar à temperatura do ensaio (valor tabelado).

A superfície específica do cimento é proporcional a “ t ”, sendo que t representa o tempo para determinada quantidade de ar atravessar a camada compactada de cimento. Se as partículas do cimento possuírem elevada finura este tempo será pequeno. A distribuição dos tamanhos das partículas do cimento é que determina o número e a faixa de tamanho dos poros individuais em uma camada especificada, e também o tempo para um dado fluxo de ar.

A Tabela 7 apresenta as composições físicas e mecânicas, do cimento Portland utilizado na pesquisa.

Tabela 7 - Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas do Cimento CP II F-32.

Propriedades Determinadas		Resultados	Limites NBR 11578 ABNT (1991)
Finura	Resíduo na Peneira nº 200 (%)	0,40	≤ 12
	Massa Específica (g/cm^3)	2,97	---
	Área Específica (cm^2/g)	5490	≥ 2600
	Diâmetro médio (μm)	8,27	---
	Diâmetro máximo (μm)	53,00	---
Resistência à compressão (Mpa)	3 dias	20,7	≥ 10
	7 dias	27,6	≥ 20
	28 dias	35,8	≥ 32 e ≤ 49

Os resultados encontrados para a finura do cimento na peneira nº 200 ($75 \mu\text{m}$), área específica, e de sua resistência à compressão, estão de acordo com os limites estabelecidos pela NBR 11578 (ABNT, 1991).

A Ilustração 25 apresenta a composição granulométrica do CP II F- 32, o diâmetro abaixo do qual encontram-se 10% das partículas do cimento Portland corresponde a $1,29 \mu\text{m}$, enquanto que o diâmetro abaixo do qual encontram-se 90% das partículas, corresponde a $25,50 \mu\text{m}$.

Curva Granulométrica do Cimento Portland

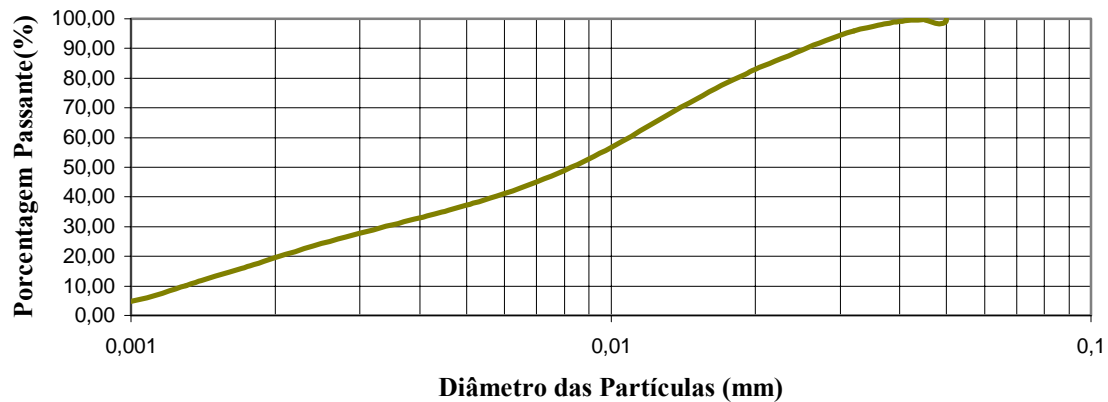


Ilustração 25 - Distribuição granulométrica do cimento Portland.

5.2.4 Água

Na confecção dos corpos-de-prova do concreto, utilizou-se água potável da rede pública, do sistema de abastecimento de água Saneamento de Goiás S/A – SANEAGO.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO RBMG

Os ensaios de caracterização química, física e mineralógica do RBMG, também foram realizados nos Laboratórios do DCT da Empresa Furnas Centrais Elétricas S.A. Sendo realizados os seguintes ensaios:

- Análise química;
- Difração por Raios-X;
- Granulometria a laser;
- Massa Específica (frasco de Le Chatelier);
- Finura na peneira n° 325 (diâmetro igual a 44 μ m);
- Atividade pozolânica com a cal e com o cimento;
- Fratini.

5.3.1 Caracterização Química

A Tabela 8 apresenta a composição química do resíduo (RBMG) das três marmorarias, e também faz uma comparação entre as composições químicas de outros resíduos encontrados na literatura, tal como o Resíduo proveniente das empresas que fazem o beneficiamento de Chapas de Granito (RBCG), e o Resíduo gerado durante a serragem dos blocos de granito (RCG) em equipamentos denominados de teares.

Tabela 8 - Análise química entre o RBMG, RBCG e RCG de diferentes regiões.

Determinação	Composição química dos resíduos(%)							
	RBMG			RBCG	RCG			
	EMPRESAS			LAMEIRAS	GONÇALVES	CALMON	MENEZES	MENEZES
	A	B	C	et.al.(2005)	(2000)	et.al (2002)	et.al. (2002)	et al. (2002)
	ORIGEM DO RESÍDUO							
GO	GO	GO	AL	BA	ES	PE	CE	
SiO ₂	58,67	54,62	54,10	58,03	59,62	59,95	65,01	57,75
Al ₂ O ₃	11,26	9,70	10,28	18,65	12,77	10,28	13,86	12,90
Fe ₂ O ₃	7,59	5,86	7,26	4,79	9,49	6,05	7,62	8,38
CaO	6,13	12,99	11,27	2,80	4,83	6,51	3,64	8,40
MgO	2,96	3,22	1,72	xx	1,96	3,25	xx	xx
Alcalis Na ₂ O	2,74	2,15	2,84	1,02	2,72	3,39	2,38	4,05
Totais K ₂ O	2,90	0,35	3,94	1,51	5,30	4,48	3,63	3,03
Eq.AL.	4,65	2,39	5,43	xx	xx	xx	xx	xx
TiO ₂	xx	xx	xx	xx	xx	0,92	xx	xx
CaSO ₄	0,07	0,03	0,03	xx	xx	xx	xx	xx
SO ₃	0,04	0,02	0,02	xx	0,03	xx	xx	xx
Perda ao fogo	5,99	9,57	7,84	5,62	xx	xx	xx	xx

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 8, observa-se que os resíduos (RBMG, RBCG e RCG) são constituídos predominantemente por sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃). Segundo Lameiras (2004), a principal diferença do RCG, para os resíduos RBMG e RBCG é a presença da granalha de ferro. No entanto, é importante ressaltar que os resultados mostraram a presença de Fe₂O₃ em todos os resíduos.

Com relação ao RBMG das três empresas, não houve grandes variações em suas propriedades químicas (exceção para CaO, MgO e K₂O), e os valores estão próximos aos encontrados nos estudos de outros autores. A variação do RBMG, nos teores de óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e óxido de potássio (K₂O), ocorre possivelmente pela variação das rochas que deram origem aos resíduos.

5.3.2 Caracterização Mineralógica

Com o objetivo de encontrar os compostos obtidos na análise química, realizou-se a caracterização mineralógica do RBMG, por meio do ensaio de difração por Raios X, que é o mais indicado na determinação das fases cristalinas, presentes em materiais rochosos. Em grande parte dos sólidos (cristais), os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos Raios-X.

O ensaio tem como objetivo a identificação dos minerais, que é feita por meio das distâncias interplanares (representam as características físicas de um material) e das intensidades relativas dos picos nos difratogramas. Geralmente utiliza-se a confecção de difratogramas padrões para a comparação da amostra em estudo.

A Ilustração 26 apresenta o difratograma do resíduo da marmoraria A.

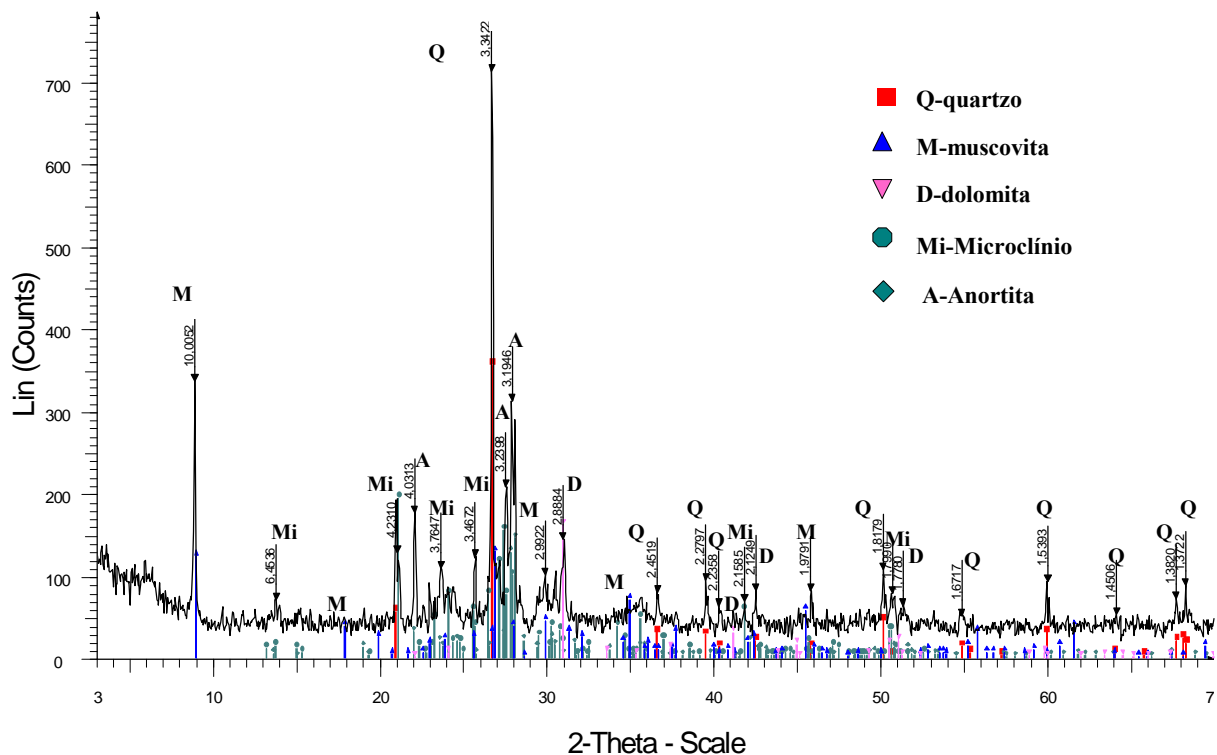


Ilustração 26 - Difratograma do RBMG da empresa A.

O gráfico da Ilustração 26 representa a relação entre o ângulo de difração (eixo horizontal), que fornece o espaçamento do arranjo cristalino, e a intensidade de picos (eixo vertical). A Ilustração 27 apresenta o difratograma do resíduo da marmoraria B.

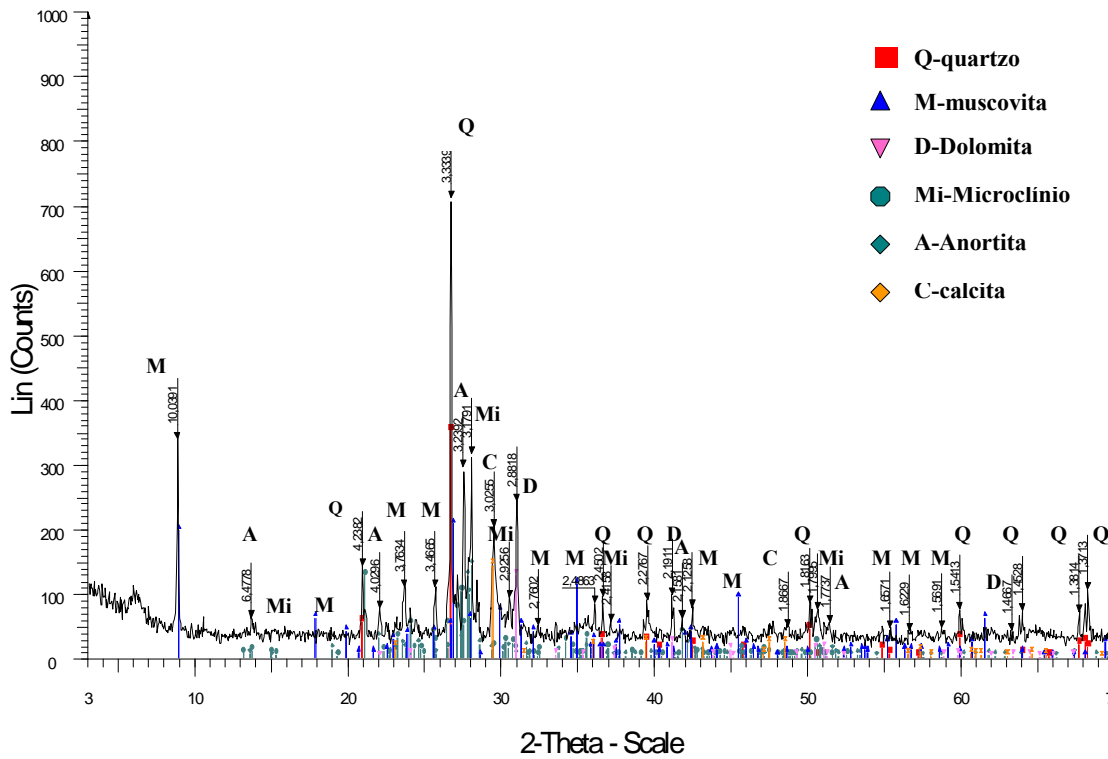


Ilustração 27-Difratograma do RBMG da empresa B.

A Ilustração 28 apresenta o difratograma da amostra de RBMG da empresa C.

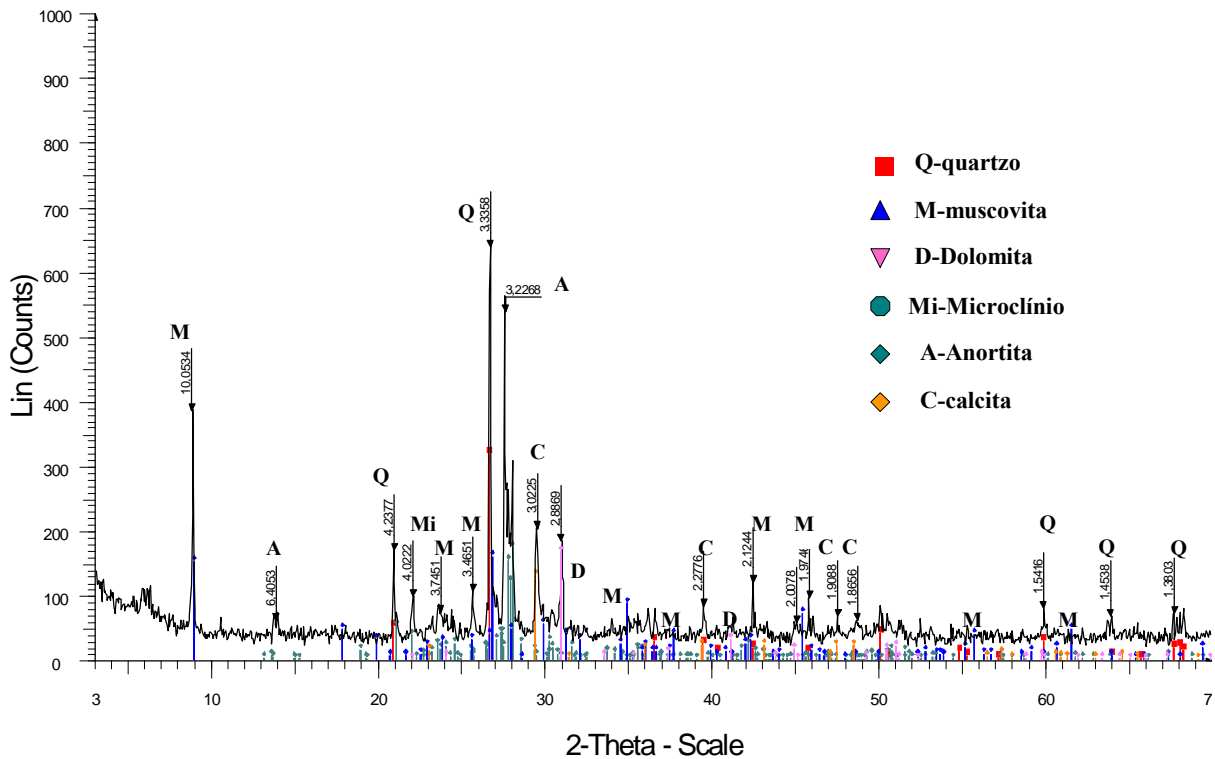


Ilustração 28 - Difratograma do RBMG da empresa C.

A técnica de difração de raios-X proporciona confiabilidade nos resultados obtidos, porque o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina, e também existe a possibilidade de análise de materiais compostos por várias fases, com uma análise quantitativa destas fases.

Com relação aos resultados, de uma forma geral, não houve grandes variações na intensidade de picos (distâncias interplanares “d”), no entanto, a empresa A não apresentou em sua composição o mineral calcita. Os minerais encontrados nos difratogramas, como o quartzo, microclínio, anortita e muscovita são típicos de rochas graníticas, enquanto que a calcita e a dolomita fazem parte dos mármore.

Pela análise dos gráficos, pode-se afirmar que os resultados do RBMG estão próximos aos encontrados por outros autores, como Lameiras (2004) e Gonçalves (2000), que trabalharam respectivamente com os resíduos de beneficiamento de chapas de granito (RBCG), e resíduo de corte de granito (RCG). Esses resultados mostram que os resíduos provenientes de rochas ornamentais se apresentam na forma cristalina, em função da presença de minerais como quartzo e muscovita.

5.3.3 Caracterização Física

5.3.3a Granulometria a laser

O ensaio de granulometria a laser foi realizado com a utilização do aparelho granulometro a laser. Para que ocorra a maior dispersão das partículas, é utilizado neste aparelho um líquido. Para o RBMG, utilizou-se a água destilada como líquido dispersante. Já para o cimento utilizou-se como agente dispersante o álcool etílico.

O resultado do ensaio é a determinação da curva granulométrica da amostra, que relaciona o diâmetro das partículas (eixo horizontal), com a porcentagem passante (eixo vertical). O diâmetro mínimo da partícula equivale a 0,50 μm , com o diâmetro máximo sendo aquele que obtiver 100% de material passante.

A Tabela 9 apresenta a dimensão média do RBMG, os diâmetros abaixo dos quais encontram-se 10% e 90% de suas partículas, a dimensão máxima característica do resíduo, o

percentual de material retido na peneira nº 200 (diâmetro igual a $75\mu\text{m}$), e também faz uma comparação com as partículas do cimento utilizado na pesquisa.

Tabela 9 - Características granulométricas do RBMG, e do cimento.

Materiais	Dimensão Média(μm)	Dimensão Máxima(μm)	Diâmetro com 10% das partículas(μm)	Diâmetro com 90% das partículas(μm)	Material Retido Peneira nº200(%)
RBMG A	7,89	45	1,24	33,90	0,10
RBMG B	14,70	63	1,44	51,53	0,77
RBMG C	18,14	63	1,62	53,38	0,92
CP II F-32	8,27	57	1,29	25,50	0,28

Os resultados da tabela 9 mostram que o RBMG da empresa A, possui menor diâmetro médio entre as empresas, sendo inferior ao do cimento (CP II F-32). Segundo Petrucci (1973), os fileres possuem diâmetro entre 5 e $75\mu\text{m}$, como a faixa de variação do diâmetro do RBMG foi de 7 a $19\mu\text{m}$, logo o diâmetro médio do RBMG encontra-se dentro deste limite, podendo o resíduo ser considerado um filer.

A Ilustração 29 apresenta as curvas granulométricas dos resíduos das empresas, e também do cimento utilizado na pesquisa.

Curva Granulométrica do RBMG e do CP II F-32

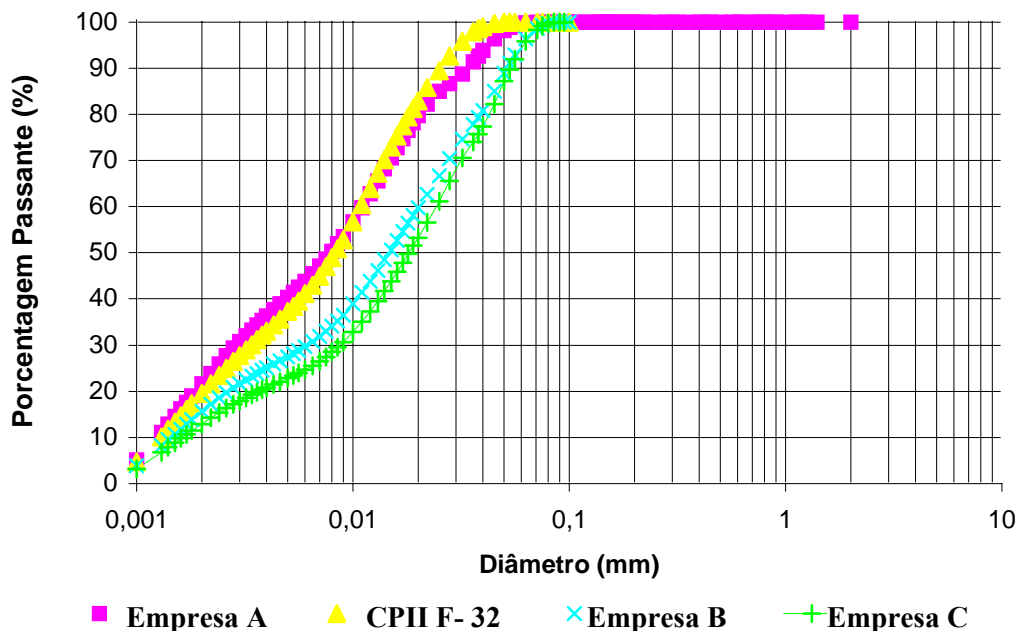


Ilustração 29 – Curvas granulométricas do RBMG e do cimento Portland.

Pelos resultados apresentados na Ilustração 45, observa-se que apenas o RBMG da Empresa A, apresenta granulometria semelhante a do cimento. Embora a literatura afirme que o diâmetro dos grãos dos resíduos de rochas ornamentais seja próximo ao do cimento, os resultados mostraram que há grandes variações nas dimensões do RBMG.

5.3.3b Massa Específica

A massa específica do RBMG foi determinada, de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001). O ensaio foi realizado com a utilização de um frasco volumétrico (volume máximo igual a 250 cm³) de vidro borossilicato, denominado de Le Chatelier. O procedimento do ensaio foi o seguinte:

- Encheu-se o frasco com o auxílio de uma haste longa, com o líquido reagente (querosene) entre as medidas correspondentes a 0 e 1 cm³;
- Colocou-se o frasco no banho de água em posição vertical por 30 min, para a equalização das temperaturas dos líquidos no interior do frasco e do banho;
- Registrou-se a leitura inicial, sendo denominada de V_1 ;
- Pesou-se a amostra, utilizando uma massa capaz de deslocar o líquido no intervalo entre 18 cm³ e 24 cm³ da escala graduada do frasco de Le Chatelier;
- Tampou-se o frasco, girando-o na posição inclinado, até a ausência de bolhas de ar na superfície do líquido;
- Registrou-se a leitura final, denominada de V_2 ;

O cálculo da massa específica foi determinado pela equação 5.6:

$$\rho = \frac{m}{\Delta V} \quad (5.6)$$

Onde:

ρ = massa específica (g/cm³);

m = massa da amostra (g);

$\Delta V = V_2 - V_1$ (cm³).

A Ilustração 30 apresenta as massas específicas do RBMG obtidas nesta pesquisa, e do RCG e RBCG, encontrados na literatura.

Materiais	Massa Específica (g/cm³)
RBMG A	2,63
RBMG B	2,68
RBMG C	2,70
RBCG (LAMEIRAS, 2004)	2,67
RCG (GONÇALVES, 2000)	2,81

Ilustração 30 – Quadro da Massa Específica dos resíduos.

Observa-se pelos resultados da Ilustração 44, que a maior variação da massa específica entre as empresas foi de 2,6%. Assim, a diferença entre a massa específica dos resíduos das empresas foi pequena. O RBMG das três empresas possui massa específica inferior a do cimento, que equivale a 2,97 g/cm³. Comparando-se os resultados do RBMG com os da literatura, nota-se que os valores são bem próximos. De acordo com Lameiras (2004), o RCG apresenta maior massa, devido à presença da granalha de ferro durante o seu processo produtivo.

5.3.3c Finura na peneira n^o 325

Para a determinação da finura na peneira n^o 325 (diâmetro 44 µm), seguiu-se os seguintes procedimentos da NBR 11579 (ABNT, 2005):

- Pesou-se 10g de RBMG, numa balança de precisão de 0,05g;
- Colocou-se a amostra sobre a peneira com abertura de 0,044mm ABNT;
- Fez-se o peneiramento mecânico durante 5 min;
- Pesou-se a quantidade retida.

Determinou-se a quantidade de resíduo na peneira 325, pela equação 5.7:

$$F = \frac{R.F_c \cdot 100}{T} \quad (5.7)$$

Onde:

F = índice de finura do RBMG (%);

R = Quantidade retida de resíduo na peneira 325 (g);

T = Massa da amostra pesada inicialmente (10g);

F_c = fator de correção utilizado para cada peneira ($F_c = 1,05$).

A Tabela 10 apresenta os resultados da finura dos grãos do RBMG na peneira nº 325, e também faz uma comparação com os resíduos RBCG e RCG.

Tabela 10 - Determinação da Finura dos grãos dos resíduos.

Materiais	Resíduo na peneira nº 325 (44µm)
	(%)
RBMG A	16,50
RBMG B	22,80
RBMG C	21,50
RBCG (LAMEIRAS, 2004)	10,25
RCG (GONÇALVES, 2000)	28,75

Os resultados da Tabela 10 mostram que os resíduos provenientes de rochas ornamentais apresentam variações em suas finuras. Com relação ao resíduo das empresas, os grãos do RBMG da empresa A possuem maior finura.

5.3.4 Ensaios de Atividade pozolânica com a cal e com o cimento

Em função da presença de altos teores de sílica (SiO_2), encontrados na análise química, avaliou-se a atividade pozolânica do RBMG.

Na realização do ensaio de determinação do índice de atividade pozolânica com a cal hidratada, seguiram-se os procedimentos da NBR 5751 (ABNT, 1992a). A metodologia desse ensaio consiste no estabelecimento de uma argamassa de cal na razão 1:9, em relação à massa da cal, com um índice de consistência de 225 ± 5 mm. A razão 1:9 corresponde a uma parte em massa de hidróxido de cálcio, para nove partes em massa de areia normal, adicionada certa quantidade de material pozolânico, que equivale ao dobro de volume de hidróxido de cálcio.

Foram confeccionados 3 corpos-de-prova (dimensões 5cmx10cm), com a cura ocorrendo em duas fases, a primeira nas 24 horas iniciais à temperatura de aproximadamente 21°C, e a segunda com a cura ocorrendo de maneira acelerada numa temperatura de 55°C num período de 6 dias.

Após a cura, determinou-se a resistência a compressão aos 7 dias de hidratação, seguindo os procedimentos da NBR 13279 (ABNT, 1985). De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1992), a amostra terá atividade pozolânica, se o resultados das resistências à compressão forem superiores a 6,0 MPa.

Para a realização do ensaio de determinação do índice de atividade pozolânica com o cimento do tipo CP II F-32, seguiu-se os procedimentos da NBR 5752 (ABNT, 1992b). A metodologia deste ensaio consiste em utilizar dois tipos de argamassa, sendo uma primeira argamassa com o traço 1:3 (com relação à massa do cimento) e areia normal, ajusta-se a água para um índice de consistência de 225 ± 5 mm, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1982).

Na confecção da segunda argamassa, substituiu-se 35% do volume do cimento pelo material em estudo, e coloca-se água da mesma forma.

Após a determinação do traço da argamassa, são moldados 3 corpos-de-prova, com dimensões 5cm x 10cm, para cada uma das argamassas. Após o período de 24 horas, as argamassas são retiradas dos moldes, e são colocadas na câmara úmida por um período de 27 dias, com uma temperatura próxima de 38°C.

O índice de atividade pozolânica com o cimento Portland, é determinado pela relação entre a resistência à compressão média dos corpos-de-prova na idade de 28 dias com cimento e RBMG (substituição de 35% em relação à massa do cimento), e a resistência dos corpos-de-prova moldados somente com o cimento Portland comum.

A Tabela 11 apresenta os resultados da determinação da atividade pozolânica com o cimento Portland comum. Observa-se que o RBMG apresenta um índice de atividade pozolânica inferior a 75%, portanto de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 1992), o resíduo não possui atividade pozolânica.

Tabela 11 - Atividade pozolânica dos resíduos com o cimento.

Resíduos	Índice de atividade pozolânica com o cimento(%)
RBMG A	54,80
RBMG B	52,40
RBMG C	50,50
RBCG (LAMEIRAS, 2004)	58,80

A Ilustração 31 apresenta os resultados, do índice de atividade pozolânica do RBMG com a cal. Os valores encontrados são inferiores a 6,0 MPa; portanto, de acordo com as especificações da NBR 12653 (ABNT, 1992), o resíduo não apresenta atividade pozolânica com a cal.

Resíduos	Índice de atividade pozolânica com a cal (MPa)
RBMG A	1,00
RBMG B	0,40
RBMG C	0,60
RBCG(LAMEIRAS, 2004)	1,38

Ilustração 31 – Quadro da atividade pozolânica dos resíduos com a cal.

5.3.5 Determinação da atividade pozolânica pelo método de Fratini

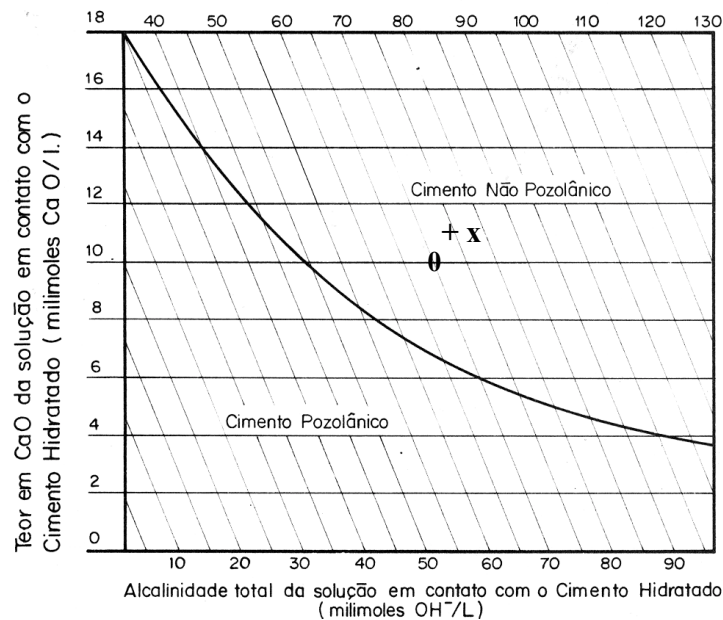
O método de Fratini segue os procedimentos da NBR 5753 (ABNT, 1980), a atividade pozolânica de um material, é avaliada por meio da comparação da quantidade de hidróxido de cálcio, presente na fase líquida estando junto com o cimento hidratado de uma solução de cimento e água destilada, com a quantidade de hidróxido de cálcio capaz de saturar o meio com a mesma alcalinidade. Neste método realiza-se a substituição em volume de 35% do cimento CP I, pelo material a ser analisado.

O resultado deste ensaio é uma curva de saturação do hidróxido (Ilustração 41), em função da alcalinidade, que avalia se os materiais estudados comportam-se como cimento pozolânico. Se o resultado apresentado estiver acima da curva, então o material em estudo é não pozolânico, se estiver abaixo ocorrerá o oposto.

Os resultados do ensaio de Fratini estão apresentados no quadro da Ilustração 32, sendo que estes valores estão plotados no gráfico de Ilustração 33.

RBMG das Empresas	Alcalinidade Total(mmol OH/L)	Teor de CaO milimol CaO/L	Resultado do Ensaio
A	60,26	10,58	Não pozolânico
B	57,93	10,26	Não pozolânico
C	59,66	10,87	Não pozolânico

Ilustração 32 – Quadro da atividade pozolânica do RBMG pelo método de Fratini.



Legenda:

X – Empresa A ; 0 – Empresa B ; + – Empresa C

Ilustração 33 – Gráfico da Curva de Saturação do Hidróxido de Cálcio – CaO (OH)₂.

O gráfico da Ilustração 33 mostra que os valores encontrados para o RBMG, ficaram acima da curva de saturação do hidróxido de cálcio, logo, o resíduo comporta-se como um material não pozolânico, corroborando os resultados dos ensaios do item anterior.

5.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

5.4.1 Confecção dos corpos-de-prova

Para a confecção dos corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 10 cm x 20 cm, seguiu-se os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2004), sendo os mesmos, moldados no Laboratório de Materiais de Construção da UFG.

Na fabricação dos 300 corpos-de-prova cilíndricos, moldaram-se concretos convencionais, sem substituição (referência), e também concretos com 5%, 10%, e 20% de substituição do RBMG, sendo utilizadas as relações água/aglom iguais a 0,50 e 0,65. A Ilustração 34 apresenta o detalhamento dos quantitativos para os ensaios realizados.

REFERÊNCIA	Ensaio	Idade	Tipo do CP	agua/aglom	
				0,50	0,65
REFERÊNCIA	Resistência à compressão Axial - NBR 5739	7	10x20cm	3	3
		21	10x20cm	3	3
		28	10x20cm	3	3
	Módulo de Elasticidade - NBR 8522	28	10x20cm	3	3
	Absorção por imersão - NBR 9778	28	10x20cm	3	3
Total de Corpos-de Prova Referência por relação a/aglom				15	15
Total de Corpos-de-Prova Referência				30	
5% DE RBMG	Resistência à compressão Axial - NBR 5739	7	10x20cm	3	3
		21	10x20cm	3	3
		28	10x20cm	3	3
	Módulo de Elasticidade - NBR 8522	28	10x20cm	3	3
	Absorção por imersão - NBR 9778	28	10x20cm	3	3
Total de Corpos-de Prova 5% RBMG por relação a/aglom				15	15
Total de Corpos-de-Prova 5% RBMG 1 Marmoraria				30	
Total de Corpos-de-Prova 5% RBMG 3 Marmorarias				90	
10% DE RBMG	Resistência à compressão Axial - NBR 5739	7	10x20cm	3	3
		21	10x20cm	3	3
		28	10x20cm	3	3
	Módulo de Elasticidade - NBR 8522	28	10x20cm	3	3
	Absorção por imersão - NBR 9778	28	10x20cm	3	3
Total de Corpos-de Prova 10% RBMG por relação a/aglom				15	15
Total de Corpos-de-Prova 10% RBMG 1 Marmoraria				30	
Total de Corpos-de-Prova 10% RBMG 3 Marmorarias				90	
20% DE RBMG	Resistência à compressão Axial - NBR 5739	7	10x20cm	3	3
		21	10x20cm	3	3
		28	10x20cm	3	3
	Módulo de Elasticidade - NBR 8522	28	10x20cm	3	3
	Absorção por imersão - NBR 9778	28	10x20cm	3	3
Total de Corpos-de Prova 20%RBMG por relação a/aglom				15	15
Total de Corpos-de-Prova 20% RBMG 1 Marmoraria				30	
Total de Corpos-de-Prova 20% RBMG 3 Marmorarias				90	
Total de Corpos-de-Prova 3 marmorarias				270	
Total Geral de Corpos-de-Prova				300	

Ilustração 34 – Quadro da Quantidade de Corpos-de-Prova moldados na pesquisa

5.4.2 Dosagem

O método utilizado para a dosagem dos concretos moldados nessa pesquisa, foi o método elaborado pela ACI (American Concrete Institute), descrito por Alves, (1987). Os traços variaram de acordo com a relação água/cimento. Foi feito o ajuste do traço para se obter um índice de consistência do concreto de referência variando entre 70 ± 20 mm. O resultado do traço unitário (em massa) para a dosagem do concreto está apresentado na Ilustração 35.

Teor de Subst. RBMG (%)	Cimento	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Água
0	1	1,55	2,08	0,50
5	0,95			
10	0,90			
20	0,80			
0	1	2,22	2,75	0,65
5	0,95			
10	0,90			
20	0,80			

Ilustração 35 – Quadro com o Traço Unitário em massa dos Concretos.

Com a determinação do traço unitário, calculou-se os quantitativos de material (Ilustração 36) com base na quantidade de 1 m^3 de concreto. Dessa forma dividiram-se os valores encontrados pelo volume real de concreto utilizado para a confecção dos corpos-de-prova.

Teor de Substit. RBMG(%)	Consumo de materiais(kg/m ³)					
	Relação ag./aglom	Cimento	RBMG	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Água
0	0,50	450	0	699,25	937,87	225
5		427,5	22,5			
10		405	45			
20		360	90			
0	0,65	346	0	770,71	953,47	225
5		328,7	17,3			
10		311	35			
20		277	69			

Ilustração 36 – Quadro da Dosagem do Concreto para a Confecção dos Corpos-de-Prova.

O RBMG foi pesado numa balança com precisão de 0,1g (Ilustração 37a), sendo misturado ao cimento. Os demais materiais componentes da mistura do concreto foram pesados numa balança de precisão de 20 g. Após a pesagem dos materiais, eles foram colocados na betoneira com capacidade de 120 litros, na seguinte ordem:

- Metade do volume de água;
- Todo o agregado graúdo;
- Todo o cimento já misturado com o RBMG;
- Todo o agregado miúdo;
- O restante da água;

O tempo de mistura na betoneira foi de 3 minutos, para que houvesse uma melhor homogeneização do concreto.

A cura dos concretos foi realizada numa câmara úmida do Laboratório de Materiais de Construção, com a temperatura em torno de 21°C.

As Ilustrações 37a e 37b mostram, respectivamente, a pesagem do RBMG, e os corpos-de-prova já moldados e com as etiquetas de identificação.



Ilustração 37a - Pesagem do RBMG.



Ilustração 37b – Confeção do concreto.

5.4.3 Concreto no Estado Fresco

No estado fresco avaliou-se a influência da substituição do RBMG, na consistência dos concretos, pelo método de abatimento de tronco de cone, seguiram-se os procedimentos da NBR 7223 (ABNT, 1992).

Para a maior precisão na obtenção das medidas de consistência dos concretos, realizaram-se seis medições para cada traço.

5.4.4 Concreto no Estado Endurecido

No estado endurecido dos concretos foram verificadas as seguintes propriedades:

- Resistência à compressão axial do concreto aos 7, 21 e 28 dias;
- Módulo de Deformação do concreto aos 28 dias;
- Absorção por Imersão, e Índice de vazios dos concretos aos 28 dias.

5.4.4a Resistência à compressão axial

O cálculo da resistência à compressão dos concretos, foi realizado de acordo com os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 1994).

A Ilustração 38 apresenta a prensa hidráulica da marca WPM, do Laboratório de Materiais de Construção da UFG, com carga máxima de 200 toneladas e precisão de 100 Kgf, a qual foi utilizada na ruptura dos corpos-de-prova.



Ilustração 38 – Prensa hidráulica da WPM, modelo DIMB-200.

5.4.4b Módulo de Deformação

A determinação do módulo de deformação dos concretos foi realizada de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 1984). Nessa pesquisa determinou-se o módulo tangente inicial, de acordo com a norma citada anteriormente, aplicou-se o carregamento de forma crescente, até alcançar a tensão igual a $0,3f_c$, depois fez-se o descarregamento até a tensão de 0,5MPa, num intervalo de tempo de 60 segundos. Após a realização de mais dois ciclos de pré-cargas adicionais, fez-se a leitura das medidas de deformação.

5.4.4c Determinação da Absorção de água por imersão e do Índice de vazios

A determinação da absorção de água e o índice de vazios dos concretos foram realizados de acordo com os seguintes procedimentos da NBR 9778 (ABNT, 2005):

- Colocou-se os corpos-de-prova na estufa, a uma temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por um período de 72 horas;
- Determinou-se a massa seca das amostras (m_s), com a utilização de uma balança de precisão de 0,1g;
- Colocou-se os corpos-de-prova imersos em água por 72 horas;
- Ferveu-se os concretos por um período de 5 horas;
- Com o auxílio de uma balança hidrostática, determinou-se a massa imersa dos corpos-de-prova (m_i);
- Retirou-se as amostras da água, pesando-se em seguida para a determinação da massa saturada (m_{sat});

O cálculo da absorção e o índice de vazios dos concretos foram determinados respectivamente pelas equações 5.8 e 5.9.

$$A = \frac{(m_{sat} - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (5.8)$$

$$I_v = \frac{(m_{sat} - m_s)}{(m_{sat} - m_i)} \times 100 \quad (5.9)$$

Onde:

A = absorção (%); m_{sat} = massa saturada do corpo-de-prova (g); m_s = massa seca (g);

I_v = índice de vazios (%);

m_i = massa imersa (g).

5.4.5 Metodologia da análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados das propriedades dos concretos avaliadas foi feita por meio do teste t, teste F, teste de Tukey e a análise da variância entre as médias das classes dos concretos, utilizou-se o software Excel, para o cálculo destes parâmetros estatísticos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO FRESCO

6.1.1 Trabalhabilidade

A determinação da trabalhabilidade dos concretos foi realizada pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (slump test). Durante a dosagem o abatimento foi fixado na faixa 70 ± 20 mm (Ilustração 39).



Ilustração 39 - Ensaio de Abatimento do tronco de cone.

A Ilustração 40 apresenta as 6 medidas realizadas para cada traço, do abatimento do tronco de cone dos concretos para a relação água/aglom igual a 0,50.

Quant. de Medidas	Slump (mm) - relação a/aglom. igual a 0,50									
	CLASSES DO CONCRETO									
	Ref.	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
01	75	65	75	80	60	70	75	60	80	50
02	70	70	70	80	65	75	75	65	70	65
03	70	65	60	80	60	70	70	60	80	65
04	65	65	60	75	60	75	60	60	65	60
05	65	60	65	70	60	60	50	55	55	65
06	60	55	60	65	55	60	45	55	50	55
Média	68	63	65	75	60	68	63	59	67	60

Ilustração 40 – Quadro dos abatimentos dos concretos para a relação a/aglom igual a 0,50.

Dos resultados obtidos, percebe-se que não houve variações significativas na trabalhabilidade dos concretos com substituição, uma vez que os valores ficaram na faixa de 70 ± 20 mm. No entanto, o concreto da empresa A apresentou maior redução de sua trabalhabilidade à medida que houve um aumento no teor de substituição do RBMG. Este comportamento já era esperado, pois segundo Gonçalves (2000), as partículas de pequeno diâmetro, como o resíduo da empresa A, são difundidas pela mistura, que atuam como uma barreira física, para o movimento ascendente da água.

A Ilustração 41 apresenta os resultados do slump dos concretos (relação a/aglo=0,65).

Quant. de Medidas	Slump (mm) - relação a/aglom igual a 0,65									
	CLASSES DO CONCRETO									
	Ref.	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
01	90	85	90	90	70	90	85	70	80	85
02	85	80	90	80	75	75	80	70	75	85
03	85	75	90	75	65	70	75	65	70	80
04	80	65	70	70	65	70	75	60	70	70
05	70	70	80	70	60	65	70	60	65	70
06	70	60	75	65	60	60	70	55	65	60
Média	80	73	83	75	66	72	76	63	71	75

Ilustração 41 – Quadro do slump dos concretos para a relação a/aglom igual a 0,65.

Os resultados da Ilustração 41 seguem a mesma tendência dos resultados para a relação água/aglom igual a 0,50. O concreto da empresa A apresentou redução na sua trabalhabilidade em comparação ao concreto de referência. Já o concreto da empresa B, apresentou maior trabalhabilidade em comparação ao traço de referência, isto ocorre, provavelmente devido ao maior diâmetro das partículas do RBMG desta empresa, em comparação ao cimento.

6.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO ENDURECIDO

6.2.1 Resistência à compressão

A Ilustração 42 apresenta os resultados da resistência à compressão dos concretos nas idades 7,21 e 28 dias, com 5% de substituição do RBMG, e relação água/aglom igual a 0,50.

Relação a/aglom.	Classes do Concreto	7 dias		21 dias		28 dias	
		fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)
0,50	REFER.	20,24	21,90	29,16	29,24	32,76	32,72
		23,68		29,92		33,14	
		21,77		28,65		32,25	
	5%-A	27,25	25,21	31,58	30,69	33,27	32,38
		26,23		29,03		31,61	
		22,15		31,45		32,25	
	5%-B	21,14	22,03	29,67	30,22	31,74	31,66
		22,54		31,07		31,11	
		22,41		29,92		32,12	
	5%-C	22,79	24,57	26,48	30,13	33,52	32,55
		26,23		30,56		31,61	
		24,70		33,36		32,51	

Ilustração 42 – Quadro dos resultados da resistência à compressão dos concretos com 5% de RBMG e relação água/aglom igual a 0,50.

A Ilustração 43 apresenta os resultados da resistência à compressão média dos concretos do quadro da Ilustração 42, em forma de gráfico.

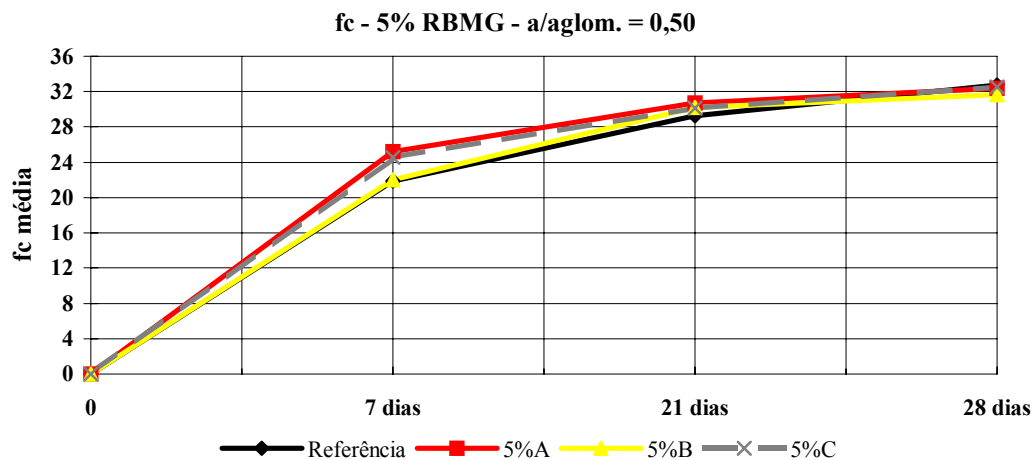


Ilustração 43 – Gráfico da Resistência dos concretos com 5% de RBMG e a/aglom de 0,50.

Apesar da diferença granulométrica entre os resíduos das diversas empresas, observa-se um mesmo padrão de comportamento quanto à resistência à compressão, com valores próximos ao do concreto de referência. Na idade de 28 dias, houve uma redução média entre as resistências dos concretos das três empresas de 1,61% em comparação ao concreto de referência.

A Ilustração 44 mostra os resultados da resistência média à compressão dos concretos, com 10% de substituição do RBMG e a relação água/aglom igual a 0,50.

Relação a/aglom.	Classes do Concreto	7 dias		21 dias		28 dias	
		fc	fc média	fc	fc média	fc	fc média
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0,50	REFER.	20,24	21,90	29,16	29,24	32,76	32,72
		23,68		29,92		33,14	
		21,77		28,65		32,25	
	10% -A	18,46	19,10	24,83	26,02	29,16	30,05
		21,52		24,70		30,3	
		17,32		28,52		30,69	
	10% -B	20,24	19,48	24,45	24,91	25,47	27,08
		18,97		27,50		27,88	
		19,23		22,79		27,88	
	10% -C	21,39	21,05	24,70	25,10	29,54	26,57
		22,41		24,64		25,21	
		19,35		25,97		24,96	

Ilustração 44 – Quadro da Resistência à compressão dos concretos com 10% de RBMG.

Os valores da resistência à compressão média dos concretos da Ilustração 44 estão plotados no gráfico da Ilustração 45.

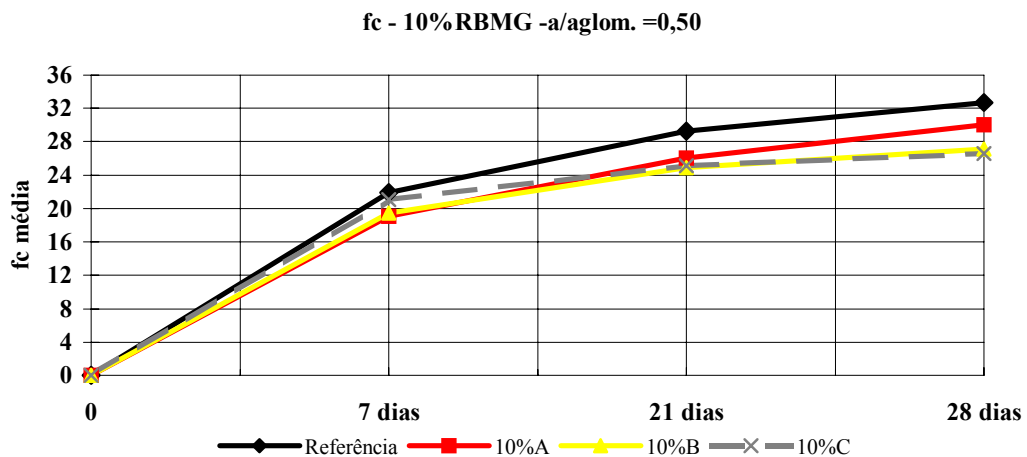


Ilustração 45 – Gráfico da resistência dos concretos com 10% de RBMG (a/aglom de 0,50).

Na idade de 28 dias, os resultados mostram que houve uma redução média de 14,73% das resistências dos concretos com substituição, em comparação ao concreto de referência, com o

concreto da empresa A obtendo melhor desempenho, com uma redução da resistência de 8,16% em relação à resistência do concreto de referência.

A Ilustração 46 apresenta a resistência dos concretos com 20% de RBMG.

Relação a/aglom.	Classes do Concreto	7 dias		21 dias		28 dias	
		fc	fc média	fc	fc média	fc	fc média
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0,50	REFER.	20,24	21,90	29,16	29,24	32,76	32,72
		23,68		29,92		33,14	
		21,77		28,65		32,25	
	20% -A	15,79	16,13	20,12	21,35	21,26	21,48
		15,53		22,54		22,42	
		17,06		21,39		20,75	
	20% -B	18,59	16,00	22,66	21,39	23,17	23,05
		16,55		21,26		22,42	
		12,86		20,24		23,55	
	20% -C	21,14	19,69	19,86	22,41	23,68	23,00
		18,59		23,30		22,79	
		19,35		24,06		22,54	

Ilustração 46 – Quadro da Resistência dos concretos com 20% de RBMG (a/aglom=0,50).

A Ilustração 47 apresenta os resultados da resistência à compressão média dos concretos do quadro da Ilustração 46, em forma de gráfico.

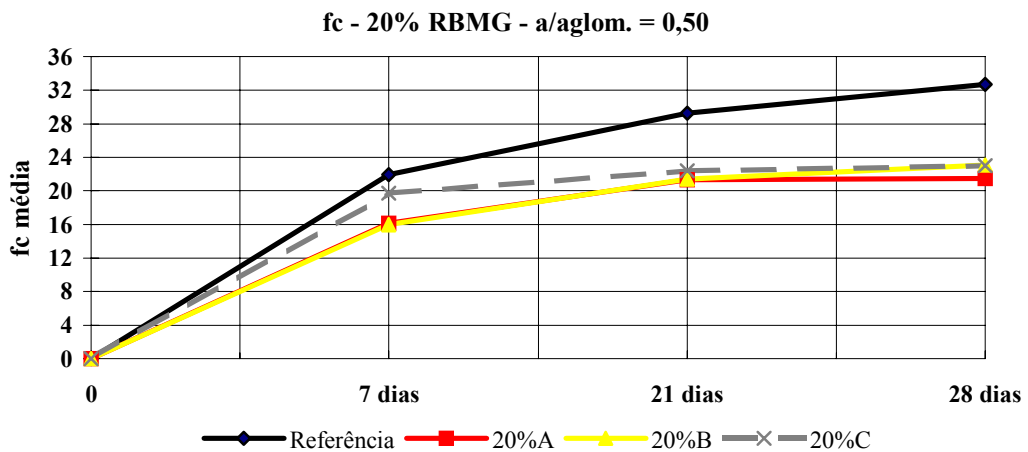


Ilustração 47 – Gráfico da Resistência à compressão dos concretos, com 20% de RBMG e relação a/aglom igual a 0,50.

De acordo com os resultados (Ilustração 47), observa-se que, com o teor de 20% de substituição do RBMG, o decréscimo nos valores das resistências dos concretos das empresas, foi bem maior, com uma redução média das resistências, de 31,20% em comparação ao concreto de referência, sendo que a empresa B obteve a menor redução, que foi de 29,55%. Isto mostra que para quantidades maiores de substituição do RBMG, o efeito filer é descompensado pela redução de cimento.

É importante ressaltar que, aos 28 dias, todos os concretos das empresas com relação água/aglom igual a 0,50, obtiveram resistência à compressão superior a 20 MPa, atendendo às especificações da NBR 6118 (ABNT, 2003), quanto a resistência à compressão mínima para fins estruturais.

Os resultados para a resistência à compressão dos concretos com a relação água/aglom igual a 0,65, e com 5% de substituição do RBMG, são apresentados na Ilustração 48.

Relação a/aglom.	Classes do Concreto	7 dias		21 dias		28 dias	
		fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)
0,65	REFER.	17,83	17,53	20,75	20,50	21,77	21,81
		16,68		20,75		21,9	
		18,08		19,99		21,77	
	5% -A	17,32	17,28	18,21	18,16	22,54	22,37
		16,68		17,95		22,79	
		17,83		18,33		21,77	
	5% -B	16,81	16,00	17,32	17,49	21,9	21,82
		15,53		17,06		21,01	
		15,66		18,08		22,54	
	5% -C	13,75	13,54	18,21	18,29	20,63	20,42
		12,48		18,21		19,99	
		14,39		18,46		20,63	

Ilustração 48 – Quadro da resistência à compressão dos concretos com 5% de RBMG e água/aglom igual a 0,65.

Os valores da resistência à compressão média dos concretos com 5% de RBMG da Ilustração 48 estão plotados no gráfico da Ilustração 49.

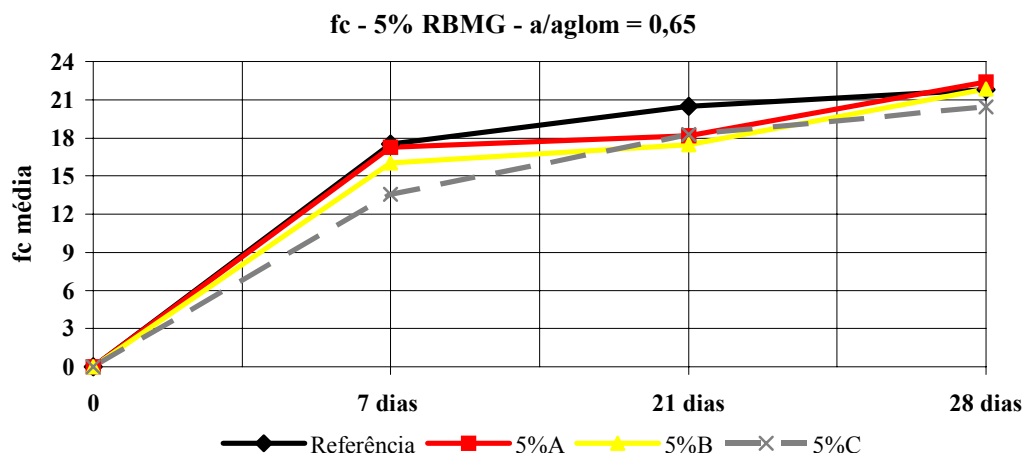


Ilustração 49 – Gráfico da resistência dos concretos com 5% de RBMG (a/aglom igual a 0,65).

Na idade de 28 dias, e com o teor de substituição de 5% do RBMG (Ilustração 48), observa-se uma tendência de ganho de 2,57% na resistência do concreto da empresa A, em comparação ao concreto de referência. Isto ocorre provavelmente devido, a sua composição granulométrica semelhante a do cimento Portland. Segundo Gonçalves (2000), a distribuição granulométrica das pequenas partículas do resíduo de rochas ornamentais, no concreto, faz com que ocorra o preenchimento dos poros existentes, e a diminuição dos espaços disponíveis para a água, ocasionando o chamado efeito filer.

A Ilustração 50 mostra os resultados da resistência dos concretos com 10% de RBMG.

Relação a/aglom.	Classes do Concreto	7 dias		21 dias		28 dias	
		fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)
0,65	REFER.	17,83	17,53	20,75	20,50	21,77	21,81
		16,68		20,75		21,9	
		18,08		19,99		21,77	
	10% -A	12,86	13,71	18,84	18,59	19,35	19,52
		14,26		19,61		19,99	
		14,01		17,32		19,23	
	10% -B	14,13	13,88	16,68	16,87	18,97	18,25
		13,62		17,51		17,19	
		13,88		16,42		18,59	
	10% -C	12,10	12,39	15,79	16,28	16,55	18,37
		12,73		16,49		18,84	
		12,35		16,55		19,73	

Ilustração 50 – Quadro da Resistência dos concretos com 10% de RBMG (a/aglom de 0,65).

A Ilustração 51 apresenta os resultados da resistência à compressão média dos concretos do quadro da Ilustração 50, em forma de gráfico.

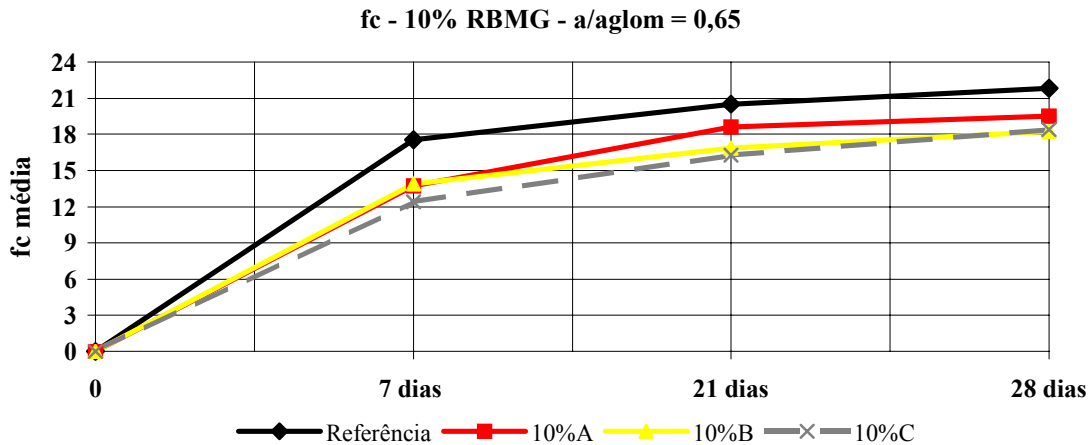


Ilustração 51 – Gráfico da resistência dos concretos, com 10% de RBMG e a/aglom de 0,65.

Com o teor de substituição de 10% do RBMG (Ilustração 50), os concretos com resíduos apresentaram uma redução média de suas resistências, igual a 14,21%, em relação à resistência ao concreto de referência. O concreto da empresa A, obteve melhor desempenho, com a menor redução de sua resistência, igual a 10,50%. A Ilustração 52 mostra os resultados da resistência à compressão dos concretos com 20% de RBMG.

Relação a/aglom.	Classes do Concreto	7 dias		21 dias		28 dias	
		fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)
0,65	REFER.	17,83	17,53	20,75	20,50	21,77	21,81
		16,68		20,75		21,9	
		18,08		19,99		21,77	
	20% -A	10,31	10,61	13,62	14,34	17,69	17,65
		10,82		14,64		17,57	
		10,7		14,77		17,69	
	20% -B	11,84	12,35	15,28	15,49	16,81	16,42
		12,73		14,77		16,04	
		12,48		16,42		16,42	
	20% -C	11,84	11,71	14,90	14,98	16,42	15,92
		11,71		15,66		15,41	
		11,59		14,39		15,92	

Ilustração 52 – Quadro da Resistência à compressão dos concretos com 20% de RBMG (a/aglo=0,65).

Os valores das resistências médias dos concretos com 20% de RBMG e relação água/aglom igual a 0,65, estão plotados no gráfico da Ilustração 53.

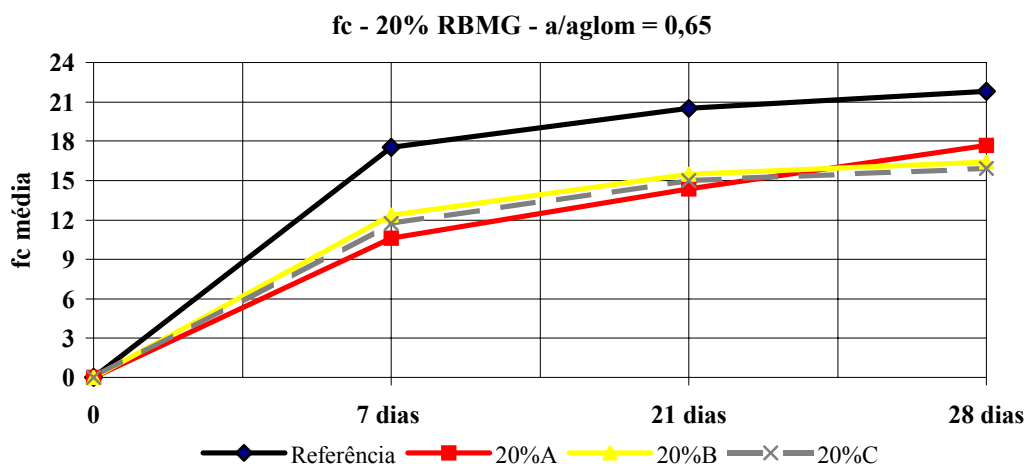


Ilustração 53 – Gráfico da resistência dos concretos com 20% de RBMG e a/aglom de 0,65.

Pelos resultados (Ilustração 52), nota-se que, com o aumento do teor de substituição do resíduo para 20%, as resistências médias dos concretos com RBMG reduziram, em média, 23,61%, em comparação com a resistência do concreto de referência.

6.2.2 Módulo de Deformação

Os resultados do módulo de deformação médio dos concretos com o RBMG, para a relação a/aglom de 0,50, estão apresentados na Ilustração 54.

Relação a/aglom.	Classes do concreto	Módulo de Deformação Ec Médio (GPa)	Coef. de Var. (%)
0,50	Referência	23,63	3,89
	5%A	23,17	8,12
	5%B	22,26	1,84
	5%C	23,55	0,42
	10%A	21,72	1,17
	10%B	21,93	2,77
	10%C	22,36	2,15
	20%A	19,91	4,19
	20%B	15,52	17,13
	20%C	14,56	5,44

Ilustração 54 – Quadro do Módulo de deformação dos concretos com relação a/aglom de 0,50.

Os valores do módulo de deformação médio dos concretos da Ilustração 54 estão plotados no gráfico da Ilustração 55.

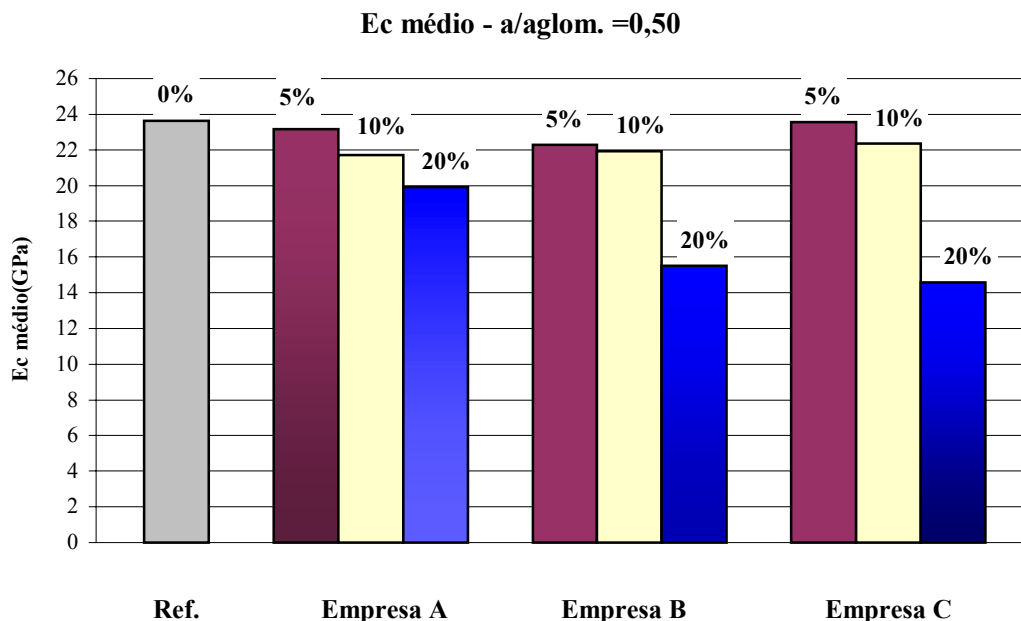


Ilustração 55 – Gráfico do Módulo de Deformação dos concretos (água/aglom= 0,50).

Pode-se observar um comportamento semelhante entre os resultados das diferentes empresas, à medida que se aumentou o teor de substituição do resíduo. Os concretos das empresas com o teor de substituição de 5% do RBMG apresentaram melhor desempenho, com uma redução média do módulo de deformação igual a 2,69%, em comparação ao concreto sem substituição (referência). A empresa C obteve a menor redução do módulo, sendo de apenas 0,34%.

É importante ressaltar o mesmo padrão de comportamento quando se comparam os resultados do módulo de deformação com os resultados da resistência à compressão, uma vez que o módulo de deformação é função da resistência à compressão.

Com a substituição de 10% de RBMG, os concretos das empresas apresentaram uma redução média nos seus módulos de deformações de 6,89% em comparação ao concreto sem substituição. A empresa C obteve melhor desempenho, com uma redução no seu módulo de 5,37%.

Para os concretos com 20% de substituição do RBMG, houve uma redução média no módulo de deformação das empresas de 29,48%, em comparação ao concreto de referência. A empresa A, apresentou menor redução no seu módulo, equivalente a 15,74%.

A Ilustração 56 apresenta resultados do módulo de elasticidade aos 28 dias para os concretos produzidos na relação água/cimento igual a 0,65.

Relação a/aglom.	Classes do concreto	Módulo de Deformação Ec Médio (GPa)	Coef. de Var. (%)
0,65	Referência	17,11	2,98
	5%A	17,80	8,34
	5%B	17,19	4,77
	5%C	16,26	4,09
	10%A	16,85	1,05
	10%B	14,51	1,32
	10%C	15,65	1,54
	20%A	14,28	6,44
	20%B	12,91	11,17
	20%C	13,39	13,52

Ilustração 56 – Quadro do Módulo de deformação dos concretos com relação a/aglom de 0,65.

A Ilustração 57 apresenta os resultados do módulo de deformação dos concretos do quadro da Ilustração 56, em forma de gráfico.

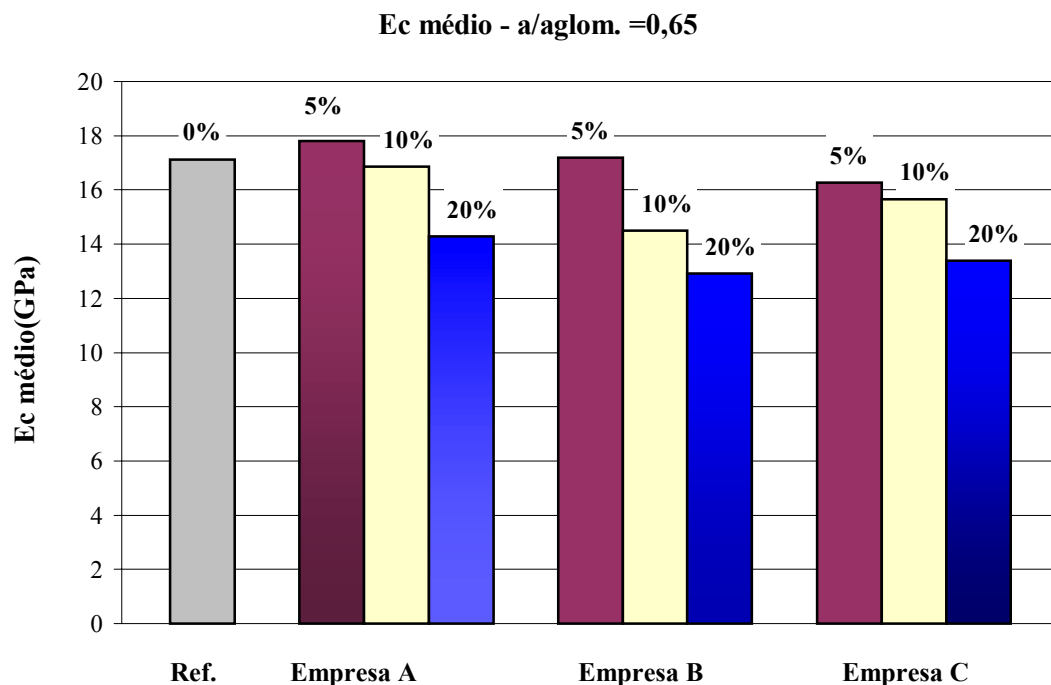


Ilustração 57 – Gráfico dos Resultados do Módulo de deformação dos concretos (a/aglom =0,65).

Os resultados do módulo de deformação para a relação a/aglom igual a 0,65, também mostraram o mesmo padrão de comportamento comparados com a relação a/aglom igual a 0,50, porém com valores inferiores.

Para o teor de 5% de substituição do RBMG, houve um ganho de 4,03% no módulo de deformação da empresa A, em comparação ao concreto convencional (referência). Com 10% de substituição do RBMG, os concretos das empresas obtiveram uma redução média do módulo de deformação de 8,42% em comparação ao concreto sem substituição, sendo que a empresa A obteve a menor redução do módulo, sendo igual a 1,52%.

Para o teor de substituição de 20% do RBMG, os concretos das empresas tiveram uma redução do módulo de deformação de 20,92%, em comparação ao concreto convencional. A empresa A, obteve melhor desempenho, com uma redução de 16,54% em comparação ao módulo do concreto sem substituição.

Assim como na resistência axial à compressão, também ocorreu um decréscimo significativo no módulo de deformação dos concretos das empresas, com teores de substituição de 20% do RBMG.

6.2.3 Absorção por imersão

A Tabela 12 apresenta os resultados das absorções dos concretos, para as relações água/aglom igual a 0,50 e 0,65.

Tabela 12 - Absorção dos concretos.

Teor Subst. do RBMG	Absorção média (%) relação a/aglom.	
	0,50	0,65
0%	5,66	6,91
5%A	6,12	6,89
5%B	6,58	7,00
5%C	5,97	7,04
10%A	6,55	7,53
10%B	6,88	7,39
10%C	6,35	7,78
20%A	6,66	7,40
20%B	6,67	7,68
20%C	6,93	7,73

Os valores da absorção média dos concretos da Tabela 12 estão plotados no gráfico da Ilustração 58.

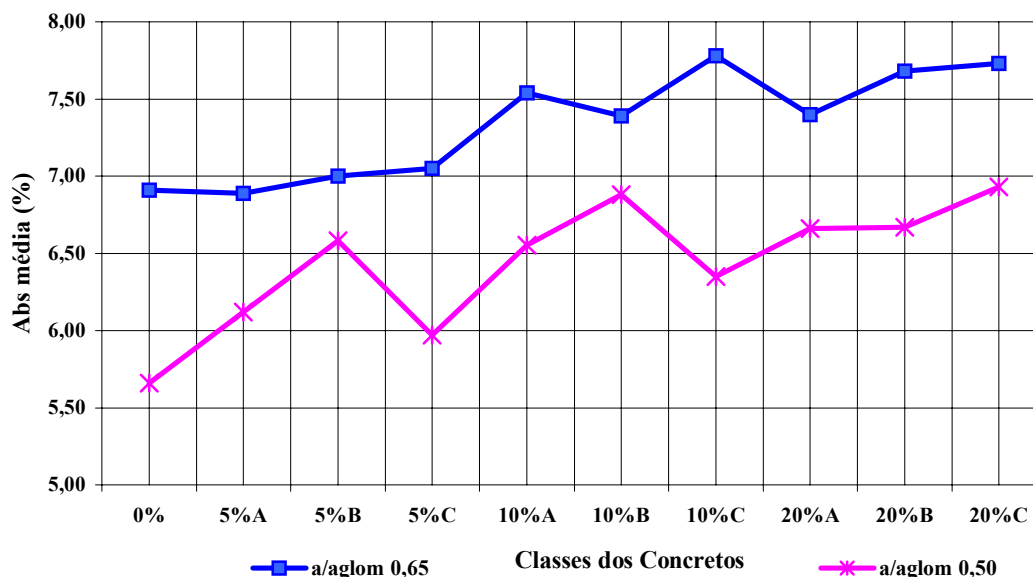


Ilustração 58 – Gráfico dos resultados da absorção média dos concretos.

Para a relação a/aglom igual a 0,50, houve um incremento de 9,95% na média das absorções dos concretos das empresas com 5% de substituição do RBMG, em comparação ao concreto sem substituição. Já para os teores de substituição do RBMG com 10% e 20% , este valor aumentou respectivamente para 16,43% e 19,32%.

Para a relação a/aglom de 0,65, os percentuais de aumento nas absorções dos concretos foram menores, sendo que os aumentos nas absorções médias dos concretos das empresas com os teores de substituição do RBMG, de 5%, 10% e 20% em comparação ao concreto de referência, foram respectivamente iguais a 0,87%, 9,55% e 9,98%.

O teor de substituição de 5% do RBMG apresentou os menores percentuais de absorções em comparação aos teores de 10% e 20%, havendo um aumento na absorção dos concretos, à medida que se aumentou o teor de substituição do RBMG.

Os concretos das empresas com a relação a/aglom igual a 0,50, apresentaram menores percentuais de absorção em comparação aos concretos da relação a/aglom igual a 0,65, isto ocorreu, devido a redução no consumo de cimento.

6.2.4 Índice de vazios

A Tabela 13 mostra os resultados do índice de vazios médios dos concretos, para as relações água/aglom igual a 0,50 e 0,65.

Tabela 13 - Índice de vazios dos concretos.

Teor Subst. do RBMG	Índice de vazios (%) relação a/aglom.	
	0,50	0,65
0%	12,47	15,02
5%A	13,70	14,79
5%B	14,45	15,11
5%C	13,11	15,16
10%A	14,35	15,95
10%B	14,95	15,90
10%C	14,21	16,50
20%A	14,76	15,83
20%B	14,85	16,19
20%C	15,12	16,38

A Ilustração 59 apresenta os resultados do índice de vazios médios dos concretos da Tabela 13, em forma de gráfico.

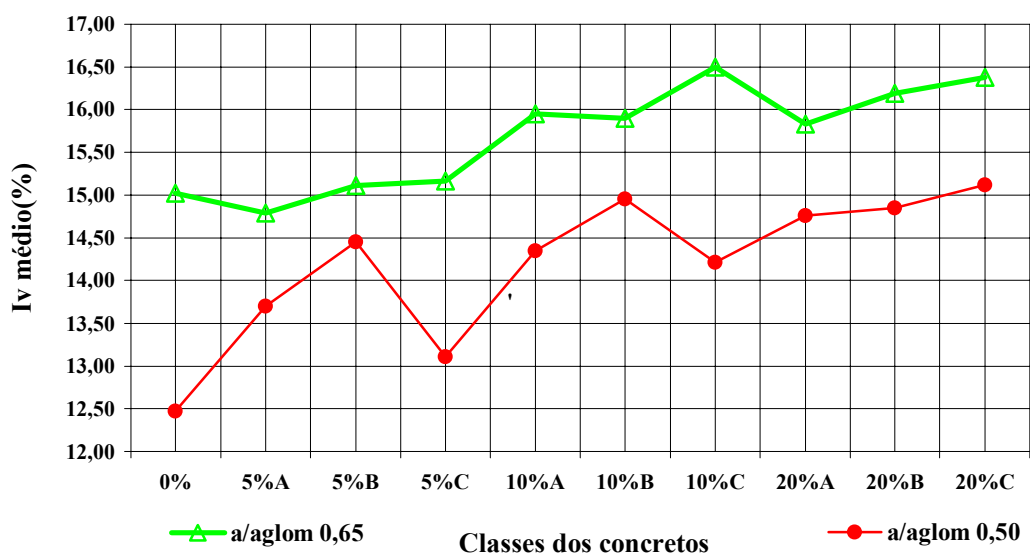


Ilustração 59 – Gráfico dos resultados do índice de vazios médios dos concretos.

Para a relação a/aglom igual a 0,50, o concreto da empresa C com 5% de RBMG, apresentou melhor desempenho, havendo um incremento de 4,88% do seu índice de vazios, em

comparação ao concreto de referência. Os aumentos médios dos índices de vazios dos concretos das empresas em comparação ao concreto sem substituição, para os teores de substituição do RBMG iguais a 5%, 10% e 20%, correspondem respectivamente a 10,26%, 16,28% e 19,57%.

Para a relação a/aglom igual a 0,65, observa-se um aumento do índice de vazios em comparação com os concretos da relação a/aglom igual a 0,50. A empresa A apresentou melhor desempenho, com pequena redução no seu índice de vazios em comparação ao concreto de referência. Isto se deve provavelmente a redução da quantidade de cimento para a relação a/aglom de 0,65, que proporcionou o aumento dos poros no interior do concreto, permitindo que as partículas do RBMG desta empresa, façam o melhor preenchimento da matriz cimentícia

6.3 ANÁLISE ESTÁTISCA DOS RESULTADOS

A análise estatística dos resultados foi feita utilizando-se os seguintes testes:

- Teste t da diferença entre duas médias;
- Análise de variância;
- Teste de Tukey para a comparação entre médias.

Para a realização do teste t , primeiramente é necessário saber se as variâncias das amostras são iguais. Portanto, para se fazer esta verificação, aplica-se o teste F , o qual foi feito no Apêndice A.

Antes da realização dos testes, deve-se estabelecer o nível de significância ou probabilidade adotado. Utilizou-se o nível de significância de $P=5\%$. Assim, espera-se que um valor isolado distoe da média aquém ou além do desvio padrão, 1 vez em cada 20 medições.

Os detalhes da análise realizada encontram-se no anexo A. A seguir são apresentados os resultados obtidos.

6.3.1 Resultado da análise estatística quanto ao Slump dos concretos

A Ilustração 60 apresenta os resultados dos três testes estatísticos realizados para o slump dos concretos, comparando-se os resultados entre o concreto de referência e o das empresas.

Teste		Classes dos Concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
a/agl 0,50	Teste t	S	NS	S	S	NS	NS	S	NS	S
	An variância	NS			S	NS	NS	S	NS	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS
a/agl 0,65	Teste t	S	NS	NS	S	S	NS	S	S	S
	An variância	NS			S	NS	NS	S	NS	NS
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS

NS = Não Significativo; S = Significativo

Ilustração 60 – Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para o slump dos concretos.

Pelos resultados da Ilustração 68, pode-se afirmar que:

- Segundo o teste t, para a relação a/aglom igual a 0,50 (Tabela A.3 do Apêndice A) o RBMG não alterou a consistência dos concretos da empresa B com 5%, 10% e 20%, e da empresa C com 10% de substituição do resíduo. Já para a relação a/aglom igual 0,65 (Tabela A.6), o resíduo não alterou o slump dos concretos das empresas C com 5% e 10% de substituição do RBMG, e também o concreto da empresa B com o teor de substituição igual a 5%.
- A análise da variância mostra que, para a relação a/aglom igual a 0,50 (Ilustração A.4 do Apêndice A), apenas as médias dos concretos da empresa A com 10% e 20% de substituição do RBMG, são estatisticamente diferentes ao nível de significância adotado, logo o efeito do resíduo para essas classes de concreto é significativo. Os resultados com a relação a/aglom igual a 0,65 (Ilustração A.8), seguem a mesma tendência dos resultados da relação a/aglom igual a 0,50.
- Pelo teste de Tukey, observa-se que para a relação a/aglom igual a 0,50 (Ilustração A.7 do Apêndice A), os abatimentos dos concretos das empresas não apresentaram variação significativa em comparação ao concreto de referência, à exceção das comparações entre os concretos de 5%C com 10%A, 5%C com 20%A, e 5%C com 10%C. Os resultados com a relação a/aglom igual a 0,65 (Ilustração A.10), são semelhantes aos resultados obtidos para a

relação a/aglom de 0,50, à exceção dos concretos de referência e 20% A, 5%B e 10%A, 5%B e 20%A (Ilustração A. 10 do Apêndice A), que apresentaram variações significativas.

Apesar de não haver unanimidade de resultados, quando se comparam os diferentes testes, observa-se o predomínio de resultados não significativos para os slumps dos concretos.

6.3.2 Resultado da análise estatística para a resistência à compressão dos concretos

Os resultados dos três testes estatísticos realizados, para as médias da resistência à compressão dos concretos aos 28 dias, estão apresentados na Ilustração 61.

Teste		Classes dos Concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
a/agl 0,50	Teste t	NS	S	NS	S	S	S	S	S	S
	An variância	NS			S	S	S	S	S	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S
a/agl 0,65	Teste t	S	NS	S	S	S	S	S	S	S
	An variância	NS			S	S	S	S	S	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S

Ilustração 61 – Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para a resistência à compressão dos concretos.

De acordo com os resultados da Ilustração 61 tem-se que:

- O teste t mostra que para a relação a/aglom igual a 0,50 (Tabela A.9 do Apêndice A), o RBMG não alterou a resistência dos concretos das empresas A e C com 5% de substituição. Para a relação a/aglom igual 0,65 (Tabela A.12), apenas o concreto da empresa B com 5% de substituição do resíduo não teve a sua resistência alterada.
- O teste da análise da variância apresentou resultado semelhante para as médias das resistências dos concretos em ambas as relações a/aglom, com as médias dos concretos das empresas com de 5% de substituição do RBMG, sendo estatisticamente iguais ao nível de probabilidade especificado

(Ilustrações A . 9 e A .14, do Apêndice A). Portanto o resíduo não possui efeito significativo nessas médias.

- De acordo com o teste de Tukey (Ilustrações A.13 e A.16), observa-se que em ambas as relações a/aglom, os concretos das empresas A, B e C, não tiveram as suas resistências alteradas com o teor de substituição de 5% do RBMG.

No caso desta variável, há o predomínio de resultados não significativos apenas para o teor de 5% de substituição do RBMG.

6.3.3 Resultado da análise estatística do módulo de deformação dos concretos

A Ilustração 62 apresenta os resultados dos três testes estatísticos realizados para o módulo de deformação dos concretos, comparando-se os resultados entre o concreto de referência e o das empresas.

Teste		Classes dos Concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
a/agl 0,50	Teste t	NS	NS	NS	S	S	NS	S	S	S
	An variância	NS			NS	NS	NS	NS	NS	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S
a/agl 0,65	Teste t	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S
	An variância	NS			NS	S	NS	NS	NS	NS
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS

Ilustração 62 – Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para o módulo de deformação dos concretos.

Os resultados da Ilustração 62 mostram que:

- De acordo com o teste t, e para a relação a/aglom igual a 0,50 (Tabela A.15 do Apêndice A), o RBMG não alterou os resultados do módulo de deformação dos concretos das três empresas com 5% de substituição, e da empresa C com 10% de substituição do RBMG. Para a relação a/aglom igual 0,65 (Tabela A.18), observa-se o mesmo padrão de comportamento dos resultados,

verificados para a relação a/aglom igual a 0,50, à exceção dos concretos com 10% de substituição das empresas A e C.

- Pela análise da variância, tem-se que o RBMG alterou apenas a média do módulo de deformação do concreto da empresa C com 20% de substituição e relação a/aglom igual a 0,50 (Ilustração A.17 do Apêndice A). Já para a relação a/aglom igual a 0,65 (Ilustração A.20), apenas o concreto da empresa B com 10% de substituição, teve o seu módulo de deformação alterado.
- Segundo o Teste de Tukey, observa-se que os módulos de deformações dos concretos com 5% e 10% de substituição, em ambas as relações a/aglom (Ilustrações A.19 e A.22 do Apêndice A) não apresentaram variações significativas, não havendo o efeito significativo do resíduo nessas classes de concreto.

Apesar de haver a predominância de resultados significativos apenas para o teor de substituição de 20% do RBMG, deve-se ressaltar que, para esta variável, cada família de concreto foi composta por apenas duas amostras, o que diminui a precisão dos resultados.

6.3.4 Resultado da análise estatística para a absorção por imersão dos concretos

Os resultados do teste t, análise da variância e teste de Tukey, para a absorção por imersão dos concretos, estão apresentados na Ilustração 63.

Teste	Classes dos Concretos									
	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C	
a/agl 0,50	Teste t	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S
	An variância	NS			NS	NS	NS	S	S	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS	S	NS	S	S	S
a/agl 0,65	Teste t	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S
	An variância	NS			S	S	S	S	S	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	S	NS	S	NS	S	S

Ilustração 63 – Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para a absorção por imersão dos concretos.

Com os resultados da Ilustração 63, pode-se observar que:

- Para o teste t, o RBMG não provocou efeito significativo nas médias das absorções dos concretos das empresas com 5% de substituição em ambas as relações a/aglom (Tabelas A.21 e A.24 do Apêndice A).
- Segundo a análise da variância, para a relação a/aglom igual a 0,50 (Ilustração A.23 do Apêndice A), o RBMG provocou variações significativas apenas nas médias das absorções dos concretos das empresas A, B e C, com o teor de substituição de 20%. Os resultados com a relação a/aglom igual a 0,65, são semelhantes da relação a/aglom igual a 0,50 (Ilustração A.26), à exceção dos concretos das empresas A, B e C com 10% de resíduo.
- Pelo teste de Tukey, as absorções dos concretos com 5% de substituição, em ambas as relações a/aglom (Ilustrações A.25 e A.28, do Apêndice A), não apresentaram variações significativas em suas médias.

6.3.5 Resultado da análise estatística do índice de vazios dos concretos

A Ilustração 64 apresenta os resultados dos três testes estatísticos realizados para o índice de vazios dos concretos, comparando-se os resultados entre o concreto de referência e o das empresas.

Teste		Classes dos Concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
a/agl 0,50	Teste t	S	S	NS	S	S	S	S	S	S
	An variância	NS			NS	NS	NS	S	S	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS	S	NS	S	S	S
a/agl 0,65	Teste t	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S
	An variância	NS			NS	NS	NS	NS	NS	S
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	S	S

Ilustração 64 – Quadro dos resultados dos testes da análise estatística para o índice de vazios dos concretos.

Com os resultados da Ilustração 64, pode-se observar que:

- De acordo com o teste t, apenas o concreto da empresa C com 5% de substituição do RBMG e relação água/aglomerante igual a 0,50 (Tabela A.27), não teve o seu índice de vazios alterado. O teor de 5% de substituição do RBMG, não provocou alterações no índice de vazios dos concretos das três empresas, com a relação a/aglom igual a 0,65.
- A análise da variância mostrou que o teor de substituição de 5% do resíduo não teve alteração significativa nos índices de vazios dos concretos, para as duas relações a/aglom. Para a relação a/aglom de 0,65, as médias dos índices de vazios dos concretos, são estatisticamente iguais, à exceção do concreto da empresa C com 20% de resíduo (Ilustrações A.29 e A.32). Portanto o RBMG não provocou efeito significativo no índice de vazios dos concretos com 5% de substituição.
- Pelo teste de Tukey, tem-se que o teor de 5% de substituição do RBMG não alterou os índices de vazios dos concretos, em ambas as relações água/aglomerante (Ilustrações A.31 e A.34).

7 CONCLUSÕES

7.1 COM RELAÇÃO À CARACTERIZAÇÃO DO RBMG

Com relação aos ensaios de caracterização, o RBMG das três empresas possui diâmetro variável, se apresenta na forma cristalina, não apresenta atividade pozolânica, estando estável quimicamente.

A faixa de variação do diâmetro médio do RBMG foi de 7 a 19 μ m, como o diâmetro médio do resíduo é inferior a 50 μ m, ele pode ser considerado um filer, sendo utilizado para contribuir no preenchimento de vazios deixados pelos produtos de hidratação do cimento.

O RBMG da empresa A, apresentou granulometria semelhante a do cimento, isto pode contribuir para um melhoramento da matriz cimentícia, ocorrendo um maior preenchimento dos vazios deixados pelos produtos de hidratação do cimento Portland (efeito micro filer).

O resíduo proveniente de rochas ornamentais é classificado com sendo de classe II B - Inerte, portanto o rejeito pode ser utilizado como material de reciclagem na construção civil, não oferecendo risco ambiental nem à saúde humana.

O resíduo da empresa A, tem diâmetro semelhante ao do cimento, enquanto que os resíduos das demais empresas possuem diâmetros bem superiores. Isto mostra a variabilidade do resíduo de rochas ornamentais com relação a sua composição granulométrica. É importante ressaltar que a literatura sobre o tema afirma que, tanto o RCG como o RBCG, possuem diâmetros inferiores ao do cimento, os resultados mostraram que pode haver variações, com o diâmetro do RBMG, sendo inclusive o dobro do diâmetro do cimento.

7.2 COM RELAÇÃO ÀS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO FRESCO

Os resultados das médias dos slumps dos concretos estão dentro do limite estabelecido durante de dosagem que foi igual a 70 ± 20 mm. Para os teores de substituição de 5% de RBMG, os concretos não apresentaram grandes variações em suas trabalhabilidades,

enquanto que nos teores de substituição de 10% e 20% do RBMG, houve o aumento na coesão dos concretos da empresa A em ambas as relações a/aglom.

O concreto da empresa A, apresentou maior redução de sua trabalhabilidade à medida que houve um aumento no teor de substituição do RBMG, este fato pode ter ocorrido em função da elevada finura do resíduo desta empresa.

Os concretos das empresas B (relação a/aglom=0,65) e C (relação a/aglom=0,50), com 5% de substituição de RBMG, apresentaram maior trabalhabilidade, isto pode estar relacionado ao maior diâmetro das partículas do resíduo destas empresas, em comparação ao diâmetro do cimento utilizado.

Apesar das variações nos slumps dos concretos das empresas com 5% de substituição do RBMG, a análise estatística mostrou que, segundo o teste de Tukey e análise da variância, os resultados obtidos não foram significativos, em ambas as relações a/aglom.

7.3 COM RELAÇÃO ÀS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO ENDURECIDO

7.3.1 Propriedades mecânicas

7.3.1a Resistência à compressão axial

Apesar das variações na granulometria do resíduo, pode-se concluir que, para ambas as relações a/aglom, e para o teor de 5% de substituição do RBMG, não houve variação significativa na resistência à compressão axial dos concretos das empresas.

Pelo fato do RBMG não possuir atividade pozolânica, à medida que aumentou-se o teor de substituição do cimento pelo RBMG, observou-se uma redução nos resultados da resistência à compressão.

Na idade de 28 dias, todos os concretos obtiveram resistência à compressão superior a 15 MPa. Portanto, o concreto com o RBMG atende às especificações da NBR 6118 (ABNT, 2003), quanto a sua utilização em estruturas de fundação.

É importante ressaltar que todos os valores das resistências obtidos com 5%, 10% e 20% de substituição para a relação $a/aglom$ igual a 0,50, e os valores com 5% de substituição do RBMG com a relação $a/aglom$ igual a 0,65, ficaram acima de 20 MPa, que é o valor mínimo especificado pela NBR 6118 (ABNT, 2003), para concretos estruturais.

7.3.1b Módulo de Deformação

Os resultados do módulo de deformação dos concretos apresentaram comportamento semelhante aos resultados determinados para a resistência à compressão axial.

De acordo a análise estatística, o teor de substituição de 5% do RBMG, não provocou efeito significativo por nenhum dos testes analisados, em ambas as relações $a/aglom$.

7.3.2 Propriedades de Durabilidade

7.3.2a Absorção por imersão e Índice de vazios

Os resultados da análise estatística mostraram que as médias dos concretos de referência e dos concretos das empresas com o teor de 5% de substituição do RBMG são estatisticamente iguais. Sendo que o mesmo não ocorreu para os teores de 10% e 20% de substituição.

Os resultados do índice de vazios dos concretos foram semelhantes àqueles encontrados para a absorção dos concretos. Portanto, à medida que se aumentou o teor de substituição do RBMG, houve um aumento no índice de vazios dos concretos das empresas.

7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos nos capítulos 5 e 6, pode-se concluir que:

- Apesar dos teores de sílica (SiO_2), presentes no resíduo, serem superiores a 50%, o RBMG estudado é um material não reativo, sendo considerado um filer, podendo ser utilizado em pequenos teores de substituição (inferiores a 5%) parcial ao cimento;
- O cimento CP II F-32 utilizado na pesquisa, além de apresentar uma porcentagem de material inerte em sua composição, também apresentou perda ao fogo alta (10,45%), o que indica uma menor reatividade desse cimento e uma grande quantidade de material não reativo;
- A utilização do RBMG no teor de substituição de 5%, como substituição parcial ao cimento, é viável tanto tecnicamente, como ambientalmente;
- A utilização do RBMG na construção civil apresenta um duplo ganho ambiental, pois minimiza o impacto da deposição desse resíduo na natureza e reduz o consumo de novos recursos naturais para a fabricação dos materiais.

7.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros citam-se:

- Verificar a influência da substituição do RBMG nos concretos com idades de 63 e 91 dias;
- Estudar o efeito do filer do RBMG como adição mineral ao cimento CP I, repetindo os ensaios mecânicos e de durabilidade nos concretos, para que se possa fazer uma comparação entre os concretos produzidos com o cimento composto exclusivamente com o filer do RBMG e os concretos com o CP II F-32 disponível no mercado.
- Estudar a reação álcali-carbonato, e de outros parâmetros de durabilidade nas pastas de cimento com a substituição do RBMG;
- Verificar a influência da substituição parcial do RBMG na micro-estrutura das pastas de cimento;
- Analisar o custo na utilização do RBMG, como substituição parcial ao cimento;

- Estudar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo pelo RBMG, nas propriedades do concreto;
- Analisar do fenómeno da carbonatação dos concretos produzidos com o RBMG;
- Analisar a influência da forma dos grãos do RBMG na trabalhabilidade dos concretos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Rochas ornamentais no Século XXI: bases para uma política de desenvolvimento sustentável das exportações brasileiras**. Rio de Janeiro. 2001, 159p.

ALVES, J.D. **Materiais de construção**. 6. ed. Goiânia, Editora da Universidade Federal de Goiás, 1987, 363p.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP. 2001.

ÂNGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000.155f. Dissertação (Mestrado) EDUSP, São Paulo, 2000.

ÂNGULO, S.C.; KAHN, H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. **Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição**. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP. 2001.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 46 – Agregados: Determinação de material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 76 – Cimento Portland composto. Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 5739 - Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 1994

_____. **NBR 5751 - Materiais Pozolânicos: índice de atividade pozolânica com a cal**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5752 – Índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 5753 - **Cimento Portland pozolânico: determinação da pozolanicidade**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 6118 – **Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7211 - **Agregados para o concreto**. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 7223 - **Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 8522 – **Determinação do módulo de deformação estática e diagrama – tensão-deformação**. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 9778 - ABNT - **Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro. 2005.

_____. NBR 9776 - ABNT - **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman. Método de Ensaio**. Rio de Janeiro. 1987.

_____. NBR 10.004 - ABNT - **Resíduos Sólidos: classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

_____. NBR 10.005 - ABNT – **Lixiviação de resíduos. Procedimento**. Rio de Janeiro. 1987.

_____. NBR 10.006 - ABNT – **Solubilização de resíduos. Procedimento** Rio de Janeiro. 1987.

_____. NBR 11578 – **Cimento Portland composto. Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 11579 – **Cimento Portland composto. Determinação da Finura por meio da peneira de 75µm (nº200)**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 12653 – **Especificações**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 12826 – **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação do índice de finura por meio do peneirador aerodinâmico**. Rio de Janeiro, 1993.

_____. NBR 13279 - ABNT - **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro. 1985.

BACARJI, E.; GOMES, O. F.; **Notas de Aula, Planejamento e Avaliação do Experimento**. Universidade Federal de Goiás. 2005, 24p.

BASÍLIO, F.A . **Cimento Portland. Estudo Técnico**. 5ª ed. São Paulo, ABCP, 1998.

BRADLEY, F.; **Situazione e tendenze dell' indústria lapídea mondiale**. Marble-Statv 2001: Pisa (Itália): Promorama, 2002. 153p.

CALMON, J.L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÊLLO, F.S.S.; SILVA, S.A. **Reciclagem do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas**. In: I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidade Sustentáveis, Canela RS, nov. -1997, p.18-23.

CALMON, J.L., et al. **Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2., 1997, Salvador. Anais... Salvador, BA: ANTAC, 1997.

CARNEIRO, A. P; BRUM I. A. S.; CASSA, J.C.S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001, 312p.

CENTENO, A.J.; **Curso de estatística aplicada à biologia**. 2ª edição. Editora da UFG. 1999.

CHIODI FILHO, C.; **Consumo interno, perfil de utilização e estrutura de comercialização das rochas no Brasil**. Revista Pedras do Brasil, nº. 25, ano III, p. 36-42, abril/ 2004 (a).

CHIODI FILHO, C.; **O setor de rochas ornamentais e de revestimento**. São Paulo. Associação Brasileira de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS. 24 abr./2006, 12p. Disponível em <<http://www.abirochas.com.br>> Acesso em 15 setembro. 2006.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES E.P.; ARTUR, A.C.; **Panorama técnico-econômico do setor de rochas ornamentais no Brasil**. São Paulo, UNESP, Geociências, v.23 n.1/2 p. 5-20. 2004.

CRUZ, D. F. M; LAMEIRAS, R. M; BARBOZA, A. S. R.; LIMA, L. A. **Estudo das propriedades mecânicas de argamassas produzidas utilizando-se resíduo de corte de mármore e granito**. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP. 2001.

Dal Molin, D. ; **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Ed. G.C. Isaia – São Paulo: IBRACON, 2005. p.345-380.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Compensação financeira pela exploração mineral**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2004. Disponível em: www.dnpm.gov.br.

BAUER, F.; **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1987.

FARIAS, R. F. S; TESUKA, Y. **Corrosão das armaduras do concreto – Mecanismos e Controle**, BT/PCC/69, Departamento de Engenharia Civil, USP, SP, 1992.

FERRAZ, A. L. N.; SEGATINI, A. A. S. **Estudo da aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo-cimento**. In: Holos Environment – Revista Científica do Centro de Estudos Ambientais CEA/UNESP. São Paulo, 2003.

FREIRE, A.S.; MOTTA, J. F. M. **Potencialidades para o aproveitamento econômico de rejeito de serragem de granito**. In: Rochas de Qualidade: Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais, São Paulo, ed. 123, jul./ago., 1995, p. 98-108.

GONÇALVES, J.P.; MOURA, W.A.; MOLIN, D.C. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto**. In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v.2, n.1, p.53-68, jan./mar. 2002.

GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte granito, como adição, em concretos**. 2000 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Núcleo Orientando para Inovação em Edificações, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GRIGOLI, A. S.; HELENE, P. ; **Comportamento das adições minerais inertes em poros e zona de transição em concretos**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Concreto. IBRACON 2001. 14p.

GUIMARÃES, A. T. C; **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Ed. G.C. Isaia – São Paulo: IBRACON, 2005. p.473-494.

INTERNATIONAL CONCIL FOR RESECH AND INOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB). **Agenda 21 para construção sustentável**. Tradução do Relatório CIB. São Paulo: CIB PCC USP, 2000.

JACINTHO, A. E. P. G. A.; GIONGO, J.S.; **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Ed. G.C. Isaia – São Paulo: IBRACON, 2005. p.604-632.

JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos como materiais de construção**. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Salvador: EDURFA, 2001.

JOHN, V. M. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2, 1999, São Paulo: Anais. São Paulo: IBRACON.

JOHN, V. M. **Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos**. In: Workshop sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção, 1996, São Paulo: PCC-USP, Departamento de Engenharia Civil, p. 21 –30.

JOHN, V. M., **Reciclagem de Resíduos Sólidos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento (Tese de livre docência)**. São Paulo: EPUSP. 102p. 2000.

JOHN, V. M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio**. 1995. 200f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995 a.

KATTAR, J. E.; ALMEIDA, N.J.; **Cimento Portland**. 2ª edição. 1998. São Paulo. 41p.

KIHARA, Y. **Contribuição ao estudo de pozolanas no Brasil**. In: XXV Congresso Brasileiro de Cerâmica, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

LAMEIRAS, R.M.; **Estudo do potencial de utilização do resíduo de beneficiamento de chapas de granito como material de construção: aplicação em concreto**. 112 f. 2004. Monografia de graduação. Centro de Tecnologia de Coordenação do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Alagoas.

LAMEIRAS, R.M.; TENÓRIO J.J.L.; LIMA, L.A.; **Avaliação do potencial de utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG) em concretos**. In: Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON set/2005. p. v317-332.

LEAL, G; ALMEIDA, R. **Rochas brasileiras a gosto dos italianos**. In: Exportar & Gerência, ed. 10, jul. /1999, p. 18-24.

LEVY, S. M. **Reciclagem de entulho da construção civil, para utilização como agregado para argamassas e concretos**. São Paulo: 1997, 147f. Dissertação (Mestrado) EPUSP.

LIMA FILHO, V. X., BEZERRA, A. C., SANTOS, F. C., NOGUEIRA, R. E. F. Q., FERNANDES, A. H. M., **Estudo da viabilidade técnica da substituição dos pós cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de peças cerâmicas à baixa pressão**. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Anais. Nov./2000, Natal/RN, (b).

LIMA FILHO, V. X., et al. **Determinação de parâmetros para a racionalização do processamento de rochas graníticas por abrasão**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, São Paulo. Anais. São Paulo, 1999.

LISBOA, E.M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de beneficiamento de mármore e granito e estudo das propriedades mecânicas**. 144f. Dissertação (Mestrado). 2004. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas.

LOPES, J.L. M; BACARJI, E.; PAZINI FIGUEIREDO, E.J., RÊGO, J.H.S.; PEREIRA, A.C.; **Avaliação das propriedades dos concretos com a incorporação de filer do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG)**. In: Anais da Conferência brasileira sobre materiais e tecnologias não-convencionais na construção ecológica e sustentável, Brasil NOCMAT, 2006 – Salvador, Ba.

MASSAZA, F., COSTA, U. **Aspects of the pozzolanic activity and properties of pozzolanic cements**. In: Informal Seminar on Cement Chemistry, Grã-Bretanha, 5 e 6 set/1977, p. 3-18.

MDIC – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Base Alice – exportações; consulta por mercadoria e países**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, 2004. Disponível em: www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br.

MELO, K.A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário**. 2005. 150f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC.

MENEZES, R.R.; FERREIRA, H.S.; NEVES, G. DE A.; FERREIRA H. C. **Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas**. Campina Grande, PB. Universidade Federal da Paraíba Estadual do Norte Fluminense. Cerâmica n 48, p. 92-101. 2002. Disponível em <<http://www.scielo.com.br>> Acesso em 20 set. 2005.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Ed. Pini, 1994, 573p.

MONTANI, C. Stone 2003; **repertório econômico mondiale**. Faenza Editrice, 2003, 237p.

MOURA, W.A.; GONÇALVES, J.P.; LEITE, R.S. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso**. São Paulo, *Sitientibus* – Feira de Santana, 2002, n.26, p. 49-61, jan./jun. 2002.

MOURA, W.A.; GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (Mármore e Granitos) na construção civil**. In: Anais IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, p. 1653-1660, maio. 2002.

MOREIRA, J.M.S; FREIRE M. N.; HOLANDA N.F. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do Estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Cerâmica n 49, p. 262-269. 2003. Disponível em <<http://www.scielo.com.br>> Acesso em 20 set. 2005.

NASCIMENTO, C.; **Verticalizar a produção, o maior desafio do setor em Goiás**. Revista Rochas Ornamentais de Goiás. 7p. Abr./jun. 2006.

NEVES, Gelmires, PATRICIO, S. M. R., FERREIRA, H. C., SILVA, M.C. **Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos**. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais. Florianópolis/SC. Jun./1999.

NEVILLE, A.M.; **Propriedades do concreto**. São Paulo, Ed. Pini, 2º ed., 1997, 828p.

OLIVEIRA, A. M. S; DE BRITO, S. N. A., DE ALMEIDA, F. F. M.; FRASCÁ, M. H. B. O.; SARTORI, P. L. P.; **Geologia de engenharia**. São Paulo, Ed. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, 1ª edição, 1998, p15-38.

PANORAMA DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA BAHIA. **Superintendência de Geologia e Recursos Minerais**; Salvador / Ba, 1994.

PENTALLA, V. **Concrete and sustainable development**. In: ACI Materials Journal. V.94 N°5, Set/Out, 1997, USA, p. 409-416.

PERA, J. **State of the art report – use of waste materials in construction in Western Europe**. In: Workshop sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção, 1996, São Paulo: PCC-USP, Departamento de Engenharia Civil, p. 01 – 20.

PETRUCCI, E. G. R., **Concreto de cimento Portland**. São Paulo, Ed. Globo, 2ª ed., 1973, 277p.

PITTA, MÁRCIO ROCHA; **Materiais para pavimentos de concreto simples**. São Paulo, 5ª ed. ABCP, 1999, 165p.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção – Estudo em argamassas**. São Carlos, 1986. Dissertação (Mestrado), 165p. EESC – USP.

PROPOSAL EUROPEAN COMMUNITY BRITE EURAM PROGRAM (ENBRI). **Development of a framework for environmental assessment of building materials and components**. [s.l.] , 1994.

RIBEIRO, C.C.; PINTO, J.C.S; STARLING, T. ; **Materiais de Construção civil**. 2ª edição. Belo Horizonte. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais. 2002. 101p.

RÊGO, J.H.S.; **As cinzas de Casca de Arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento** – Aspectos da microestrutura das pastas. Tese (Doutorado) 274p. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. 2004.

SILVEIRA, C. S; NETO, B. D. **Cadastro das pedreiras de rochas ornamentais do estado da Bahia**. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. Salvador /Ba, Abr. /1996.

SJÖSTROM. C. **Durability and sustainable use of building materials**. In: LLEWELLYN. J. W.; DAVIES, H. (Ed.). **Sustainable use of materials**. London: BRE/RILEM, 1992.

SOUZA, J.N; RODRIGUES, J.K.G; NETO, P.N.S. **Utilização do resíduo da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos asfálticos usinados a quente**. Ambiente Brasil. 1998. Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br>> Acesso em 14 jun. 2005.

SPÍNOLA, V. **O mercado internacional das rochas ornamentais**. Bahia, 2002. p. 25-40.

VILLASCHI FILHO, A; PINTO, M. M. **Arranjos produtivos das rochas ornamentais e inovação**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, jan. 2000. 30p.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Análise Estatística das Propriedades dos Concretos

1) Resultados da análise estatística das propriedades dos concretos no estado fresco

1.1) Slump para a relação a/aglom igual a 0,50

A Tabela A.1 apresenta as médias, variâncias, desvio padrão e coeficiente de variação, das seis medidas do slump dos concretos de referência e das empresas, para a relação a/aglom igual a 0,50. Tais valores são parâmetros para a realização do teste F.

Tabela A.1-Parâmetros Estatísticos para o Slump dos concretos (a/aglom = 0,50).

Variáveis	Slump (mm)									
	CLASSES DO CONCRETO									
	Ref.	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Média	67,50	63,33	65,00	75,00	60,00	66,67	62,50	59,17	66,67	60,00
Variância	27,50	26,67	40,00	40,00	10,00	36,67	167,50	14,17	156,67	40,00
D.Padrão	5,24	5,16	6,32	6,32	3,16	6,06	12,94	3,76	12,52	6,32
C.Var(%)	7,77	8,15	9,73	8,43	5,27	9,08	20,71	6,36	18,77	10,54

Verificou-se por meio do teste F, as variâncias de cada tratamento, com o traço de referência. O quadro da Ilustração A.1 apresenta os valores de F tabelados ao nível de significância de 5%, que serão comparados ao valor de F calculado (Tabela A.2).

Para um grau de liberdade ($n=N-1=6-1$) igual a cinco, tem-se na Ilustração A.1 o valor de F igual a 7,15.

n denom.	n numerador						
	1	2	3	4	5	6	7
0							
1	648	800	864	900	922	937	948
2	38,5	39	39,2	39,3	39,3	39,4	39,4
3	17,4	16	15,4	15,1	14,9	14,7	14,6
4	12,2	10,6	9,98	9,6	9,36	9,2	9,07
5	10	8,43	7,76	7,39	7,15	6,98	6,85
6	8,81	7,26	6,6	6,23	5,99	5,82	5,7
7	8,07	6,54	5,89	5,52	5,29	5,12	4,99
8	7,57	6,06	5,42	5,05	4,82	4,65	4,53
9	7,21	5,71	5,08	4,72	4,48	4,32	4,2

Ilustração A.1 – Quadro do valor de F tabelado para $P = 5\%$
 Fonte: (SCHEFFÉ (1959) apud BACARJI; GOMES (2005)).

A Tabela A.2 apresenta os resultados calculados do Teste F, para o slump dos concretos com relação água/aglom igual a 0,50.

Tabela A.2 -Determinação do Teste F, do slump dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,50.

Cálculo do Teste F	Classes do concreto								
	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
S_1^2	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500
S_2^2	26,667	40,000	40,000	10,000	46,666	167,500	14,160	156,670	40,000
F calculado	1,03	1,46	1,46	2,75	1,697	6,09	1,94	5,69	1,46
F tabelado	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais

De acordo com os resultados da Tabela A.2, comparando-se as variâncias dos concretos das empresas (S_2^2), com a variância do concreto de referência (S_1^2), todas as variâncias analisadas são iguais, pois o valor de F calculado é inferior ao F tabelado. Portanto pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento, pela realização do Teste t (Tabela A.3).

A Ilustração A.2 apresenta os valores de t tabelados, nos níveis de probabilidade de 10% a 0,1% de probabilidade de P, adotou-se um nível de probabilidade de $P = 5\%$.

Graus de liberdade (n)	Valores de t em níveis de probabilidade				
	10%	5%	2%	1%	0,10%
1	6,31	12,71	31,82	63,66	626,62
2	2,92	4,30	6,97	9,92	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,90	2,36	3,10	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,80	2,23	2,76	3,17	4,59

Ilustração A.2 – Quadro dos Valores de t em níveis de probabilidade.

Fonte: (SHEFFÉ (1959) apud BACARJI; GOMES (2005))

Para um grau de liberdade igual a 10 ($N = n_1 + n_2 - 2 = 6+6-2 = 10$), pela Ilustração A.2, tem-se o valor de t tabelado igual a 2,23. A Tabela A.3 apresenta o cálculo do teste t , e faz uma comparação entre os valores de t tabelados e calculados.

Tabela A.3 - Cálculo do Teste t, do slump dos concretos para a/aglom de 0,50.

Determinação do teste t	Classes dos concretos									
	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C	
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50	137,50
	$\Sigma(xj-x2)^2$	133,33	200,00	200,00	50,00	233,33	837,50	70,83	783,33	200,00
	$N1+N2-2$	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Teste t	$S^2 p$	27,08	33,75	33,75	18,75	37,08	97,50	20,83	92,08	33,75
	x1	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50
	x2	63,33	65,00	75,00	60,00	68,33	62,50	59,17	66,67	60,00
	$(S^2p)^{1/2}$	5,20	5,81	5,81	4,33	6,09	9,87	4,56	9,60	5,81
	$(N1+N2)^{1/2}$	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
t calculado	2,77	1,49	4,47	6,00	0,47	1,75	6,32	0,30	4,47	
t tabelado (5%)	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	
Efeito tratament	S	NS	S	S	NS	NS	S	NS	S	

NS = Não significativo

S= Significativo

Pelos resultados da Tabela A.3, observa-se que, pelo teste t, o RBMG, não alterou a consistência dos concretos da empresa B com 5%, 10% e 20% de substituição do resíduo, e também da empresa C com 10% de RBMG.

A Ilustração A.3 apresenta os valores de F tabelados, para a análise de variância dos resultados de todas as propriedades dos concretos analisadas.

Nº de grau de lib. do denominador	Número de graus de liberdade do numerador					
	1	2	3	4	5	9
1	648	800	864	900	922	963
2	38,50	39,00	39,20	39,20	39,30	39,40
3	17,40	16,00	15,40	15,10	14,90	14,50
4	12,20	10,60	9,98	9,60	9,36	8,90
5	10,00	8,43	7,76	7,39	7,15	6,68
8	7,57	6,06	5,42	5,05	4,82	4,36
10	6,94	5,46	4,83	4,47	4,24	3,78
20	5,87	4,46	3,86	3,51	3,29	2,84
30	5,57	4,18	3,59	3,25	3,03	2,57
40	5,42	4,05	3,46	3,13	2,90	2,45

Ilustração A.3 – Quadro dos Valores de F para P = 5% , segundo o número de graus de liberdade do numerador e do denominador. Fonte: (SHEFFÉ, (1959) apud BACARJI; GOMES (2005)).

O valor de F na Ilustração A.3 depende do tamanho de cada amostra, sendo determinado em função do número de graus de liberdade do numerador, que equivale a K-1 (K= número de tratamentos), e o número de graus de liberdade do denominador, que é igual a n-K (n =quantidade de amostras).

O teste da análise da variância comparou as médias dos concretos das três empresas com 5% de RBMG, e o concreto de referência, e também analisou as médias dos teores de 10% e 20% de substituição do resíduo de cada empresa, com a média do concreto de referência.

Cálculo da Variância	Resultados - slump (a/aglom = 0,50)						
	R e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	24	12	12	12	12	12	12
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	23	11	11	11	11	11	11
resíduo (n-K)	20	10	10	10	10	10	10
(Σx)² Soma	2.640.625,00	585.225,0	664.225,0	608.400,0	577.600,0	648.025	585.225
C=(Σx)²/n	110.026,04	48.768,75	55.352,08	50.700,00	48.133,33	54.002,08	48.769
Σx^2	111.175,00	49.125,00	55.725,00	51.750,00	48.550,00	54.925,00	49.275
SQT=Σx^2-C	1148,96	356,25	372,92	1050,00	416,67	922,92	506
ΣT^2 Soma ou Total	663025,00	293625,00	332125,00	304650,00	290050,00	324.025	293.625
r (repetições)	6	6	6	6	6	6	6
SQTr=(ΣT^2)/r-C	478,13	168,75	2,08	75,00	208,33	2,08	168,75
SQR = SQT-SQTr	670,83	187,50	370,83	975,00	208,33	920,83	337,50
QMTr=SQTr/(K-1)	159,38	168,75	2,08	75,00	208,33	2,08	168,75
QMR= SQR/(n-K)	33,54	18,75	37,08	97,50	20,83	92,08	33,75
Fcalc=QMTr/QMR	4,75	9,00	0,06	0,77	10,00	0,02	5,00
F tabelado	3,86	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
Análise variância	médias iguais	médias difer.	médias iguais	médias iguais	médias difer.	médias iguais	médias iguais

Ilustração A.4 – Quadro da análise da variância do slump dos concretos (a/aglom= 0,50).

De acordo com os resultados da Ilustração A.4, o valor de F tabelado foi superior ao F calculado apenas nos concretos da empresa A com 10% e 20% de substituição do RBMG, portanto estas médias de tratamentos são estatisticamente diferentes, ao nível de significância adotado.

A Ilustração A.5 apresenta os valores da amplitude total estudentizada (q), para a determinação da diferença mínima significante (d.m.s) pelo Teste de Tukey.

Nº de grau de lib. do resíduo	Número de tratamentos (K)					
	2	3	4	5	9	10
1	8	27	32,8	37,1	47,4	49,1
2	6,08	8,33	9,80	10,90	13,50	14,00
3	4,50	5,91	6,82	7,50	9,18	9,46
4	3,93	5,04	5,76	6,29	7,60	7,83
10	3,15	3,88	4,33	4,65	5,46	5,60
20	2,95	3,58	3,96	4,23	4,90	5,01
30	2,89	3,53	3,85	4,10	4,72	4,82
40	2,86	3,49	3,79	4,04	4,63	4,73
60	2,83	3,44	3,74	3,98	4,55	4,65

Ilustração A.5 Quadro dos Valores da amplitude total estudentizada (q) para $\alpha = 5\%$.

Fonte: (SHEFFÉ (1959) apud BACARJI; GOMES (2005)).

O valor de q para o slump dos concretos, é determinado pela interpolação dos valores da Ilustração A.5, sendo que o número de tratamentos é igual a 10 (K), e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-K = 60 - 10$), é igual a 50, logo tem-se como resultado q igual a 4,69.

A Ilustração A.6 apresenta os resultados do Teste de Tukey, para a comparação entre as médias das amostras.

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,69
QMR	57,000
r	6
d.m.s = $q \cdot (QMR/r)^{1/2}$	14,46

Ilustração A.6 – Quadro do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos ($a/aglom = 0,50$).

Os resultados apresentados na Ilustração A.6, mostram que de acordo com o Teste de Tukey, a diferença mínima significativa (d.m.s) entre as médias dos slump dos concretos com relação $a/aglom$ de 0,50, é igual a 14,46.

A Ilustração A.7 mostra a variação significativa entre as médias dos abatimentos dos concretos, para a relação água/aglom igual a 0,50.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	67,50	5%A	63,33	4,17	não
Referência	67,50	5%B	65,00	2,50	não
Referência	67,50	5%C	75,00	7,50	não
Referência	67,50	10%A	60,00	7,50	não
Referência	67,50	10%B	67,50	0,00	não
Referência	67,50	10%C	62,50	5,00	não
Referência	67,50	20%A	59,17	8,33	não
Referência	67,50	20%B	66,67	0,83	não
Referência	67,50	20%C	60,00	7,50	não
5%A	63,33	5%B	65,00	1,67	não
5%A	63,33	5%C	75,00	11,67	não
5%A	63,33	10%A	60,00	3,33	não
5%A	63,33	10%B	67,50	4,17	não
5%A	63,33	10%C	62,50	0,83	não
5%A	63,33	20%A	59,17	4,17	não
5%A	63,33	20%B	66,67	3,33	não
5%A	63,33	20%C	60,00	3,33	não
5%B	65,00	5%C	75,00	10,00	não
5%B	65,00	10%A	60,00	5,00	não
5%B	65,00	10%B	67,50	2,50	não
5%B	65,00	10%C	62,50	2,50	não
5%B	65,00	20%A	59,17	5,83	não
5%B	65,00	20%B	66,67	1,67	não
5%B	65,00	20%C	60,00	5,00	não
5%C	75,00	10%A	60,00	15,00	sim
5%C	75,00	10%B	67,50	7,50	não
5%C	75,00	10%C	62,50	12,50	não
5%C	75,00	20%A	59,17	15,83	sim
5%C	75,00	20%B	66,67	8,33	não
5%C	75,00	20%C	60,00	15,00	sim
10%A	60,00	10%B	67,5000	7,5000	não
10%A	60,00	10%C	62,5000	2,5000	não
10%A	60,00	20%A	59,1667	0,8333	não
10%A	60,00	20%B	66,6667	6,6667	não
10%A	60,00	20%C	60,00	0,00	não
10%B	67,50	10%C	62,50	5,00	não
10%B	67,50	20%A	59,17	8,33	não
10%B	67,50	20%B	66,67	0,83	não
10%B	67,50	20%C	60,00	7,50	não
10%C	62,50	20%A	59,17	3,33	não
10%C	62,50	20%B	66,67	4,17	não
10%C	62,50	20%C	60,00	2,50	não
20%A	59,17	20%B	66,67	7,50	não
20%A	59,17	20%C	60,00	0,83	não
20%B	66,67	20%C	60,00	6,67	não

Ilustração A.7 Quadro da comparação entre as médias do slump dos concretos (a/aglom = 0,50).

Comparando-se os resultados apresentados da Ilustração A.7, pode-se afirmar que, segundo o teste de Tukey, não houve variações significativas entre as médias dos concretos, à exceção das comparações entre os concretos de 5%C com 10%A, 5%C com 20%A e 5%C com 10%C.

1.2) Slump dos concretos para a relação a/aglom igual a 0,65

A Tabela A.4 apresenta os valores das médias, variâncias, desvio padrão e coeficiente de variação, das seis medidas do slump dos concretos de referência e das empresas, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Tabela A.4-Parâmetros Estatísticos para o Slump dos concretos (a/aglom igual 0,65).

Variáveis	Slump (mm)									
	CLASSES DO CONCRETO									
	Ref.	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Média	80,00	72,50	82,50	75,00	65,83	71,67	75,83	63,33	70,83	75,00
Variância	70,00	87,50	77,50	80,00	34,17	106,67	34,17	36,67	34,17	100,00
D.Padrão	8,37	9,35	8,80	8,94	5,85	10,33	5,85	6,06	5,85	10,00
C.Var(%)	10,46	12,90	10,67	11,93	8,88	14,41	7,71	9,56	8,25	13,33

Os valores de F calculados, que serão comparados ao valor de F tabelado, estão apresentados na Tabela A.5. O valor de F tabelado é o mesmo utilizado no slump dos concretos com relação a/aglom igual a 0,50.

Tabela A.5 -Determinação do Teste F, do slump dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Cálculo do Teste F	Classes do concreto								
	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
S_1^2	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000	70,000
S_2^2	87,500	77,500	80,000	34,167	106,667	34,167	36,667	34,167	100,000
F calculado	1,25	1,11	1,14	2,05	1,52	2,05	1,91	2,05	1,43
F tabelado	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas (Tabela A.5), foram inferiores ao F tabelado, logo as variâncias das amostras são iguais a variância do concreto de referência (S_1^2).

Portanto pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento, pela realização do Teste t (Tabela A.6).

Tabela A.6 - Cálculo do Teste t, para o slump dos concretos (a/aglom igual a 0,65).

Determinação do teste t		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
	$\Sigma(xj-x2)^2$	437,50	387,50	400,00	170,83	533,33	170,83	183,33	170,83	500,00
	$N1+N2-2$	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	$S^2 p$	78,75	73,75	75,00	52,08	88,33	52,08	53,33	52,08	85,00
Teste t	$x1$	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	$x2$	72,50	82,50	75,00	65,83	71,67	75,83	63,33	70,83	75,00
	$(S^2p)^{1/2}$	8,87	8,59	8,66	7,22	9,40	7,22	7,30	7,22	9,22
	$(N1+N2)^{1/2}$	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
	t calculado	2,93	1,01	2,00	6,80	3,07	2,00	7,91	4,40	1,88
t tabelado(P = 5%)		2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23
Efeito tratamento		S	NS	NS	S	S	NS	S	S	S

NS = Não significativo

S= Significativo

A ilustração A.8 mostra os resultados da análise da variância dos concretos.

Cálculo da Variância	Resultados - Slump(a/aglom = 0,65)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	24	12	12	12	12	12	12
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	23	11	11	11	11	11	11
resíduo (n-K)	20	10	10	10	10	10	10
$(\Sigma x)^2$ Soma	3.459.600,00	765.625,00	828.100,0	874.225,0	739.600,0	819.025,0	864.900
$C=(\Sigma x)^2/n$	144.150,00	63.802,08	69.008,33	72.852,08	61.633,33	68.252,08	72.075
Σx^2	146.100,00	64.925,00	70.100,00	73.425,00	63.000,00	69.025,00	73.000
$SQT=\Sigma x^2-C$	1950,00	1122,92	1091,67	572,92	1366,67	772,92	925
ΣT^2 Soma ou Total	867150,00	386425,00	415300,00	437425,00	374800,00	411.025,0	432.900
r (repetições)	6	6	6	6	6	6	6
$SQTr=(\Sigma T^2)/r-C$	375,00	602,08	208,33	52,08	833,33	252,08	75,00
$SQR = SQT-SQTr$	1575,00	520,83	883,33	520,83	533,33	520,83	850,00
$QMTr=SQTr/(K-1)$	125,00	602,08	208,33	52,08	833,33	252,08	75,00
$QMR= SQR/(n-K)$	78,75	52,08	88,33	52,08	53,33	52,08	85,00
$Fcalc=QMTr/QMR$	1,59	11,56	2,36	1,00	15,62	4,84	0,88
F tabelado	3,86	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
Análise variância	médias iguais	médias difer.	médias iguais	médias iguais	médias difer.	médias iguais	médias iguais

Ilustração A.8 – Quadro dos resultados variância do slump dos concretos (a/aglom= 0,65).

De acordo com os resultados do teste t (Tabela A.6), o RBMG não alterou a consistência dos concretos das empresas C com 5% e 10% de substituição do resíduo, e também o concreto da empresa B com o teor de substituição igual a 5%.

Os resultados da análise da variância (Ilustração A.8) com relação a/aglom igual a 0,65, seguem a mesma tendência dos resultados com relação a/aglom igual a 0,50. Tendo o valor do F tabelado superior ao F calculado, para o slump do concreto da empresa A, nos teores de substituição do resíduo de 10% e 20%.

A Ilustração A.9 apresenta os resultados do Teste de Tukey, para a comparação entre as médias das amostras dos slump dos concretos para a relação a/aglom igual a 0,65.

O valor da amplitude total estudentizada (q), é o mesmo utilizado no slump da relação água/aglom igual a 0,50. A diferença mínima significativa (d.m.s) entre as médias do slump para a relação a/aglom de 0,65, é igual a 15,56.

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,69
QMR	66,083
r	6
d.m.s = $q \cdot (QMR/r)^{1/2}$	15,56

Ilustração A.9 – Quadro do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos (a/aglom = 0,65).

A Ilustração A.10 mostra a diferença entre as médias do slump dos concretos, para a relação água/aglom igual a 0,65.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	80,00	5%A	72,50	7,50	não
Referência	80,00	5%B	82,50	2,50	não
Referência	80,00	5%C	75,00	5,00	não
Referência	80,00	10%A	65,83	14,17	não
Referência	80,00	10%B	71,67	8,33	não
Referência	80,00	10%C	75,83	4,17	não
Referência	80,00	20%A	63,33	16,67	sim
Referência	80,00	20%B	70,83	9,17	não
Referência	80,00	20%C	75,00	5,00	não
5%A	72,50	5%B	82,50	10,00	não
5%A	72,50	5%C	75,00	2,50	não
5%A	72,50	10%A	65,83	6,67	não
5%A	72,50	10%B	71,67	0,83	não
5%A	72,50	10%C	75,83	3,33	não
5%A	72,50	20%A	63,33	9,17	não
5%A	72,50	20%B	70,83	1,67	não
5%A	72,50	20%C	75,00	2,50	não
5%B	82,50	5%C	75,00	7,50	não
5%B	82,50	10%A	65,83	16,67	sim
5%B	82,50	20%A	63,33	19,17	sim
5%B	82,50	20%B	70,83	11,67	não
5%B	82,50	20%C	75,00	7,50	não
5%C	75,00	10%A	65,83	9,17	não
5%C	75,00	10%B	71,67	3,33	não
5%C	75,00	10%C	75,83	0,83	não
5%C	75,00	20%A	63,33	11,67	não
5%C	75,00	20%B	70,83	4,17	não
5%C	75,00	20%C	75,00	0,00	não
10%A	65,83	10%B	71,67	5,83	não
10%A	65,83	10%C	75,83	10,00	não
10%A	65,83	20%A	63,33	2,50	não
10%A	65,83	20%B	70,83	5,00	não
10%A	65,83	20%C	75,00	9,17	não
10%B	71,67	10%C	75,83	4,17	não
10%B	71,67	20%A	63,33	8,33	não
10%B	71,67	20%B	70,83	0,83	não
10%B	71,67	20%C	75,00	3,33	não
10%C	75,83	20%A	63,33	12,50	não
10%C	75,83	20%B	70,83	5,00	não
10%C	75,83	20%C	75,00	0,83	não
20%A	63,33	20%B	70,83	7,50	não
20%A	63,33	20%C	75,00	11,67	não
20%B	70,83	20%C	75,00	4,17	não

Ilustração A.10 – Quadro da comparação entre as médias do slump dos concretos (a/aglom = 0,65).

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas (Tabela A.8), foram inferiores ao F tabelado, logo as variâncias das amostras são iguais. Com isso pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento, pela realização do Teste *t*.

Para um grau de liberdade igual a quatro ($N = n_1 + n_2 - 2 = 3+3-2 = 4$), pela Ilustração A.2 (apresentada no item 1.1), tem-se o valor de *t* tabelado, para a resistência à compressão dos concretos, igual a 2,78.

A Tabela A.9 apresenta os resultados do Teste *t*, para a resistência à compressão dos concretos das empresas, com a relação a/aglom de 0,50.

Tabela A.9 - Cálculo do Teste *t* da resistência dos concretos aos 28 dias(a/aglom 0,50).

Determinação do teste <i>t</i>		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	$\Sigma(xj-x2)^2$	1,40	0,52	1,83	1,26	3,87	13,26	1,46	0,66	0,72
	$N1+N2-2$	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	$S^2 p$	0,45	0,23	0,56	0,42	1,07	3,42	0,47	0,27	0,28
Teste <i>t</i>	$x1$	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72
	$x2$	32,38	31,66	32,55	30,05	27,08	26,57	21,48	23,05	23,00
	$(S^2p)^{1/2}$	0,67	0,48	0,75	0,64	1,03	1,85	0,68	0,51	0,53
	$(N1+N2)^{1/2}$	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
	<i>t</i> calculado	1,24	5,42	0,56	10,13	13,37	8,15	40,33	46,01	45,03
<i>t</i> tab(P = 5%)	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	
Efeito tratamento	NS	S	NS	S	S	S	S	S	S	

NS = Não significativo

S= Significativo

Observa-se que, segundo este teste, o RBMG não alterou a consistência dos concretos das empresas A e C com 5% de substituição do RBMG.

Para a determinação da análise de variância da resistência à compressão dos concretos, foi feita a comparação das resistências entre o concreto de referência e das três empresas com 5% de substituição do RBMG. Para os teores de 10% e 20%, analisou-se as resistências entre o concreto de cada empresa e o de referência.

A ilustração A.11 mostra os resultados da análise da variância da resistência à compressão dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,50.

Cálculo da Variância	Resultados da Resistência à compressão (a/aglom = 0,50)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	12	6	6	6	6	6	6
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	11	5	5	5	5	5	5
resíduo (n-K)	8	4	4	4	4	4	4
(Σx)² Soma	150.458,65	35.456,89	32.177,18	31.634,18	26.432,26	27.985,94	27.942
C=(Σx)²/n	12.538,22	5.909,48	5.362,86	5.272,36	4.405,38	4.664,32	4.657
Σx^2	12.544,32	5.921,81	5.414,85	5.342,70	4.596,75	4.805,65	4.800
SQT=Σx^2-C	6,10	12,33	51,99	70,33	191,37	141,32	143
ΣT^2 Soma ou Total	37620,53	17760,45	16231,74	15987,11	13784,65	14.413,76	14.396
r (repetições)	3	3	3	3	3	3	3
SQTr=(ΣT^2)/r-C	1,96	10,67	47,71	56,67	189,51	140,26	141,52
SQR = SQT-SQTr	4,15	1,66	4,27	13,66	1,86	1,06	1,12
QMTr=SQTr/(K-1)	0,65	10,67	47,71	56,67	189,51	140,26	141,52
QMR= SQR/(n-K)	0,52	0,42	1,07	3,42	0,47	0,27	0,28
Fcalc=QMTr/QMR	1,26	25,66	44,69	16,59	406,72	529,23	506,83
F tabelado	5,42	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20
Análise variância	médias iguais	médias difer.	médias difer.	médias difer.	médias difer.	médias difer.	médias difer.

Ilustração A.11 – Quadro da análise da variância das resistências dos concretos (a/aglom=0,50).

De acordo com os resultados da Ilustração A.11, o valor do F calculado foi inferior ao F tabelado, apenas para os concretos das empresas com 5% de substituição, conclui-se que estas médias são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

Para o teste de Tukey, o valor da amplitude total estudentizada (q), é determinado pela Ilustração A.5 (apresentado no item 1.1), sendo que o número de tratamentos é igual a 10 (K), e o número de graus de liberdade do resíduo (n-K = 30-10), é igual a 20, tem-se o valor de q tabelado igual a 5,01.

A Ilustração A.12 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s) do teste de Tukey, para a análise das médias da resistência à compressão dos concretos para a relação a/aglom de 0,50.

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,01
QMR	1,270
r	3
d.ms=q.(QMR/r)^{1/2}	3,26

Ilustração A.12 – Quadro do Teste de Tukey das resistências dos concretos (a/aglom = 0,50).

A Ilustração 13 mostra as diferenças entre as médias das resistências.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa?
Referência	32,72	5%A	32,38	0,34	não
Referência	32,72	5%B	31,66	1,06	não
Referência	32,72	5%C	32,55	0,17	não
Referência	32,72	10%A	30,05	2,67	sim
Referência	32,72	10%B	27,08	5,64	sim
Referência	32,72	10%C	26,57	6,15	sim
Referência	32,72	20%A	21,48	11,24	sim
Referência	32,72	20%B	23,05	9,67	sim
Referência	32,72	20%C	23,00	9,71	sim
5%A	32,38	5%B	31,66	0,72	não
5%A	32,38	5%C	32,55	0,17	não
5%A	32,38	10%A	30,05	2,33	sim
5%A	32,38	10%B	27,08	5,30	sim
5%A	32,38	10%C	26,57	5,81	sim
5%A	32,38	20%A	21,48	10,90	sim
5%A	32,38	20%B	23,05	9,33	sim
5%A	32,38	20%C	23,00	9,37	sim
5%B	31,66	5%C	32,55	0,89	não
5%B	31,66	10%A	30,05	1,61	sim
5%B	31,66	10%B	27,08	4,58	sim
5%B	31,66	10%C	26,57	5,09	sim
5%B	31,66	20%A	21,48	10,18	sim
5%B	31,66	20%B	23,05	8,61	sim
5%B	31,66	20%C	23,00	8,65	sim
5%C	32,55	10%A	30,05	2,50	sim
5%C	32,55	10%B	27,08	5,47	sim
5%C	32,55	10%C	26,57	5,98	sim
5%C	32,55	20%A	21,48	11,07	sim
5%C	32,55	20%B	23,05	9,50	sim
5%C	32,55	20%C	23,00	9,54	sim
10%A	30,05	10%B	27,08	2,97	não
10%A	30,05	10%C	26,57	3,48	sim
10%A	30,05	20%A	21,48	8,57	sim
10%A	30,05	20%B	23,05	7,00	sim
10%A	30,05	20%C	23,00	7,05	sim
10%B	27,08	20%A	21,48	5,60	sim
10%B	27,08	20%B	23,05	4,03	sim
10%B	27,08	20%C	23,00	4,07	sim
10%C	26,57	20%A	21,48	5,09	sim
10%C	26,57	20%B	23,05	3,52	sim
10%C	26,57	20%C	23,00	3,57	sim
20%A	21,48	20%B	23,05	1,57	não
20%A	21,48	20%C	23,00	1,53	não
20%B	23,05	20%C	23,00	0,04	não

Ilustração A.13 – Quadro da comparação entre as médias das resistências (a/aglom =0,50).

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas (Tabela A.11), foram inferiores ao F tabelado, logo as variâncias das amostras são iguais. Com isso pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento, pela realização do Teste *t*.

A Tabela A.12 apresenta os resultados do Teste *t*, para a resistência à compressão dos concretos das empresas para a relação a/aglom de 0,65.

Tabela A.12 - Cálculo do Teste *t*, para a resistência dos concretos (a/aglom 0,65).

Determinação do teste <i>t</i>		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var.Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147
	$\Sigma (xj-x2)^2$	0,565	1,181	0,273	0,334	1,758	5,383	0,010	0,296	0,510
	$N1+N2-2$	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	$S^2 p$	0,178	0,332	0,105	0,120	0,476	1,382	0,039	0,111	0,164
Testet	$x1$	21,780	21,780	21,780	21,780	21,780	21,780	21,780	21,780	21,780
	$x2$	22,367	21,817	20,417	19,523	18,250	18,373	17,650	16,423	15,917
	$(S^2p)^{1/2}$	0,422	0,576	0,324	0,347	0,690	1,176	0,198	0,333	0,405
	$(N1+N2)^{1/2}$	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449
	tcalculado	3,41	0,16	10,31	15,95	12,53	7,10	51,19	39,42	35,45
t tabelado(P = 5%)		2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
Efeito tratamento		S	NS	S	S	S	S	S	S	S

NS = Não significativo

S= Significativo

Segundo o teste *t*, o RBMG, não alterou a resistência do concreto, apenas da empresa B com 5% de substituição.

A Ilustração A.14 apresenta os resultados da análise da variância das resistências dos concretos para a relação água/aglom igual a 0,65.

Cálculo da Variância	Resultados da Resistência à compressão (a/aglom = 0,65)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	12	6	6	6	6	6	6
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	11	5	5	5	5	5	5
resíduo (n-K)	8	4	4	4	4	4	4
(Σx) ² Soma	67.153,54	15.353,69	14.421,61	14.510,61	13.992,52	13.135,45	12.789
C=(Σx) ² /n	5.596,13	2.558,95	2.403,60	2.418,44	2.332,09	2.189,24	2.132
Σx^2	5.604,50	2.567,07	2.424,20	2.441,37	2.357,83	2.232,73	2.184
SQT= Σx^2 -C	8,37	8,12	20,60	22,94	25,74	43,48	52
ΣT^2 Soma ou Total	16806,99	7699,76	7266,88	7307,53	7073,02	6.696,85	6.549
r (repetições)	3	3	3	3	3	3	3
SQTr= (ST ²)/r-C	6,20	7,64	18,69	17,41	25,59	43,04	51,57
SQR = SQT-SQTr	2,17	0,48	1,90	5,53	0,16	0,44	0,66
QMTr=SQTr/(K-1)	2,07	7,64	18,69	17,41	25,59	43,04	51,57
QMR= SQR/(n-K)	0,27	0,12	0,48	1,38	0,04	0,11	0,16
Fcalc=QMTr/QMR	7,64	63,59	39,26	12,59	655,19	388,57	314,12
F tabelado	5,42	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20
Análise da Variância	médias	médias	médias	médias	médias	médias	médias
	iguais	difer.	difer.	difer.	difer.	difer.	difer.

Ilustração A.14 – Quadro da análise da variância das resistências dos concretos (a/aglom=0,65).

Os resultados do teste da análise da variância da resistência à compressão dos concretos para a relação a/aglom igual a 0,65, são semelhantes aos resultados da relação a/aglom igual a 0,50. Com os concretos das três empresas, com 5% de substituição do RBMG, tendo o valor de F calculado inferior ao F tabelado, portanto as médias de tratamento são estatisticamente iguais, ao nível de significância adotado.

A Ilustração A.15 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s) do teste de Tukey, para a análise das médias da resistência à compressão dos concretos para a relação a/aglom de 0,65.

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,01
QMR	0,523
r	3
d.ms=q.(QMR/r)^{1/2}	2,09

Ilustração A.15 – Quadro do Teste de Tukey das resistências dos concretos (a/aglom=0,65).

Os resultados apresentados na Ilustração A.15, mostram que a diferença mínima significativa (d.m.s) entre as médias da resistência á compressão dos concretos, é igual a 2,09.

A Ilustração A.16 apresenta os resultados da resistência à compressão de todas as classes de concreto com relação a/aglom igual a 0,65 estudadas.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	21,78	5%A	22,37	0,59	não
Referência	21,78	5%B	21,82	0,04	não
Referência	21,78	5%C	20,42	1,36	não
Referência	21,78	10%A	19,52	2,26	sim
Referência	21,78	10%B	18,25	3,53	sim
Referência	21,78	10%C	18,37	3,41	sim
Referência	21,78	20%A	17,65	4,13	sim
Referência	21,78	20%B	16,42	5,36	sim
Referência	21,78	20%C	15,92	5,86	sim
5%A	22,37	5%B	21,82	0,55	não
5%A	22,37	5%C	20,42	1,95	não
5%A	22,37	10%A	19,52	2,84	sim
5%A	22,37	10%B	18,25	4,12	sim
5%A	22,37	10%C	18,37	3,99	sim
5%A	22,37	20%A	17,65	4,72	sim
5%A	22,37	20%B	16,42	5,94	sim
5%A	22,37	20%C	15,92	6,45	sim
5%B	21,82	5%C	20,42	1,40	não
5%B	21,82	10%A	19,52	2,29	sim
5%B	21,82	10%B	18,25	3,57	sim
5%B	21,82	10%C	18,37	3,44	sim
5%B	21,82	20%A	17,65	4,17	sim
5%B	21,82	20%B	16,42	5,39	sim
5%B	21,82	20%C	15,92	5,90	sim
5%C	20,42	10%A	19,52	0,89	não
5%C	20,42	10%B	18,25	2,17	sim
5%C	20,42	10%C	18,37	2,04	não
5%C	20,42	20%A	17,65	2,77	sim
5%C	20,42	20%B	16,42	3,99	sim
5%C	20,42	20%C	15,92	4,50	sim
10%A	19,52	10%B	18,25	1,27	não
10%A	19,52	10%C	18,37	1,15	não
10%A	19,52	20%A	17,65	1,87	não
10%A	19,52	20%B	16,42	3,10	sim
10%A	19,52	20%C	15,92	3,61	sim
10%B	18,25	10%C	18,37	0,12	não
10%B	18,25	20%A	17,65	0,60	não
10%B	18,25	20%B	16,42	1,83	não
10%B	18,25	20%C	15,92	2,33	sim
10%C	18,37	20%A	17,65	0,72	não
10%C	18,37	20%B	16,42	1,95	não
10%C	18,37	20%C	15,92	2,46	sim
20%A	17,65	20%B	16,42	1,23	não
20%A	17,65	20%C	15,92	1,73	não
20%B	16,42	20%C	15,92	0,51	não

Ilustração A.16- Quadro da comparação entre as médias das resistências dos concretos (a/aglom=0,65).

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas (Tabela A.14), foram inferiores ao F tabelado, as variâncias das amostras são iguais.

Como o teste F, mostrou que as variâncias dos módulos de deformações entre os concretos das empresas e o de referência são iguais, então realizou-se o Teste t.

Com um grau de liberdade igual a dois ($N = n_1 + n_2 - 2 = 2+2-2 = 2$), pela Ilustração A.2 (apresentada no item 1.1), tem-se o valor de t tabelado, para o módulo de deformação dos concretos, igual a 4,30.

A Tabela A.15 apresenta os resultados do Teste t, para o módulo de deformação dos concretos das empresas.

Tabela A.15 - Teste t para o módulo de deformação dos concretos (a/aglom 0,50).

Determinação do teste t		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var.Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845
	$\Sigma(xj-x2)^2$	3,538	0,168	0,010	0,065	0,370	0,231	0,696	7,069	0,627
	$N1+N2-2$	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	$S^2 p$	1,096	0,507	0,427	0,455	0,607	0,538	0,771	3,957	0,736
Teste t	x1	23,630	23,630	23,630	23,630	23,630	23,630	23,630	23,630	23,630
	x2	23,170	22,260	23,550	21,720	21,930	22,360	19,910	15,520	14,560
	$(S^2p)^{1/2}$	1,047	0,712	0,654	0,674	0,779	0,734	0,878	1,989	0,858
	$(N1+N2)^{1/2}$	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	t calculado	0,88	3,85	0,24	5,66	4,36	4,24	10,38	8,15	21,14
t tabelado(P=5%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	
Efeito tratamento	NS	NS	NS	S	S	NS	S	S	S	

NS = Não significativo

S= Significativo

De acordo com os resultados da Tabela A.15, observa-se que segundo o teste t, o RBMG não alterou os resultados do módulo de deformação dos concretos das empresas A, B e C com 5% de substituição, e da empresa C com 10% de substituição do RBMG.

O teste da análise da variância foi feito analisando-se as médias dos módulos de deformações dos concretos das três empresas com 5% de RBMG, e o concreto de referência. Já com os teores de 10% e 20% de substituição analisou-se a variância de cada empresa com o concreto de referência.

A ilustração A.17 mostra os resultados da análise da variância do módulo de deformação dos concretos, com a relação a/aglom igual a 0,50.

Cálculo variância	Resultados do Módulo de deformação (a/aglom = 0,50)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	8	4	4	4	4	4	4
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	7	3	3	3	3	3	3
resíduo (n-K)	4	2	2	2	2	2	2
$(\sum x)^2$ Soma	34.306,45	8.281,00	8.302,85	8.460,32	7.582,93	6.130,89	5.834
$C=(\sum x)^2/n$	4.288,31	2.070,25	2.075,71	2.115,08	1.895,73	1.532,72	1.458
$\sum x^2$	4.295,23	2.074,19	2.079,82	2.117,77	1.911,11	1.606,41	1.542
$SQT=\sum x^2-C$	6,93	3,94	4,10	2,69	15,38	73,69	84
ΣT^2 Soma ou Total	8581,34	4146,70	4157,21	4233,39	3819,14	3.196,99	3.081
r (repetições)	2	2	2	2	2	2	2
$SQTr=(\Sigma T^2)/r-C$	2,37	3,10	2,89	1,61	13,84	65,77	82,26
$SQR = SQT-SQTr$	4,56	0,85	1,21	1,08	1,54	7,91	1,47
$QMTr=SQTr/(K-1)$	0,79	3,10	2,89	1,61	13,84	65,77	82,26
$QMR= SQR/(n-K)$	1,14	0,42	0,61	0,54	0,77	3,96	0,74
$F_{calc}=QMTr/QMR$	0,69	7,32	4,76	3,00	17,96	16,62	111,76
F tabelado	9,98	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50
Análise da variância	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais

Ilustração A.17 – Quadro da análise variância do módulo dos concretos (a/aglo=0,50).

De acordo com os resultados da Ilustração A.17, com exceção do concreto da empresa C com 20% de RBMG, todas as outras médias dos módulos de deformação analisadas, são estatisticamente iguais, ao nível de probabilidade adotado.

Para o teste de Tukey, o valor de q tabelado para o módulo de deformação dos concretos, é determinado pela Ilustração A.5 (apresentado no item 1.1), sendo que o número de tratamentos é igual a dez (K), e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-K = 20-10$), é igual a 20, logo tem-se o valor de q tabelado igual a 5,60.

A Ilustração A.18 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s), pelo Teste de Tukey, entre as médias dos módulos de deformações dos concretos (a/aglom = 0,50).

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,60
QMR	1,362
r	2
$d.m.s= q.(QMR/r)^{1/2}$	4,62

Ilustração A.18 – Quadro do Teste de Tukey do módulo dos concretos (a/aglom=0,50).

A Ilustração A.19 mostra as diferenças entre as médias dos módulos de deformações dos concretos analisados para a relação a/aglom igual a 0,50.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa ?
Referência	23,63	5%A	23,17	0,46	não
Referência	23,63	5%B	22,26	1,37	não
Referência	23,63	5%C	23,55	0,08	não
Referência	23,63	10%A	21,72	1,91	não
Referência	23,63	10%B	21,93	1,70	não
Referência	23,63	10%C	22,36	1,27	não
Referência	23,63	20%A	19,91	3,72	não
Referência	23,63	20%B	15,52	8,11	sim
Referência	23,63	20%C	14,56	9,07	sim
5%A	23,17	5%B	22,26	0,91	não
5%A	23,17	5%C	23,55	0,38	não
5%A	23,17	10%A	21,72	1,45	não
5%A	23,17	10%B	21,93	1,24	não
5%A	23,17	10%C	22,36	0,81	não
5%A	23,17	20%A	19,91	3,26	não
5%A	23,17	20%B	15,52	7,65	sim
5%A	23,17	20%C	14,56	8,61	sim
5%B	22,26	5%C	23,55	1,29	não
5%B	22,26	10%A	21,72	0,54	não
5%B	22,26	10%B	21,93	0,33	não
5%B	22,26	10%C	22,36	0,10	não
5%B	22,26	20%A	19,91	2,35	não
5%B	22,26	20%B	15,52	6,74	sim
5%B	22,26	20%C	14,56	7,70	sim
5%C	23,55	10%A	21,72	1,83	não
5%C	23,55	10%B	21,93	1,62	não
5%C	23,55	10%C	22,36	1,19	não
5%C	23,55	20%A	19,91	3,64	não
5%C	23,55	20%B	15,52	8,03	sim
5%C	23,55	20%C	14,56	8,99	sim
10%A	21,72	10%B	21,93	0,21	não
10%A	21,72	10%C	22,36	0,64	não
10%A	21,72	20%A	19,91	1,81	não
10%A	21,72	20%B	15,52	6,20	sim
10%A	21,72	20%C	14,56	7,16	sim
10%B	21,93	10%C	22,36	0,43	não
10%B	21,93	20%A	19,91	2,02	não
10%B	21,93	20%B	15,52	6,41	sim
10%B	21,93	20%C	14,56	7,37	sim
10%C	22,36	20%A	19,91	2,45	não
10%C	22,36	20%B	15,52	6,84	sim
10%C	22,36	20%C	14,56	7,80	sim
20%A	19,91	20%B	15,52	4,39	não
20%A	19,91	20%C	14,56	5,35	sim
20%B	15,52	20%C	14,56	0,96	não

Ilustração A.19 – Quadro da comparação das médias dos módulos (a/aglom=0,50).

Como pode ser visto os resultados apresentados na Ilustração A.19, apenas as médias dos concretos das empresas B e C com 20% de substituição do RBMG, apresentaram variação significativa em comparação com a média do concreto de referência. Estes resultados das empresas B e C apresentam variações significativas, também quando comparados com os demais teores de substituição.

2.4) Módulo de deformação dos concretos com relação a/aglom igual a 0,65

A Tabela A.16 apresenta as médias, variâncias, desvio padrão e coeficiente de variação do módulo de deformação, dos dois corpos-de-prova dos concretos de referência e das empresas, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Tabela A.16-Parâmetros Estatísticos do Módulo dos concretos (a/aglom 0,65).

Variáveis	CLASSES DO CONCRETO									
	Ref.	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Média	17,11	17,80	17,19	16,26	16,86	14,52	15,65	14,28	12,91	13,39
Variância	0,259	2,205	0,673	0,442	0,031	0,036	0,058	0,845	2,081	3,277
D.Padrão	0,509	1,485	0,820	0,665	0,177	0,191	0,240	0,919	1,442	1,810
C.Var(%)	2,98	8,34	4,77	4,09	1,05	1,32	1,54	6,44	11,17	13,52

A Tabela A.17 apresenta os resultados do cálculo do Teste F, para o módulo de deformação dos concretos.

Tabela A.17 - Teste F para o módulo de deformação dos concretos (a/aglom 0,65).

Cálculo do Teste F	Classes do concreto								
	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
S₁²	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259
S₂²	2,205	0,673	0,442	0,031	0,036	0,058	0,845	2,081	3,277
F calculado	8,51	2,60	1,70	8,29	7,11	4,48	3,26	8,03	12,64
F tabelado	648,00	648,00	648,00	648,00	648,00	648,00	648,00	648,00	648,00
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas (Tabela A.17), foram inferiores ao F tabelado, as variâncias das amostras são iguais. Portanto, pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento, pela realização do Teste *t*.

A Tabela A.18 apresenta os resultados do Teste *t*, para o módulo de deformação dos concretos das empresas, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Tabela A.18 - Teste t para o módulo de deformação dos concretos (a/aglom 0,65).

Determinação do teste t		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var.Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259
	$\Sigma(xj-x2)^2$	2,205	0,673	0,442	0,031	0,036	0,058	0,845	2,081	3,277
	N1+N2-2	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	S ² p	1,232	0,466	0,351	0,145	0,148	0,159	0,552	1,170	1,768
Teste t	x1	17,110	17,110	17,110	17,110	17,110	17,110	17,110	17,110	17,110
	x2	17,800	17,190	16,260	16,855	14,515	15,650	14,280	12,910	13,390
	(S ² p) ^{1/2}	1,110	0,683	0,592	0,381	0,384	0,398	0,743	1,082	1,330
	(N1+N2) ^{1/2}	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	t calculado	1,24	0,23	2,87	1,34	13,50	7,33	7,62	7,77	5,60
t tab (P = 5%)	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	
Efeito tratamento	NS	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	

NS = Não significativo

S= Significativo

Pode-se observar o mesmo padrão de comportamento dos resultados, verificados para a relação a/aglom de 0,50, à exceção dos concretos com 10% de substituição das empresas A e C.

A Ilustração A.20 mostra os resultados da análise da variância do módulo de deformação dos concretos para a relação a/aglom igual a 0,65.

Cálculo da Variância	Resultados do Módulo de deformação (a/aglom = 0,65)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	8	4	4	4	4	4	4
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	7	3	3	3	3	3	3
resíduo (n-K)	4	2	2	2	2	2	2
(Σx) ² Soma	18.692,36	4.614,48	4.000,56	4.292,87	3.941,33	3.604,80	3.721
C=(Σx) ² /n	2.336,54	1.153,62	1.000,14	1.073,22	985,33	901,20	930
Σx^2	2.342,53	1.153,98	1.007,17	1.075,67	994,45	921,18	948
SQT= Σx^2 -C	5,99	0,36	7,03	2,45	9,11	19,98	17
ΣT^2 Soma ou Total	4677,90	2307,37	2013,75	2150,70	1986,68	1.837,68	1.888
r (repetições)	2	2	2	2	2	2	2
SQTr= (ST ²)/r-C	2,41	0,07	6,73	2,13	8,01	17,64	13,84
SQR = SQT-SQTr	3,58	0,29	0,30	0,32	1,10	2,34	3,54
QMTr=SQTr/(K-1)	0,80	0,07	6,73	2,13	8,01	17,64	13,84
QMR= SQR/(n-K)	0,89	0,15	0,15	0,16	0,55	1,17	1,77
Fcalc=QMTr/QMR	0,90	0,45	45,55	13,45	14,51	15,08	7,83
F tabelado	9,98	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50
Análise da da variância	médias iguais	médias iguais	médias difer.	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais

Ilustração A.20 – Quadro da análise da variância do módulo dos concretos (a/aglom=0,65).

Os resultados da análise da variância (Ilustração A.20) mostram que valor do F calculado foi superior ao F tabelado, somente para o módulo de deformação do concreto da empresa B com 10% de substituição do RBMG, as demais médias de tratamento são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

A Ilustração A.21 apresenta a diferença mínima significante (d.m.s), pelo Teste de Tukey, entre as médias dos módulos de deformações dos concretos, para a relação a/aglom de 0,65.

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,60
QMR	0,991
r	2
d.m.s= $q \cdot (QMR/r)^{1/2}$	3,94

Ilustração A.21 – Quadro do Teste de Tukey para comparação entre as médias do módulo de deformação dos concretos (a/aglom= 0,65).

Os resultados apresentados na Ilustração A.21 mostram que a diferença mínima significante (d.m.s) entre as médias dos módulos de deformações com relação a/aglom de 0,65, é igual a 3,94.

A Ilustração A.22 mostra as diferenças entre as médias dos módulos dos concretos analisados, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	17,11	5%A	17,80	0,69	não
Referência	17,11	5%B	17,19	0,08	não
Referência	17,11	5%C	16,26	0,85	não
Referência	17,11	10%A	16,86	0,25	não
Referência	17,11	10%B	14,52	2,60	não
Referência	17,11	10%C	15,65	1,46	não
Referência	17,11	20%A	14,28	2,83	não
Referência	17,11	20%B	12,91	4,20	sim
Referência	17,11	20%C	13,39	3,72	não
5%A	17,80	5%B	17,19	0,61	não
5%A	17,80	5%C	16,26	1,54	não
5%A	17,80	10%A	16,86	0,95	não
5%A	17,80	10%B	14,52	3,29	não
5%A	17,80	10%C	15,65	2,15	não
5%A	17,80	20%A	14,28	3,52	não
5%A	17,80	20%B	12,91	4,89	sim
5%A	17,80	20%C	13,39	4,41	sim
5%B	17,19	5%C	16,26	0,93	não
5%B	17,19	10%A	16,86	0,33	não
5%B	17,19	10%B	14,52	2,68	não
5%B	17,19	10%C	15,65	1,54	não
5%B	17,19	20%A	14,28	2,91	não
5%B	17,19	20%B	12,91	4,28	sim
5%B	17,19	20%C	13,39	3,80	não
5%C	16,26	10%A	16,86	0,60	não
5%C	16,26	10%B	14,52	1,75	não
5%C	16,26	10%C	15,65	0,61	não
5%C	16,26	20%A	14,28	1,98	não
5%C	16,26	20%B	12,91	3,35	não
5%C	16,26	20%C	13,39	2,87	não
10%A	16,86	10%B	14,52	2,34	não
10%A	16,86	10%C	15,65	1,21	não
10%A	16,86	20%A	14,28	2,58	não
10%A	16,86	20%B	12,91	3,95	sim
10%A	16,86	20%C	13,39	3,47	não
10%B	14,52	10%C	15,65	1,14	não
10%B	14,52	20%A	14,28	0,23	não
10%B	14,52	20%B	12,91	1,61	não
10%B	14,52	20%C	13,39	1,13	não
10%C	15,65	20%A	14,28	1,37	não
10%C	15,65	20%B	12,91	2,74	não
10%C	15,65	20%C	13,39	2,26	não
20%A	14,28	20%B	12,91	1,37	não
20%A	14,28	20%C	13,39	0,89	não
20%B	12,91	20%C	13,39	0,48	não

Ilustração A.22 – Quadro da comparação entre as médias do módulo de deformação dos concretos (a/aglom = 0,65).

Com os resultados obtidos da Ilustração A.22, percebe-se, que apenas a média do concreto da empresa B com 20% de substituição do RBMG apresentou variação significativa em comparação com a média do concreto de referência. Analisando-se os resultados das empresas entre si, observa-se que os resultados com 5% de substituição da empresa A com 20%B e 20% de C, e 5% de C com 20%B, são estatisticamente diferentes.

2.5) Absorção por imersão dos concretos com relação a/aglom igual a 0,50

A Tabela A.19 apresenta os parâmetros estatísticos da absorção por imersão dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,50, relativos aos três corpo-de-prova dos concretos.

Tabela A.19-Parâmetros Estatísticos para a absorção dos concretos (a/aglom 0,50).

Variáveis	CLASSES DO CONCRETO									
	Ref.	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Média	5,66	6,12	6,58	5,97	6,55	6,88	6,35	6,66	6,67	6,93
Variância	0,148	0,378	0,185	0,034	0,108	0,226	0,040	0,051	0,018	0,012
D.Padrão	0,384	0,615	0,430	0,185	0,328	0,475	0,200	0,225	0,133	0,108
C.Var(%)	6,79	10,05	6,54	3,10	5,01	6,90	3,15	3,38	2,00	1,56

Verificou-se por meio do teste F, as variâncias de cada tratamento, com o traço de referência. O valor de F tabelado está apresentado no quadro da Ilustração A.1 (item 1.1). Para um grau de liberdade ($n = N-1 = 3-1$) igual a 2, tem-se o valor de F tabelado para a absorção dos concretos, igual a 39.

A Tabela A.20 mostra os resultados do cálculo do Teste F, para a absorção dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,50.

Tabela A.20 -Teste F da absorção por imersão dos concretos (a/aglom 0,50).

Cálculo do Teste F	Classes do concreto								
	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
S_1^2	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148
S_2^2	0,378	0,185	0,034	0,108	0,226	0,040	0,051	0,018	0,012
F calculado	2,56	1,25	4,31	1,37	1,53	3,70	2,91	8,33	12,69
F tabelado	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
Resultado variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas (Tabela A.20), foram inferiores ao F tabelado, segue-se que as variâncias das amostras são iguais.

Com este resultado é possível fazer a verificação do efeito do tratamento nos concretos das empresas, pelo teste t .

Com um grau de liberdade igual a quatro ($N = n_1 + n_2 - 2 = 3+3-2=4$), pela Ilustração A.2 (apresentada no item 1.1), tem-se o valor de t tabelado, para a resistência a absorção dos concretos, igual a 2,78.

A Tabela A.21 apresenta os resultados do Teste t , para a absorção dos concretos das empresas, para a relação a/aglom de 0,50.

Tabela A.21 - Teste t para a absorção dos concretos (a/aglom 0,50).

Determinação do teste t		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295
	$\Sigma(xj-x2)^2$	0,755	0,370	0,068	0,215	0,452	0,080	0,101	0,035	0,003
	$N1+N2-2$	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	$S^2 p$	0,263	0,166	0,091	0,128	0,187	0,094	0,099	0,083	0,075
Teste t	$x1$	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657
	$x2$	6,117	6,577	5,967	6,547	6,883	6,350	6,660	6,673	6,927
	$(S^2p)^{1/2}$	0,512	0,408	0,302	0,357	0,432	0,306	0,315	0,288	0,273
	$(N1+N2)^{1/2}$	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449
	t calculado	2,20	5,53	2,52	6,10	6,95	5,55	7,80	8,66	11,39
t tab (P= 5%)	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	
Efeito tratamento	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	

NS = Não significativo

S= Significativo

De acordo com o teste t , observa-se que o teor de substituição de 5% de RBMG não alterou os resultados das absorções dos concretos das empresas A, B e C, em comparação ao concreto de referência.

Pelo teste da análise de variância da resistência à compressão dos concretos, comparou-se as médias das resistências entre o concreto de referência e das três empresas com 5% de substituição do RBMG. Para os teores de 10% e 20%, analisou-se as médias das resistências entre o concreto de cada empresa e o de referência.

A ilustração A.23 apresenta os resultados da análise da variância da absorção por imersão dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,50.

Cálculo da Variância	Resultados da Absorção por imersão do concretos (a/aglom = 0,50)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	12	6	6	6	6	6	6
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	11	5	5	5	5	5	5
resíduo (n-K)	8	4	4	4	4	4	4
(Σx) ² Soma	5.321,70	1.340,29	1.415,26	1.297,44	1.365,30	1.368,26	1.425
$C=(\Sigma x)^2/n$	443,48	223,38	235,88	216,24	227,55	228,04	238
Σx^2	446,28	225,08	238,88	217,34	229,46	229,92	240
$SQT=\Sigma x^2-C$	2,81	1,70	3,00	1,10	1,91	1,88	3
ΣT^2 Soma ou Total	1334,39	673,71	714,40	650,88	687,18	688,78	720
r (repetições)	3	3	3	3	3	3	3
$SQTr=(ST^2)/r-C$	1,32	1,19	2,26	0,72	1,51	1,55	2,42
$SQR = SQT-SQTr$	1,49	0,51	0,75	0,38	0,40	0,33	0,32
$QMTr=SQTr/(K-1)$	0,44	1,19	2,26	0,72	1,51	1,55	2,42
$QMR= SQR/(n-K)$	0,19	0,13	0,19	0,09	0,10	0,08	0,08
$F_{calc}=QMTr/QMR$	2,36	9,31	12,09	7,69	15,23	18,75	30,38
F tabelado	5,42	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20
Análise da variância	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias difer.	médias difer.	médias difer.

Ilustração A.23-Quadro da análise da variância da absorção dos concretos (a/aglo=0,50)

Os resultados da Ilustração A.23, mostram que o valor do F calculado foi superior ao F tabelado. Portanto as médias de tratamento são estatisticamente diferentes, ao nível de significância adotado.

Para o cálculo do teste de Tukey, deve-se primeiramente determinar o valor de q, o qual está apresentado na Ilustração A.5 (apresentado no item 1.1). Para o número de tratamentos igual a 10 (K), e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-K = 30-10$), igual a 20, tem-se o valor de q tabelado equivalente a 5,01, para as absorções dos concretos.

A Ilustração A.24 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s) do teste de Tukey, para a análise das médias das absorções dos concretos.

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,01
QMR	0,120
r	3
d.ms=q.(QMR/r)^{1/2}	1,00

Ilustração A.24 – Quadro do Teste de Tukey das absorções dos concretos (a/aglo=0,65).

A Ilustração A.25 mostra as diferenças entre as médias das absorções dos concretos analisadas.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	5,66	5%A	6,12	0,46	não
Referência	5,66	5%B	6,58	0,92	não
Referência	5,66	5%C	5,97	0,31	não
Referência	5,66	10%A	6,55	0,89	não
Referência	5,66	10%B	6,88	1,23	sim
Referência	5,66	10%C	6,35	0,69	não
Referência	5,66	20%A	6,66	1,00	sim
Referência	5,66	20%B	6,67	1,02	sim
Referência	5,66	20%C	6,93	1,27	sim
5%A	6,12	5%B	6,58	0,46	não
5%A	6,12	5%C	5,97	0,15	não
5%A	6,12	10%A	6,55	0,43	não
5%A	6,12	10%B	6,88	0,77	não
5%A	6,12	10%C	6,35	0,23	não
5%A	6,12	20%A	6,66	0,54	não
5%A	6,12	20%B	6,67	0,56	não
5%A	6,12	20%C	6,93	0,81	não
5%B	6,58	5%C	5,97	0,61	não
5%B	6,58	10%A	6,55	0,03	não
5%B	6,58	10%B	6,88	0,31	não
5%B	6,58	10%C	6,35	0,23	não
5%B	6,58	20%A	6,66	0,08	não
5%B	6,58	20%B	6,67	0,10	não
5%B	6,58	20%C	6,93	0,35	não
5%C	5,97	10%A	6,55	0,58	não
5%C	5,97	10%B	6,88	0,92	não
5%C	5,97	10%C	6,3500	0,38	não
5%C	5,97	20%A	6,66	0,69	não
5%C	5,97	20%B	6,67	0,71	não
5%C	5,97	20%C	6,93	0,96	não
10%A	6,55	10%B	6,88	0,34	não
10%A	6,55	10%C	6,35	0,20	não
10%A	6,55	20%A	6,66	0,11	não
10%A	6,55	20%B	6,67	0,13	não
10%A	6,55	20%C	6,93	0,38	não
10%B	6,88	10%C	6,35	0,53	não
10%B	6,88	20%A	6,66	0,22	não
10%B	6,88	20%B	6,67	0,21	não
10%B	6,88	20%C	6,93	0,04	não
10%C	6,35	20%A	6,66	0,31	não
10%C	6,35	20%B	6,67	0,32	não
10%C	6,35	20%C	6,93	0,58	não
20%A	6,66	20%B	6,67	0,01	não
20%A	6,66	20%C	6,93	0,27	não
20%B	6,67	20%C	6,93	0,25	não

Ilustração A.25 – Quadro da comparação entre as médias das absorções dos concretos, para a relação a/aglom igual a 050.

Como se pode ver pelo teste de Tukey, apenas as médias das absorções dos concretos da empresa B com 10% e 20%, e da empresa C com 20% de substituição do RBMG, apresentaram variação significativa em comparação com a média do concreto de referência, não havendo diferenças significativas entre as absorções dos concretos das empresas, em nenhum dos percentuais de substituição do resíduo.

2.6) Absorção por imersão dos concretos com relação a/aglom igual a 0,65

A Tabela A.22 apresenta as médias, variâncias, desvio padrão e coeficiente de variação da absorção por imersão, dos três corpos-de-prova dos concretos de referência e das empresas, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Tabela A.22-Parâmetros Estatísticos para a Absorção dos concretos (a/aglom = 0,65).

Variáveis	CLASSES DO CONCRETO									
	Ref.	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Média	6,91	6,89	7,00	7,04	7,53	7,39	7,78	7,40	7,68	7,73
Variância	0,118	0,031	0,039	0,008	0,058	0,015	0,094	0,007	0,019	0,027
D.Padrão	0,343	0,177	0,199	0,091	0,240	0,121	0,307	0,086	0,137	0,166
C.Var(%)	4,97	2,57	2,84	1,29	3,19	1,64	3,94	1,16	1,78	2,14

A Tabela A.23 apresenta os resultados do cálculo do Teste F, para a absorção dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Tabela A.23 -Teste F para a absorção dos concretos (a/aglom 0,65).

Cálculo do Teste F	Classes do concreto								
	5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
S₁²	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118
S₂²	0,031	0,039	0,008	0,058	0,015	0,094	0,007	0,019	0,027
F calculado	3,76	2,98	14,29	2,04	8,00	1,25	15,83	6,31	4,29
F tabelado	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
Resultado variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais

Os resultados da Tabela A.23 mostram que os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas, foram inferiores ao F tabelado, segue-se que as variâncias das amostras são iguais. Portanto o teste t poderá ser realizado, para se fazer a verificação do efeito do tratamento.

A Tabela A.24 apresenta os resultados do Teste t, para a absorção dos concretos das empresas, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Tabela A.24- Teste t para a absorção dos concretos (a/aglom 0,65).

Determinação do teste t		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235
	$\Sigma(xj-x2)^2$	0,063	0,079	0,016	0,115	0,029	0,188	0,015	0,037	0,055
	N1+N2-2	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	S² p	0,074	0,079	0,063	0,088	0,066	0,106	0,063	0,068	0,073
Teste t	x1	6,907	6,907	6,907	6,907	6,907	6,907	6,907	6,907	6,907
	x2	6,890	7,003	7,043	7,533	7,390	7,783	7,403	7,683	7,733
	(S²p)^{1/2}	0,273	0,280	0,251	0,296	0,257	0,325	0,250	0,261	0,269
	(N1+N2)^{1/2}	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449
	t calculado	0,15	0,84	1,33	5,19	4,60	6,60	4,87	7,29	7,52
t tab (P= 5%)		2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
Efeito tratamento		NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S

NS = Não significativo S= Significativo

Pelo teste t, novamente a substituição do cimento pelo teor de 5% do RBMG não alterou os resultados da absorção dos concretos das empresas.

A ilustração A.26 mostra os resultados da análise da variância das absorções dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Cálculo Variância	Resultados das Absorções por imersão (a/aglom = 0,65)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	12	6	6	6	6	6	6
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	11	5	5	5	5	5	5
resíduo (n-K)	8	4	4	4	4	4	4
(Σx) ² Soma	6.977,26	1.876,62	1.839,55	1.942,16	1.842,98	1.915,81	1.929
$C=(\Sigma x)^2/n$	581,44	312,77	306,59	323,69	307,16	319,30	321
Σx^2	581,88	313,71	307,21	325,27	307,78	320,48	323
$SQT=\Sigma x^2-C$	0,44	0,94	0,62	1,58	0,62	1,18	1
ΣT^2 Soma ou Total	1744,46	940,08	920,83	974,54	922,60	960,62	968
r (repetições)	3	3	3	3	3	3	3
$SQTr=(\Sigma T^2)/r-C$	0,05	0,59	0,35	1,15	0,37	0,90	1,03
$SQR = SQT-SQTr$	0,39	0,35	0,26	0,42	0,25	0,27	0,29
$QMTr=SQTr/(K-1)$	0,02	0,59	0,35	1,15	0,37	0,90	1,03
$QMR= SQR/(n-K)$	0,05	0,09	0,07	0,11	0,06	0,07	0,07
$F_{calc}=QMTr/QMR$	0,34	6,72	5,30	10,89	5,92	13,28	14,13
F tabelado	5,42	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20
Análise da variância	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias diferen.	médias diferen.

Ilustração A.26 – Quadro da análise da variância das absorções dos concretos (a/aglom=0,65).

Pelo teste da análise da variância, observa-se que os resultados das médias das absorções dos concretos das empresas nos teores de substituição de 5% e 10% do RBMG são estatisticamente iguais, ao nível de probabilidade adotado, visto que os valores de F calculado são inferiores ao F tabelado. Estes resultados seguem a mesma tendência daqueles com a relação a/aglom igual a 0,50.

A diferença mínima significativa (d.m.s) do teste de Tukey, para a análise das médias das absorções dos concretos, está apresentada na Ilustração A.27.

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,01
QMR	0,042
r	3
$d.ms=q(QMR/r)^{1/2}$	0,59

Ilustração A.27 – Quadro do Teste de Tukey para a comparação entre as médias das absorções dos concretos (a/aglom = 0,65).

Os resultados da Ilustração A.26 mostram, que a diferença mínima significativa (d.m.s) entre as médias das amostras, para as médias das absorções dos concretos com relação a/aglom de 0,65, é igual a 0,60.

A Ilustração A.28 apresenta as variações significativas entre as médias das absorções dos concretos com relação a/aglom igual a 0,65.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	6,91	5%A	6,89	0,02	não
Referência	6,91	5%B	7,00	0,10	não
Referência	6,91	5%C	7,04	0,14	não
Referência	6,91	10%A	7,53	0,63	sim
Referência	6,91	10%B	7,39	0,48	não
Referência	6,91	10%C	7,78	0,88	sim
Referência	6,91	20%A	7,40	0,50	não
Referência	6,91	20%B	7,68	0,78	sim
Referência	6,91	20%C	7,73	0,83	sim
5%A	6,89	5%B	7,00	0,11	não
5%A	6,89	5%C	7,04	0,15	não
5%A	6,89	10%A	7,53	0,64	sim
5%A	6,89	10%B	7,39	0,50	não
5%A	6,89	10%C	7,78	0,89	sim
5%A	6,89	20%A	7,40	0,51	não
5%A	6,89	20%B	7,68	0,79	sim
5%A	6,89	20%C	7,73	0,84	sim
5%B	7,00	5%C	7,04	0,04	não
5%B	7,00	10%A	7,53	0,53	não
5%B	7,00	10%B	7,39	0,39	não
5%B	7,00	10%C	7,78	0,78	sim
5%B	7,00	20%A	7,40	0,40	não
5%B	7,00	20%B	7,68	0,68	sim
5%B	7,00	20%C	7,73	0,73	sim
5%C	7,04	10%A	7,53	0,49	não
5%C	7,04	10%B	7,39	0,35	não
5%C	7,04	10%C	7,78	0,74	sim
5%C	7,04	20%A	7,40	0,36	não
5%C	7,04	20%B	7,68	0,64	sim
5%C	7,04	20%C	7,73	0,69	sim
10%A	7,53	10%B	7,39	0,14	não
10%A	7,53	10%C	7,78	0,25	não
10%A	7,53	20%A	7,40	0,13	não
10%A	7,53	20%B	7,68	0,15	não
10%A	7,53	20%C	7,73	0,20	não
10%B	7,39	10%C	7,78	0,39	não
10%B	7,39	20%A	7,40	0,01	não
10%B	7,39	20%B	7,68	0,29	não
10%B	7,39	20%C	7,73	0,34	não
10%C	7,78	20%A	7,40	0,38	não
10%C	7,78	20%B	7,68	0,10	não
10%C	7,78	20%C	7,73	0,05	não
20%A	7,40	20%B	7,68	0,28	não
20%A	7,40	20%C	7,73	0,33	não
20%B	7,68	20%C	7,73	0,05	não

Ilustração A.28–Quadro da comparação entre as absorções dos concretos (a/aglom= 0,65).

Os valores do F calculado das amostras dos concretos das empresas (Tabela A.26), foram inferiores ao F tabelado, segue-se que as variâncias dos índices de vazios dos concretos das empresas são iguais. Com isso pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento, pela realização do Teste *t*.

Para um grau de liberdade igual a 4 ($N = n_1 + n_2 - 2 = 3+3-2 = 4$), pela Ilustração A.2 (apresentada no item 1.1), tem-se o valor de *t* tabelado, para a resistência à compressão dos concretos, igual a 2,78.

A Tabela A.27 apresenta os resultados do Teste *t*, para o índice de vazios dos concretos das empresas, para a relação a/aglom de 0,50.

Tabela A.27 - Teste *t* para o índice de vazios dos concretos (a/aglom 0,50).

Determinação do teste <i>t</i>		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var.Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	1,052	1,052	1,052	1,052	1,052	1,052	1,052	1,052	1,052
	$\Sigma(xj-x2)^2$	3,449	1,339	0,281	0,867	1,732	0,382	0,371	0,118	0,063
	$N1+N2-2$	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	$S^2 p$	1,125	0,598	0,333	0,480	0,696	0,358	0,356	0,292	0,279
Teste <i>t</i>	$x1$	12,467	12,467	12,467	12,467	12,467	12,467	12,467	12,467	12,467
	$x2$	13,697	14,450	13,107	14,353	14,950	14,207	14,757	14,850	15,123
	$(S^2p)^{1/2}$	1,061	0,773	0,577	0,693	0,834	0,599	0,597	0,541	0,528
	$(N1+N2)^{1/2}$	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449
	<i>t</i> calculado	2,84	6,28	2,72	6,67	7,29	7,12	9,40	10,79	12,32
$t_{tab}(P = 5\%)$	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	
Efeito tratamento	S	S	NS	S	S	S	S	S	S	

NS = Não significativo

S= Significativo

Observa-se pelo teste *t*, que apenas o concreto da empresa C com o teor de 5% de substituição do RBMG, não teve seu índice de vazios alterado.

A Ilustração A.29 apresenta os resultados da análise da variância para o índice de vazios dos concretos, com relação a/aglom igual a 0,50.

O teste da análise da variância, comparou as médias dos módulos de deformações dos concretos das três empresas com 5% de RBMG, e o concreto de referência. Já com os teores de 10% e 20% de substituição analisou-se a variância de cada empresa com o concreto de referência.

Cálculo da Variância	Resultados dos Índices de Vazios (a/aglom = 0,50)						
	R.e 5%A,B,C	R.e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	12	6	6	6	6	6	6
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	11	5	5	5	5	5	5
resíduo (n-K)	8	4	4	4	4	4	4
$(\sum x)^2$ Soma	25.972,55	6.473,81	6.765,06	6.403,20	6.669,99	6.715,80	6.851
$C=(\sum x)^2/n$	2.164,38	1.078,97	1.127,51	1.067,20	1.111,66	1.119,30	1.142
$\sum x^2$	2.176,93	1.086,23	1.139,55	1.073,18	1.120,95	1.128,99	1.154
$SQT=\sum x^2-C$	12,55	7,26	12,03	5,98	9,29	9,69	12
ΣT^2 Soma ou Total	6512,43	3252,92	3410,28	3215,22	3358,59	3.383,46	3.457
r (repetições)	3	3	3	3	3	3	3
$SQTr=(\Sigma T^2)/r-C$	6,43	5,34	9,25	4,54	7,87	8,52	10,59
$SQR = SQT-SQTr$	6,12	1,92	2,78	1,43	1,42	1,17	1,12
$QMTr=SQTr/(K-1)$	2,14	5,34	9,25	4,54	7,87	8,52	10,59
$QMR= SQR/(n-K)$	0,77	0,48	0,70	0,36	0,36	0,29	0,28
$F_{calc}=QMTr/QMR$	2,80	11,13	13,29	12,67	22,10	29,13	37,97
F tabelado	5,42	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20
Análise da variância	médias iguais	médias iguais	médias diferen.	médias diferen.	médias diferen.	médias diferen.	médias diferen.

Ilustração A.29–Quadro da análise da variância do índice de vazios dos concretos (a/aglo=0,50).

Os resultados da Ilustração A.29, mostram que o valor do F calculado foi inferior ao F tabelado, apenas para as médias das empresas A, B e C com 5% de substituição e para a empresa A com 10% de substituição do RBMG. Portanto estas médias de tratamento são estatisticamente iguais, ao nível de significância adotado.

A Ilustração A.30 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s) do teste de Tukey, para a análise das médias dos índices de vazios dos concretos. (relação a/aglom de 0,50).

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,01
QMR	0,483
r	3
d.m.s= q.(QMR/r)^{1/2}	2,01

Ilustração A.30 – Quadro do Teste de Tukey do índice de vazios dos concretos (a/aglom=0,50).

Os resultados apresentados na Ilustração 58 mostram que a diferença mínima significativa (d.m.s) entre as médias dos índices de vazios dos concretos, é igual a 2,01.

A Ilustração A.31 apresenta as diferenças entre as médias dos concretos do índice de vazios com relação a/aglom igual a 0,50.

Classes Concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	12,47	5%A	13,70	1,23	não
Referência	12,47	5%B	14,45	1,98	não
Referência	12,47	5%C	13,11	0,64	não
Referência	12,47	10%A	14,35	1,89	não
Referência	12,47	10%B	14,95	2,48	sim
Referência	12,47	10%C	14,21	1,74	não
Referência	12,47	20%A	14,76	2,29	sim
Referência	12,47	20%B	14,85	2,38	sim
Referência	12,47	20%C	15,12	2,66	sim
5%A	13,70	5%B	14,45	0,75	não
5%A	13,70	5%C	13,11	0,59	não
5%A	13,70	10%A	14,35	0,66	não
5%A	13,70	10%B	14,95	1,25	não
5%A	13,70	10%C	14,21	0,51	não
5%A	13,70	20%A	14,76	1,06	não
5%A	13,70	20%B	14,85	1,15	não
5%A	13,70	20%C	15,12	1,43	não
5%B	14,45	5%C	13,11	1,34	não
5%B	14,45	10%A	14,35	0,10	não
5%B	14,45	10%B	14,95	0,50	não
5%B	14,45	10%C	14,21	0,24	não
5%B	14,45	20%A	14,76	0,31	não
5%B	14,45	20%B	14,85	0,40	não
5%B	14,45	20%C	15,12	0,67	não
5%C	13,11	10%A	14,35	1,25	não
5%C	13,11	10%B	14,95	1,84	não
5%C	13,11	10%C	14,21	1,10	não
5%C	13,11	20%A	14,76	1,65	não
5%C	13,11	20%B	14,85	1,74	não
5%C	13,11	20%C	15,12	2,02	sim
10%A	14,35	10%B	14,95	0,60	não
10%A	14,35	10%C	14,21	0,15	não
10%A	14,35	20%A	14,76	0,40	não
10%A	14,35	20%B	14,85	0,50	não
10%A	14,35	20%C	15,12	0,77	não
10%B	14,95	10%C	14,21	0,74	não
10%B	14,95	20%A	14,76	0,19	não
10%B	14,95	20%B	14,85	0,10	não
10%B	14,95	20%C	15,12	0,17	não
10%C	14,21	20%A	14,76	0,55	não
10%C	14,21	20%B	14,85	0,64	não
10%C	14,21	20%C	15,12	0,92	não
20%A	14,76	20%B	14,85	0,09	não
20%A	14,76	20%C	15,12	0,37	não
20%B	14,85	20%C	15,12	0,27	não

Ilustração A.31 – Quadro da comparação entre as médias dos índices de vazios dos concretos (a/aglom = 050).

Os resultados da Tabela A.29, mostram que os valores do F calculado do índice de vazios dos concretos das empresas, foram inferiores ao F tabelado, portanto as variâncias das amostras são iguais. De acordo com esse resultado, pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento nas amostras, por meio do Teste *t*.

A Tabela A.30 apresenta os resultados do Teste *t*, para o índice de vazios dos concretos das empresas, para a relação a/aglom de 0,65.

Tabela A.30 -Teste t do índice de vazios dos concretos (a/aglom 0,65).

Determinação do teste t		Classes dos concretos								
		5%A	5%B	5%C	10%A	10%B	10%C	20%A	20%B	20%C
Var.Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	1,055	1,055	1,055	1,055	1,055	1,055	1,055	1,055	1,055
	$\Sigma(xj-x2)^2$	0,231	0,292	0,045	0,330	0,126	0,723	0,028	0,100	0,178
	N1+N2-2	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	S ² p	0,322	0,337	0,275	0,346	0,295	0,445	0,271	0,289	0,308
Teste t	x1	15,020	15,020	15,020	15,020	15,020	15,020	15,020	15,020	15,020
	x2	14,793	15,113	15,163	15,953	15,900	16,503	15,833	16,197	16,380
	(S ² p) ^{1/2}	0,567	0,580	0,525	0,589	0,544	0,667	0,521	0,537	0,555
	(N1+N2) ^{1/2}	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	t calculado	0,98	0,39	0,67	3,88	3,97	5,45	3,83	5,36	6,00
t tabelado(P = 5%)	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	
Efeito tratamento	NS	NS	NS	S	S	S	S	S	S	

NS = Não significativo S= Significativo

De acordo com o teste t, observa-se que o RBMG, não alterou o resultado índice de vazios dos concretos das empresas A, B e C com 5% de substituição, em comparação ao concreto de referência.

A ilustração A.32 mostra os resultados da análise da variância do índice de vazios dos concretos, para a relação a/aglom igual a 0,65.

Cálculo da Variância	Resultados dos Índices de vazios dos concretos (a/aglom = 0,65)						
	R.e 5%A,B,C	R..e10%A	R.e10%B	R.e10%C	R.e20%A	R.e20%B	R.e20%C
K (tratamentos)	4	2	2	2	2	2	2
n (amostras)	12	6	6	6	6	6	6
Graus de liberdade tratamentos (K-1)	3	1	1	1	1	1	1
total (n-1)	11	5	5	5	5	5	5
resíduo (n-K)	8	4	4	4	4	4	4
$(\sum x)^2$ Soma	32.497,27	8.634,13	8.604,42	8.943,48	8.567,35	8.770,32	8.874
$C=(\sum x)^2/n$	2.708,11	1.439,02	1.434,07	1.490,58	1.427,89	1.461,72	1.479
$\sum x^2$	2.709,97	1.441,71	1.436,41	1.495,66	1.429,97	1.464,95	1.483
$SQT=\sum x^2-C$	1,86	2,69	2,34	5,08	2,08	3,23	4
ΣT^2 Soma ou Total	8125,04	4320,98	4305,69	4481,64	4286,65	4.391,39	4.445
r (repetições)	3	3	3	3	3	3	3
$SQTr=(\Sigma T^2)/r-C$	0,24	1,31	1,16	3,30	0,99	2,08	2,77
$SQR = SQT-SQTr$	1,62	1,39	1,18	1,78	1,08	1,16	1,23
$QMTr=SQTr/(K-1)$	0,08	1,31	1,16	3,30	0,99	2,08	2,77
$QMR= SQR/(n-K)$	0,20	0,35	0,30	0,44	0,27	0,29	0,31
$F_{calc}=QMTr/QMR$	0,40	3,77	3,93	7,42	3,66	7,19	9,00
F tabelado	5,42	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Análise da variância	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais	médias iguais

Ilustração A.32–Quadro da análise da variância do índice de vazios dos concretos (a/aglo=0,65).

De acordo com a análise da variância, o valor do F calculado foi inferior ao F tabelado, em todas as médias de tratamento analisadas. Portanto estas médias são estatisticamente iguais, ao nível de significância, adotado (P=5%).

A Ilustração A.33 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s) do teste de Tukey, para a análise das médias dos índices de vazios dos concretos. (relação a/aglom de 0,65).

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	5,01
QMR	0,155
r	3
d.m.s= q.(QMR/r)^{1/2}	1,14

Ilustração A.33 – Quadro do Teste de Tukey do índice de vazios dos concretos (a/aglom=0,65).

Os resultados apresentados na Ilustração A.33, mostram que a diferença mínima significativa (d.m.s) entre as médias dos índices de vazios dos concretos, é igual a 1,14.

A Ilustração A.34 apresenta as diferenças entre as médias do índice de vazios dos concretos para a relação a/aglom igual a 0,65.

Classes do concreto	Média	Classes Concreto	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa ?
Referência	15,02	5%A	14,79	0,23	não
Referência	15,02	5%B	15,11	0,09	não
Referência	15,02	5%C	15,16	0,14	não
Referência	15,02	10%A	15,95	0,93	não
Referência	15,02	10%B	15,90	0,88	não
Referência	15,02	10%C	16,50	1,48	sim
Referência	15,02	20%A	15,83	0,81	não
Referência	15,02	20%B	16,20	1,18	sim
Referência	15,02	20%C	16,38	1,36	sim
5%A	14,79	5%B	15,11	0,32	não
5%A	14,79	5%C	15,16	0,37	não
5%A	14,79	10%A	15,95	1,16	sim
5%A	14,79	10%B	15,90	1,11	não
5%A	14,79	10%C	16,50	1,71	sim
5%A	14,79	20%A	15,83	1,04	não
5%A	14,79	20%B	16,20	1,40	sim
5%A	14,79	20%C	16,38	1,59	sim
5%B	15,11	5%C	15,16	0,05	não
5%B	15,11	10%A	15,95	0,84	não
5%B	15,11	10%B	15,90	0,79	não
5%B	15,11	10%C	16,50	1,39	sim
5%B	15,11	20%A	15,83	0,72	não
5%B	15,11	20%B	16,20	1,08	não
5%B	15,11	20%C	16,38	1,27	sim
5%C	15,16	10%A	15,95	0,79	não
5%C	15,16	10%B	15,90	0,74	não
5%C	15,16	10%C	16,50	1,34	sim
5%C	15,16	20%A	15,83	0,67	não
5%C	15,16	20%B	16,20	1,03	não
5%C	15,16	20%C	16,38	1,22	sim
10%A	15,95	10%B	15,90	0,05	não
10%A	15,95	10%C	16,50	0,55	não
10%A	15,95	20%A	15,83	0,12	não
10%A	15,95	20%B	16,20	0,24	não
10%A	15,95	20%C	16,38	0,43	não
10%B	15,90	10%C	16,50	0,60	não
10%B	15,90	20%A	15,83	0,07	não
10%B	15,90	20%B	16,20	0,30	não
10%B	15,90	20%C	16,38	0,48	não
10%C	16,50	20%A	15,83	0,67	não
10%C	16,50	20%B	16,20	0,31	não
10%C	16,50	20%C	16,38	0,12	não
20%A	15,83	20%B	16,20	0,36	não
20%A	15,83	20%C	16,38	0,55	não
20%B	16,20	20%C	16,38	0,18	não

Ilustração A.34 – Quadro da comparação entre as médias dos índices de vazios dos concretos (a/aglom = 0,65).

Como se pode ver pelo teste de Tukey, as médias dos concretos das empresas com 5% de substituição do RBMG, não apresentaram variação significativa em comparação com a média do concreto de referência, estes resultados foram semelhantes àqueles determinados para a relação a/aglom igual a 0,50. Comparando-se as médias entre as empresas, observa-se que apenas com o teor de 5% de substituição do resíduo, as empresas não apresentaram variações significativas entre si.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)