

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

KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO GOMES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE
BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO (RBMG) COMO FÍLER NA
PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

**GOIÂNIA
2008**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO GOMES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE
BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO (RBMG) COMO FÍLER NA
PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

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

GOIÂNIA
2008

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

G633a Gomes, Kíria Nery Alves do Espírito Santo.
 Avaliação da influência da utilização do resíduo de
 beneficiamento de mármore e granito(RBMG)como fíler na
 produção de concretos/Kíria Nery do Espírito Santo
 Gomes. – Goiânia, 2008.
 141f. : il. ; 30cm.
 Orientador: Edgar Bacarji
 Dissertação(mestrado) – Escola de Engenharia Civil,
 Universidade Federal de Goiás
 Bibliografia: f.93 – 98
 Inclui Apêndices
 1 .Engenharia civil 2 .Engenharia ambiental 3. Produção
 de concreto – Resíduos – Marmoraria 4. Reciclagem –
 Resíduos – Mármore e granito I. Título.

CDU: 624

KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO GOMES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE
BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO (RBMG) COMO FÍLER NA
PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

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 26 de agosto de 2008, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. Dr. Edgar Bacarji – UFG
Presidente da banca



Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer – UFG – Examinador Interno



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

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edgar Bacarji, pela brilhante orientação, dedicação e amizade.

Ao Laboratório de Materiais de Construção da UFG pelo auxílio na realização dos ensaios. Em especial ao Prof. Deusair pelos ensinamentos repassados durante toda a fase experimental, e ajuda incessante dos funcionários Agnaldo e Manoel.

A Realmix pelo fornecimento dos agregados graúdo e miúdo e a Construtora Emisa pelo fornecimento do cimento utilizado na pesquisa.

Ao amigo João Luiz Prudêncio pelo fornecimento do resíduo já beneficiado e pelos primorosos conhecimentos repassados e pela ajuda na parte experimental.

Aos colegas, professores e funcionários do PPGEMA, principalmente os amigos Marcus Vinícius e Mayza pelo companheirismo durante todo o curso do mestrado.

A Deuzélia pela simpatia e auxílio na realização do mestrado.

Aos amigos Murilo Moura e Wellington Andrade pelo apoio no início do mestrado. As amigas Flávia Martins e Patrícia Martins pela hospedagem, amizade e ajuda na realização dos ensaios. A tia Jane, tio Paulo e Rafaela pela hospedagem, preocupação e carinho. As amigas Adriana Conceição e Andréia Martins pela amizade e compreensão.

Em especial aos meus pais e ao meu irmão Kenio pelo apoio incessante, amizade e incentivo.

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

RESUMO

A maioria dos processos produtivos, atualmente, gera resíduos que são muito maiores que a capacidade de absorção da natureza, causando grande degradação ambiental. A construção civil consome grande volume de recursos naturais como a areia para produzir concretos. Uma alternativa para diminuir a utilização da areia é a sua substituição por resíduos gerados pela indústria das rochas ornamentais. Nas marmorarias, onde se beneficiam as placas para repassar ao consumidor final, são gerados vários resíduos dentre eles o resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG). Para destinar adequadamente este resíduo foi realizado um estudo comparativo entre as propriedades de um concreto de referência e o produzido com o RBMG substituindo parcialmente o agregado miúdo. O método de dosagem utilizado foi o elaborado pelo IPT/EPUSP, descrito por Helene e Terzian (1993). Foram estudadas dosagens sem adição do resíduo e com 5%, 10%, 15% e 20% do resíduo em substituição ao agregado miúdo para cada relação cimento:agregados secos: 1:3,5 ; 1:5,0 e 1:6,5. No estado fresco realizou-se o ensaio do *slump test* e no estado endurecido foram analisadas as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto por meio dos ensaios de resistência a compressão axial aos 7 e 28 dias, módulo de elasticidade, absorção e índice de vazios. Quanto aos valores do *slump test* verifica-se que para os traços 1:3,5 e 1:5,0 os valores tendem a diminuir com o aumento do teor do resíduo. Para o traço 1:6,5 os valores aumentaram com a substituição do resíduo para todos os teores de substituição. A melhor resposta do resíduo na resistência a compressão foi no traço 1:5,0 com 15% do RBMG, onde os valores encontrados ficaram maiores que os valores de referência. Um resultado benéfico também encontrado foi no traço 1:6,5 onde verificou-se, por meio da análise estatística, que a substituição do resíduo não alterou a resistência do concreto. Considerando os resultados do módulo de deformação, a utilização do resíduo não interferiu no comportamento do concreto, com exceção dos teores de 10% e 20% para o traço 1:3,5. A análise estatística demonstrou também que a absorção e índice de vazios aumentaram com a incorporação do RBMG para os traços 1:3,5 e 1:5,0. Para o traço 1:6,5 alguns resultados foram significativos, outros não. Pelas variáveis analisadas pode-se verificar a viabilidade técnica e ambiental da substituição do agregado miúdo pelo RBMG.

Palavras-Chave: Resíduo de beneficiamento de mármore e granito, sustentabilidade, concreto

ABSTRACT

The majority of production processes, currently, generates wastes that are much larger than the absorption capacity of nature, causing great environmental degradation. The construction industry consumes large amount of natural resources such as sand to produce concrete. An alternative to reduce the use of sand is to be replaced by waste generated by the industry of ornamental stones. In marmorarias, where he enjoyed the plates to pass to the final consumer, waste are generated several among them the Processing Residue of Marble and Granite (PRMG). To adequately to destine this waste was made a comparative study between the properties of a specific reference and produced with the PRMG partially replacing the fine aggregate. The method of dosage used was prepared by the IPT / EPUSP, described by Helene and Terzian (1993). We studied dosages without the addition of waste and 5%, 10%, 15% and 20% of household waste in place to cement respect for each relation cemente: aggregates dried: 1:3,5; 1:5,0 and 1:6 , 5. In the fresh took place testing the slump test and hardened in the state were considered the mechanical properties and durability of concrete through the tests of resistance to axial compression at 7 and 28 days, deformation module, absorption and voids content. As the values of the slump it appears that test for traces 1:3,5 and 1:5,0 figures tend to decrease with the increase in the level of waste. To trace 1:6,5 figures increased with the replacement of waste for all levels of replacement. The best response of the residue in the resistance to compression was in trace 1:5,0 with 15% of RBMG, where the findings were higher than the values of reference. Um good result was also found in trace where there 1:6,5 It is through statistical analysis, that the replacement of the residue did not alter the strength of the concrete. Considering the results of deformation module, using the residue did not interfere in the behavior of the concrete, except for levels of 10% and 20% for trace 1:3,5. Statistical analysis showed that the absorption and voids content increased with the incorporation of RBMG for traces 1:3,5 and 1:5,0. To trace the 1:6,5 some results were significant, others not. For the variables you can verify technical and environmental feasibility of to replace the fine aggregate by PRMG.

Keywords: Processing Residue of Marble and Granite, sustainability, concrete

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Corte de chapas de granito e mármore	35
Figura 2.2 - Tanques de decantação	36
Figura 2.3 - RBMG, seco, peneirado e destorroado	39
Figura 2.4 - Difratoograma da amostra do RBMG.....	40
Figura 2.5 – Curvas granulométricas do resíduo e do cimento Portland.....	42
Figura 3.1 – Redução da resistência em relação ao teor de vazios	48
Figura 3.2 – Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto	49
Figura 3.3 – Fatores que afetam o módulo de deformação do concreto.....	51

LISTA DE FOTOS

Foto 5.1 – Agregado miúdo.....	58
Foto 5.2 – Agregado graúdo.....	58
Foto 5.3 – Concreto no traço 1:5,0 com teor de argamassa igual a 54%	61
Foto 5.4 – Moldagem e adensamento dos corpos-de-prova	61
Foto 5.5 – Corpos-de-prova moldados e etiquetados	62
Foto 5.6 – Ensaio de abatimento de tronco de cone – moldagem	64
Foto 5.7 – Ensaio de abatimento de tronco de cone – desmoldagem.....	64
Foto 5.8 – Prensa hidráulica	65
Foto 5.9 – Ensaio de módulo de deformação	66
Foto 5.10 – Corpos-de-prova na estufa	67
Foto 5.11 – Corpos-de-prova imersos em água.....	67
Foto 6.1 – Slump – traço 1:3,5 – 5% RBMG	71
Foto 6.2 – Slump – traço 1:3,5 – 10% RBMG	72
Foto 6.3 – Slump – traço 1:3,5 – 15% RBMG	72
Foto 6.4 – Slump – traço 1:3,5 – 20% RBMG	72
Foto 6.5 – Slump – traço 1:5,0 – 5% RBMG	73
Foto 6.6 – Slump – traço 1:5,0 – 10% RBMG	73
Foto 6.7 – Slump – traço 1:5,0 – 15% RBMG	73
Foto 6.8 – Slump – traço 1:5,0 – 20% RBMG	74
Foto 6.9 – Slump – traço 1:6,5 – 5% RBMG	74
Foto 6.10 – Slump – traço 1:6,5 – 10% RBMG	74
Foto 6.11 – Slump – traço 1:6,5 – 15% RBMG	75
Foto 6.12 – Slump – traço 1:6,5 – 20% RBMG	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Valores médios da porosidade dos concretos	53
Quadro 3.2 – Proposta para classificação dos concretos de acordo com o índice de vazios e absorção	53
Quadro 6.1 – Resultado dos testes da análise estatística para o slump dos concretos.....	86
Quadro 6.2 – Resultado dos testes da análise estatística para a resistência a compressão.....	87
Quadro 6.3 – Resultado dos testes da análise estatística para o módulo de deformação	88
Quadro 6.4 – Resultado dos testes da análise estatística para a absorção por imersão	89
Quadro 6.5 – Resultado dos testes da análise estatística para o índice de vazios	90
Quadro A.1 – Quadro do valor de F tabelado para P=5%	100
Quadro A.2 – Quadro dos valores de t em níveis de probabilidade	101
Quadro A.3 – Quadro dos valores da amplitude total estudentizada (q) para $\alpha = 5\%$	103

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 – Curva granulométrica do agregado miúdo	69
Gráfico 6.2 – Curva granulométrica do RBMG	69
Gráfico 6.3 – Valores (média) do slump test.....	71
Gráfico 6.4 – Evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:3,5	77
Gráfico 6.5 – Evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:5,0	78
Gráfico 6.6 – Evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:6,5	80
Gráfico 6.7 – Valores (média) da resistência à compressão aos 7 dias de idade.....	80
Gráfico 6.8 – Valores (média) da resistência à compressão aos 28 dias de idade.....	81
Gráfico 6.9 – Módulo de deformação médio.....	82
Gráfico 6.10 – Valores médios da absorção por imersão	84
Gráfico 6.11 – Valores médios de índice de vazios	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Resistências à compressão dos concretos com a/c iguais a 0,45	37
Tabela 2.2 – Resistências à compressão dos concretos com a/c iguais a 0,65	37
Tabela 2.3 – Análise química do RBMG	39
Tabela 2.4 – Características granulométricas do RBMG e do cimento.....	41
Tabela 2.5 – Massa específica do resíduo	42
Tabela 2.6 – Determinação da finura dos grãos	43
Tabela 5.1 – Traço unitário dos traços de referência.....	60
Tabela 5.2 – Quantidade de material utilizado na pesquisa	62
Tabela 5.3 – Quantidade de corpos-de-prova moldados	63
Tabela 6.1 – Caracterização do agregado miúdo.....	68
Tabela 6.2 – Caracterização do agregado graúdo.....	68
Tabela 6.3 – Valores do slump test (cm).....	70
Tabela 6.4 – Valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:3,5	76
Tabela 6.5 – Valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:5,0.....	78
Tabela 6.6 – Valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:6,5	79
Tabela 6.7 – Valores do módulo de deformação	82
Tabela 6.8 – Valores da absorção por imersão	83
Tabela 6.9 – Valores do índice de vazios	85
Tabela A.1 – Resultados do Teste F, para o slump dos concretos do traço 1:3,5	100
Tabela A.2 – Resultado do Teste t, para o slump dos concretos do traço 1:3,5.....	101
Tabela A.3 – Tabela da análise de variância do slump dos concretos para o traço 1:3,5.....	102
Tabela A.4 - Tabela do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço	103
Tabela A.5 – Comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:3,5.....	104
Tabela A.6 – Resultados do Teste F, para o slump dos concretos do traço 1:5,0	104
Tabela A.7 – Resultado do Teste t, para o slump dos concretos do traço 1:5,0.....	105
Tabela A.8 – Tabela da análise de variância do slump dos concretos para o traço 1:5,0.....	105
Tabela A.9 - Tabela do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço	106
Tabela A.10 – Comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:5,0.....	106
Tabela A.11 – Resultados do Teste F, para o slump dos concretos do traço 1:6,5	107

Tabela A.12 – Resultado do Teste t, para o slump dos concretos do traço 1:6,5.....	107
Tabela A.13 – Tabela da análise de variância do slump dos concretos para o traço 1:6,5.....	108
Tabela A.14 - Tabela do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço	108
Tabela A.15 – Comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:6,5.....	109
Tabela A.16 – Teste F para a resistência à compressão dos concretos no traço 1:3,5	109
Tabela A.17 – Cálculo do Teste t da resistência à compressão aos 28 dias para o traço 1:3,5.....	110
Tabela A.18 – Análise da variância das resistências à compressão dos concretos aos 28 dias para o traço 1:3,5	111
Tabela A.19 – Teste de Tukey das resistências à compressão para o traço 1:3,5	111
Tabela A.20 – Comparação entre as médias das resistências para o traço 1:3,5.....	112
Tabela A.21 – Teste F para a resistência à compressão dos concretos no traço 1:5,0	112
Tabela A.22 – Cálculo do Teste t da resistência à compressão aos 28 dias para o traço 1:5,0.....	113
Tabela A.23 – Análise da variância das resistências à compressão dos concretos aos 28 dias para o traço 1:5,0	113
Tabela A.24 – Teste de Tukey das resistências à compressão para o traço 1:5,0	114
Tabela A.25 – Comparação entre as médias das resistências para o traço 1:5,0.....	114
Tabela A.26 – Teste F para a resistência à compressão dos concretos no traço 1:6,5	115
Tabela A.27 – Cálculo do Teste t da resistência à compressão aos 28 dias para o traço 1:6,5.....	115
Tabela A.28 – Análise da variância das resistências à compressão dos concretos aos 28 dias para o traço 1:6,5	116
Tabela A.29 – Teste de Tukey das resistências à compressão para o traço 1:6,5	116
Tabela A.30 – Comparação entre as médias das resistências para o traço 1:6,5.....	117
Tabela A.31 – Teste F para o módulo de deformação dos concretos no traço 1:3,5.....	117
Tabela A.32 – Cálculo do Teste t do módulo de deformação para o traço 1:3,5	118
Tabela A.33 – Análise da variância do módulo de deformação dos concretos aos 28 dias para o traço 1:3,5	119
Tabela A.34 – Teste de Tukey dos módulos de deformação para o traço 1:3,5.....	119
Tabela A.35 – Comparação entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:3,5	120
Tabela A.36 – Teste F para o módulo de deformação dos concretos no traço 1:5,0.....	120
Tabela A.37 – Cálculo do Teste t do módulo de deformação para o traço 1:5,0	121
Tabela A.38 – Análise da variância do módulo de deformação dos concretos aos 28 dias para o traço 1:5,0	121
Tabela A.39 – Teste de Tukey dos módulos de deformação para o traço 1:5,0.....	122

Tabela A.40 – Comparação entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:5,0	122
Tabela A.41 – Teste F para o módulo de deformação dos concretos no traço 1:6,5	123
Tabela A.42 – Cálculo do Teste t do módulo de deformação para o traço 1:6,5	123
Tabela A.43 – Análise da variância do módulo de deformação dos concretos aos 28 dias para o traço 1:6,5	124
Tabela A.44 – Teste de Tukey dos módulos de deformação para o traço 1:6,5	124
Tabela A.45 – Comparação entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:6,5	125
Tabela A.46 – Teste F para a absorção por imersão dos concretos no traço 1:3,5	125
Tabela A.47 – Cálculo do Teste t para a absorção por imersão para o traço 1:3,5	126
Tabela A.48 – Análise da variância absorção dos concretos para o traço 1:3,5	127
Tabela A.49 – Teste de Tukey da absorção por imersão para o traço 1:3,5	127
Tabela A.50 – Comparação entre as médias da absorção por imersão para o traço 1:3,5	128
Tabela A.51 – Teste F para a absorção por imersão dos concretos no traço 1:5,0	128
Tabela A.52 – Cálculo do Teste t para a absorção por imersão para o traço 1:5,0	129
Tabela A.53 – Análise da variância absorção dos concretos para o traço 1:5,0	129
Tabela A.54 – Teste de Tukey da absorção por imersão para o traço 1:5,0	130
Tabela A.55 – Comparação entre as médias da absorção por imersão para o traço 1:5,0	130
Tabela A.56 – Teste F para a absorção por imersão dos concretos no traço 1:6,5	131
Tabela A.57 – Cálculo do Teste t para a absorção por imersão para o traço 1:6,5	131
Tabela A.58 – Análise da variância absorção dos concretos para o traço 1:6,5	132
Tabela A.59 – Teste de Tukey da absorção por imersão para o traço 1:6,5	132
Tabela A.60 – Comparação entre as médias da absorção por imersão para o traço 1:6,5	133
Tabela A.61 – Teste F para o índice de vazios dos concretos no traço 1:3,5	133
Tabela A.62 – Cálculo do Teste t para o índice de vazios para o traço 1:3,5	134
Tabela A.63 – Análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:3,5	135
Tabela A.64 – Teste de Tukey do índice de vazios para o traço 1:3,5	135
Tabela A.65 – Comparação entre as médias dos índices de vazios para o traço 1:3,5	136
Tabela A.66 – Teste F para índice de vazios dos concretos no traço 1:5,0	136
Tabela A.67 – Cálculo do Teste t para o índice de vazios para o traço 1:5,0	137
Tabela A.68 – Análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:5,0	137
Tabela A.69 – Teste de Tukey do índices de vazios para o traço 1:5,0	138
Tabela A.70 – Comparação entre as médias do índice de vazios para o traço 1:5,0	138
Tabela A.71 – Teste F para índice de vazios dos concretos no traço 1:6,5	139
Tabela A.72 – Cálculo do Teste t para o índice de vazios para o traço 1:6,5	139

Tabela A.73 – Análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:6,5 .	140
Tabela A.74 – Teste de Tukey do índices de vazios para o traço 1:6,5	140
Tabela A.75 – Comparação entre as médias do índice de vazios para o traço 1:6,5.....	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RBMG	Resíduo de beneficiamento de mármore e granito
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
RCD	Resíduo da Construção e Demolição
CAD	Concreto de alto desempenho
CCA	Cinza de casca de arroz
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
SEPLAN-GO	Secretaria de Planejamento do estado de Goiás
ES	Espírito Santo
MG	Minas Gerais
BA	Bahia
CE	Ceará
PR	Paraná
RJ	Rio de Janeiro
GO	Goiás
SIMAGRAN	Sindicato de Mármore e Granitos do Estado de Goiás
NBR	Norma Brasileira Registrada
CAA	Concreto Auto Adensável
RCG	Resíduo do Corte de Granito
Fe	Ferro
RBCG	Resíduo de Beneficiamento de Chapas de Granito
UFG	Universidade Federal de Goiás
DCT	Departamento de Apoio e Controle Tecnológico
CP II F	Cimento Portland Composto por Fíler Calcário
NM	Norma Mercosul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
LMC	Laboratório de Materiais de Construção
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
CaO	Óxido de cálcio
Na ₂ O	Óxido de sódio
Q	Quartzo
M	Muscovita
Mi	Microclínio
A	Anortita
D	Dolomita
C	Calcita
Kgf	Quilograma-força

LISTA DE SÍMBOLOS

γ	Massa específica (g/cm ³)
M	Massa da areia seca (g)
V	Volume dos grãos da areia (cm ³)
m	porcentagem do material mais fino que a peneira de 75 μ m por lavagem
m_i	massa original da amostra seca (g)
m_f	massa da amostra seca após a lavagem (g)
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/dm ³).
a/c	água/cimento
σ_b	tensão maior, em megapascals ($\sigma_b = 0,3f_c$);
σ_a	tensão básica, em megapascals ($\sigma_a = 0,5MPa$);
ϵ_b	deformação específica média dos corpos - de - prova ensaiados sob a tensão maior;
ϵ_a	deformação específica média dos corpos - de - prova ensaiados sob a tensão básica.
A	absorção por imersão (%)
I_v	índice de vazios
m_{sat}	massa da amostra saturada em água após imersão e fervura
m_s	massa da amostra seca em estufa
m_i	massa com o auxílio de balança hidrostática

SUMÁRIO

RESUMO	04
ABSTRACT	05
LISTA DE FIGURAS.....	06
LISTA DE FOTOS	07
LISTA DE QUADROS.....	08
LISTA DE GRÁFICOS	09
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
LISTA DE SÍMBOLOS	16
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	22
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo geral	23
1.2.2 Objetivos específicos	23
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	25
2.2 A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS.....	27
2.3 RECICLAGEM DO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO	34
2.3.1 Caracterização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito.....	38
2.3.1.1 Caracterização Química	39
2.3.1.2 Caracterização Mineralógica	40
2.3.1.3 Caracterização Física.....	41
2.3.1.3.1 Granulometria a laser	41
2.3.1.3.2 Massa Específica	42
2.3.1.3.3 Finura na peneira n °325.....	43
2.3.1.3.4 Ensaios de Atividade pozolânica	43
3 PROPRIEDADES DO CONCRETO	44
3.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	44
3.1.1 Trabalhabilidade	44
3.1.1.1 Medida da trabalhabilidade	46

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	46
3.2.1 Resistência à compressão axial.....	47
3.2.2 Módulo de deformação	49
3.2.3 Durabilidade	51
3.2.3.1 Absorção de água e índices de vazios.....	52
4 AS ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO	54
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL	57
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	57
5.1.1 Caracterização do agregado miúdo.....	58
5.1.2 Caracterização do agregado graúdo.....	59
5.2 CONCRETO.....	60
5.2.1 Dosagem	60
5.2.2 Mistura dos materiais, confecção dos corpos-de-prova e cura.....	61
5.2.3 Ensaio no estado fresco	64
5.2.4 Ensaio no estado endurecido.....	64
5.2.4.1 Resistência à compressão axial.....	65
5.2.4.2 Módulo de deformação.....	65
5.2.4.3 Absorção por imersão e índice de vazios	66
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	68
6.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO FRESCO – TRABALHABILIDADE.....	70
6.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO ENDURECIDO	75
6.3.1 Resistência à compressão	75
6.3.2 Módulo de deformação	81
6.3.3 Absorção por imersão e Índice de Vazios	83
6.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	86
6.4.1 Resultado da análise estatística quanto ao Slump dos concretos	86
6.4.2 Resultado da análise estatística quanto a resistência a compressão aos 28 dias.....	87
6.4.3 Resultado da análise estatística quanto ao módulo de deformação	88
6.4.4 Resultado da análise estatística quanto a absorção por imersão.....	89
6.4.5 Resultado da análise estatística quanto ao índice de vazios	89

7 CONCLUSÕES.....	91
7.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
APÊNDICE	99

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos processos produtivos, atualmente, é fonte geradora de resíduos que se apresentam na forma de gases, líquidos ou sólidos. A produção destes rejeitos é muito maior que a capacidade de absorção da natureza, causando grande degradação ambiental, além de diversos impactos econômicos e sociais.

A construção civil é o setor da atividade tecnológica que consome grande volume de recursos naturais e que também gera muitos resíduos. Um recurso natural muito utilizado neste setor são as areias, que são destinadas à produção de concretos e argamassas em geral.

Os principais locais de produção de areia são várzeas e leitos de rios. No Brasil, 70% da areia é produzida em leito de rios e 30% nas várzeas. Em 2005, foram produzidos 331 milhões de toneladas de agregados, representando um aumento de 4,8% em relação a 2004. Deste total, 196 milhões de toneladas são representados por areia (DNPM, 2006). Em 2007 foram produzidos 358,0 milhões de toneladas de agregados, representando um aumento de 8% em relação a 2005. Deste total, 146,0 milhões de toneladas são representados por pedras britadas e 212,0 milhões de toneladas por areia (DNPM, 2008).

A exaustão de áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição desta atividade extrativa pelos órgãos de fiscalização ambiental, tem resultado na exploração de areia em locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, o que onera o preço final da areia natural, visto que a distância entre produtor e consumidor tem sido em média 100 km (ALMEIDA e SILVA, 2005).

O uso da areia natural além da problemática econômica há também problemas de ordem ambiental, pois segundo Lelles *et al.* (2005) as atividades de extração de areia são responsáveis por diversos impactos ambientais negativos:

- Depreciação da qualidade do ar, devido ao lançamento de gases provenientes dos motores e de partículas sólidas, em virtude da utilização de maquinarias em diferentes operações;
- Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água, em virtude do surgimento de fenômenos erosivos, decorrentes da exposição do solo às intempéries;
- Contaminação do curso d'água causada pelos resíduos (óleos, graxas, lubrificantes) provenientes de maquinarias utilizadas nos diferentes tipos de operações;

- Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água, devido ao atrito do material mineral com o corpo líquido, durante o processo de extração de areia;
- Diminuição da infiltração de água no solo, devido à compactação ocasionada pelo uso de máquinas pesadas e à impermeabilização promovida pela instalação da infraestrutura do empreendimento;
- Desregularização da vazão dos cursos d'água, devido à erradicação da cobertura vegetal e da compactação do solo;
- Estresse da fauna aquática, ocasionado pela geração de turbulência no curso d'água durante a extração de areia.
- Danos à microbiota do solo, ocasionados pelos trabalhos de remoção da vegetação e abertura da rede viária e pela interferência direta nesta, decorrente da compactação dos solos, em virtude do tráfego de maquinarias pesadas;
- Danos à microbiota do solo, em virtude da maior exposição do solo às intempéries, decorrente da retirada da vegetação nessas áreas.

Percebe-se, então, os danos ao meio ambiente causados pela extração de areia. Uma alternativa para diminuir a utilização da areia na construção civil é a sua substituição por resíduos gerados por alguns setores como o da indústria das rochas ornamentais, sendo esta uma alternativa que contribui para o desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável pode ser definido como uma forma de desenvolvimento econômico que emprega 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. O aumento do consumo dos recursos naturais juntamente com a crescente produção de rejeitos e a busca por um desenvolvimento sustentável, tem dado uma nova dimensão à questão do aproveitamento de resíduos.

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.

Para que a construção civil, portanto, seja inserida no contexto de sustentabilidade é necessário que haja uma redução no consumo de recursos naturais aliada com o uso de

materiais renováveis ou reciclados. A utilização de resíduos na construção constitui não apenas uma resposta racional na melhora da gestão ambiental de atividade industrial, se não também uma necessidade, como se tem assumido em boa parte da indústria da construção em alguns países como Holanda e Japão que necessitam de matérias-primas (GOMES *et al.*, 2003).

A indústria de rochas ornamentais, fortemente relacionada com a indústria de construção civil, também é responsável por diversos impactos ambientais desde a prospecção mineral até a fase de polimento das placas e ladrilhos. Esses impactos incluem poeira, ruído e vibrações, lama e fragmentos de rocha. Cerca de 30% de cada bloco de granito ou mármore é perdido durante a serragem, gerando um resíduo na forma de lama, que depois de seco e destorroado se torna um pó fino. Somente no estado do Espírito Santo, um dos maiores produtores de rochas ornamentais no país, cerca de 65.000 toneladas do resíduo de serragem de mármore e granito são gerados por mês (CALMON *et al.*, 2005).

Devido a enorme quantidade de resíduo gerado pelas indústrias de rochas ornamentais, alguns estudos já foram feitos adicionando este resíduo na produção de argamassas, tijolos cerâmicos, peças cerâmicas, aterros compactados, concretos convencionais e concreto auto-adensáveis (GONÇALVES; MOURA; MOLIN, 2002).

Sendo o concreto um dos materiais da construção civil mais consumido e um material onde grande quantidade de restos industriais podem ser reutilizados, substituindo o material cimentante ou os agregados (MEHTA; MONTEIRO, 1994), esta pesquisa visa estudar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) na produção de concretos.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A principal justificativa desta pesquisa é a possibilidade de utilização de um resíduo que provoca impactos ambientais negativos, mas que pode ter uma contribuição positiva quando inserida em um material de construção como o concreto. Contribuir-se-á, portanto, com uma proposta para a diminuição do impacto ambiental proporcionado pela disposição inadequada do resíduo, bem como para a diminuição do consumo da areia natural de rio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito gerado pelas marmorarias da cidade de Goiânia, no concreto em substituição parcial ao agregado miúdo, verificando a influência do resíduo nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Análise comparativa das propriedades do concreto sem resíduo e com resíduo nos seguintes itens:
 - no estado fresco (consistência);
 - nas características mecânicas do concreto, como a resistência à compressão e módulo de elasticidade;
 - nas propriedades de durabilidade do concreto, como absorção e índices de vazios;
- Estimativa do teor de substituição, em massa, do agregado miúdo pelo resíduo, para o qual o concreto venha apresentar melhor desempenho;
- Análise estatística dos resultados.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação possui 07 capítulos distribuídos da seguinte forma:

- No capítulo 01 apresenta-se a introdução com os danos causados pela extração da areia, o desenvolvimento sustentável, a indústria de rochas ornamentais, bem com a importância da pesquisa, objetivos gerais e específicos.
- No capítulo 02 aborda-se sobre o desenvolvimento sustentável, a reciclagem dos resíduos, a reciclagem do resíduo de beneficiamento de mármore e granito bem como sua caracterização.
- No capítulo 03 aborda-se sobre as propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido.

- No capítulo 04 discorre-se sobre as adições minerais no concreto.
- No capítulo 05 apresenta-se a metodologia utilizada na caracterização dos materiais, na confecção dos corpos de provas e nos ensaios realizados.
- No capítulo 06 apresentam-se os resultados encontrados da caracterização dos materiais e dos concretos no estado fresco e endurecido.
- No capítulo 07 abordam-se as conclusões obtidas mediante os resultados encontrados e propostas para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico, são discorridos temas relevantes para a pesquisa como o desenvolvimento sustentável, a reciclagem dos resíduos e a reciclagem do resíduo de beneficiamento de mármore e granito.

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Durante o período da chamada Revolução Industrial não havia preocupação com a questão ambiental. Os recursos naturais eram abundantes, e a poluição não era foco da atenção da sociedade industrial e intelectual da época. A partir da escassez dos recursos naturais, somado ao crescimento desordenado da população mundial e intensidade dos impactos ambientais, surge o conflito da sustentabilidade dos sistemas econômico e natural, e faz do meio ambiente um tema literalmente estratégico e urgente. O homem começa a entender a impossibilidade de transformar as regras da natureza e a importância da reformulação de suas práticas ambientais.

Surgiu então, no final da década de 80, o conceito de desenvolvimento sustentável como um novo paradigma para nortear as políticas de longo prazo de comunidades, municípios, estados, países e do Planeta como um todo. Segundo o relatório “Nosso Futuro Comum” publicada pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987, desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz nossas necessidades hoje, sem comprometer a capacidade das pessoas satisfazerem as suas no futuro. O conceito de sustentabilidade engloba claramente o meio ambiente, as pessoas e os sistemas econômicos. Significa considerar não apenas as dimensões econômicas e sociais do desenvolvimento. Implica na incorporação de objetivos ecológicos como a conservação dos recursos hídricos, a atenuação das mudanças do clima, a conservação das florestas e da biodiversidade. Sem isso não haverá um futuro promissor para todos, ricos ou pobres.

Segundo John (2000), o que o conceito significa em termos práticos é assunto polêmico por duas razões. Em primeiro, devido a contradição semântica: sustentável implica algo que possa ser mantido indefinidamente, o que contradiz o conceito de desenvolvimento, que implica em transformação, especialmente quando transformam-se recursos não renováveis. A segunda razão é que não se conhece as reais necessidades das gerações futuras, embora se possa admitir que necessitarão de recursos naturais em geral. Independente do seu significado preciso, o paradigma de desenvolvimento sustentável certamente vai implicar na

produção de uma maior quantidade de bens com uma menor quantidade de recursos naturais e menor poluição.

Ou seja, para a produção de um mesmo bem há a necessidade da redução do consumo de materiais e matérias-primas naturais. Esta meta pode ser atingida pela redução e reciclagem dos resíduos, aperfeiçoamento dos projetos, substituição dos materiais tradicionais por outros mais ou equivalentes na eficiência contribuindo até na durabilidade dos produtos. Outras condições para o desenvolvimento sustentável são a redução do consumo de energia, especialmente a produzida pela queima de combustíveis não renováveis e a redução global da poluição gerada, incluindo resíduos.

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).

Villas Boas (1995 *apud* PEREZ, 2001) simplifica, então, os desafios tecnológicos nas atividades industriais a três mínimos exigíveis: mínimo consumo de energia, mínimo consumo de materiais e mínimo impacto ambiental e um máximo: máxima satisfação social. A combinação destes condicionantes não marca uma estratégia concreta, mas uma atitude global direcionada ao conjunto de estratégias que se incluem sob a denominação de tecnologias limpas.

Em relação a indústria da construção civil, percebe-se que ela se faz presente em todas as regiões do planeta ocupadas pelo homem, na cidade ou no campo e até mesmo entre povos da floresta. Todos os edifícios e suas conexões viárias, hidráulicas e elétricas são, em maior ou menor grau, um produto da construção civil, sendo conseqüentemente o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia (JOHN, 2000). Estimativas precisas são difíceis de serem realizadas, mas para Sjöstrom (1996, *apud* JOHN, 2000) a construção civil consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta. A melhoria e ampliação do ambiente construído com o emprego de um volume proporcionalmente inferior de recursos naturais é certamente o maior desafio da construção civil.

Buhé (1997) afirma que o setor da construção civil deve ser visto como um campo importante em se considerando a reciclagem, devido à grande variedade de materiais de que ele necessita, aos volumes consumidos e também porque resíduos incorporados aos produtos utilizados no setor estão imobilizados por um longo período de tempo, uma vez que a vida útil dos produtos da construção civil é freqüentemente muito grande.

Portanto, para que a construção civil seja inserida no contexto de sustentabilidade é necessário que haja uma redução no consumo de recursos naturais aliada com o uso de materiais renováveis ou reciclados. A potencialidade de incorporar grandes quantidades de resíduos se deve ao fato da construção civil consumir, independente da região, um grande volume de matéria-prima, sendo alguns com poucas exigências quanto as suas propriedades e de serem de produção simples (LAMEIRAS; TENÓRIO; LIMA, 2005; MOURA, 2004).

2.2 A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS

O acelerado desenvolvimento da sociedade leva todos os dias, ao meio ambiente, um grande número de materiais que descaracterizam paisagens e polui os elementos vitais à sobrevivência do ser humano: o solo, o ar e a água. No combate a estes problemas, a reciclagem é uma das propostas que mais ganham estímulo. Hoje, no mercado, já existem vários produtos que são produzidos com materiais reciclados: papel higiênico, embalagens de alumínio, embalagens e subprodutos do aço e outros (SANTOS, 2005).

Segundo John (2000) na gestão de resíduos vigora uma hierarquia de objetivos:

- Reduzir a geração do resíduo na fonte;
- Reutilizar o resíduo;
- Reciclar;
- Incinerar recuperando a energia;
- Depositar em aterros sanitários.

Entretanto esta hierarquia é questionável, uma vez que a melhor alternativa é, por definição, aquela de menor impacto ambiental global. E também não se pode considerar as quatro alternativas como mutuamente excludentes. Como um resíduo é algo bastante heterogêneo em função da sua origem e das contaminações no processo de geração e manuseio, é mais lógico adotar, para diferentes frações, diferentes objetivos: reutilizar as íntegras, reciclar as parcialmente danificadas e incinerar ou depositar em aterro as muito contaminadas (JOHN, 2000).

Para que a utilização dos resíduos seja viável nos aspectos técnicos e econômicos, alguns fatores segundo Moura (2004) devem ser considerados:

- Levantamento de dados sobre a disponibilidade do resíduo;
- Caracterização quanto à sua composição química;
- Identificação das propriedades físicas e mecânicas;

- Seleção de possíveis aplicações;
- Identificação das propriedades do produto final;
- Proximidade da instalação de processamento;
- Custo de transporte dos resíduos;
- Volume de resíduos disponível para o reprocessamento;
- Custo de estocagem do resíduo no local de geração ou afastado da origem;
- Custo da reciclagem seja igual ou inferior ao custo total para descartá-lo adequadamente.

Como vantagens potenciais da reciclagem John (2000) cita:

- Preservação dos recursos naturais;
- Redução do volume de aterros e incineração;
- Redução do consumo energético para a produção de um determinado bem;
- Redução da poluição emitida para a fabricação de um mesmo produto;
- Geração de empregos;
- Aumento da durabilidade da construção em determinadas situações.

Apesar destas vantagens a reciclagem de resíduos no Brasil, como materiais de construção é ainda tímida, com exceção da reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e aço. A indústria cimenteira recicla aproximadamente mais de 5 milhões de toneladas por ano de escória de alto-forno, cinzas volantes, etc. O setor siderúrgico é também um grande reciclador, com pelo menos 6 milhões de sucata reciclada anualmente (JOHN, 2000).

Dentro da construção civil, é possível ver algumas formas de reciclagens de resíduos industriais que se consolidaram como materiais para aplicações específicas. Dentre estes materiais, pode-se citar a sílica ativa que passou de um resíduo da indústria de ferro-silício a um material muito importante na produção de concreto de alto desempenho. Outros produtos, como escória de alto-forno e cinza de casca de arroz, tomaram o mesmo rumo.

Vários centros de pesquisa ainda estudam a utilização de outros resíduos em argamassas, materiais cerâmicos e concretos. Ferraz (2004) apresentou composições de solo comumente encontrados na Região Oeste do Estado de São Paulo com resíduos de argamassa de cimento, tendo em vista a fabricação de tijolos prensados de solo-cimento. Os resultados obtidos mostraram que a adição do resíduo de argamassa de cimento ao solo melhorou as propriedades mecânicas do solocimento, possibilitando redução de custos e produção de tijolos prensados de melhor qualidade, constituindo-se, portanto, numa excelente alternativa para o aproveitamento deste material.

Santos (2006) pesquisou cinco teores de substituição (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) do agregado graúdo natural pelo resíduo de construção e demolição (RCD) na produção de concretos e concluiu que a medida que se diminuem os consumos de cimento nos traços, as resistências à compressão e à tração dos concretos com reciclado se aproximam dos valores obtidos com os concretos de referência, mostrando a viabilidade da utilização do agregado graúdo reciclado para produção de concreto.

Souza (2006a) estudou composições de solo com resíduos de concreto, tendo em vista a produção de tijolos prensados de solo-cimento e, desta forma, propor soluções técnicas para reduzir o custo de produção do solo-cimento, melhorar a qualidade dos tijolos e propiciar condições para o aproveitamento deste resíduo. Os resultados obtidos mostraram que a adição do resíduo de concreto ao solo melhorou as propriedades mecânicas do solo cimento.

Scot Hood (2006) utilizou o RCD como agregado miúdo reciclado em substituição ao agregado miúdo natural em blocos de concreto para pavimentação. Foi utilizado o intervalo de teores entre 0 % e 100%, e após a realização dos ensaios, verificou-se que para o teor de 25% de substituição o material reciclado é passível de utilização, sendo que para os outros teores os resultados foram insatisfatórios.

Souza (2006b) analisou o desempenho de argamassas para concreto estrutural convencional confeccionadas com fator água/cimento igual a 0,5 e com agregados miúdos provenientes da britagem de concretos. Os resultados indicam que a substituição de até 25% da areia natural por agregados miúdos de concreto britado não afeta significativamente as propriedades mecânicas do composto. Por outro lado essa mistura, apesar de ser mais porosa, poderia contribuir para um composto mais durável que o concreto convencional no tocante a reação de ataque a sulfato.

Lima (2007) estudou o RCD na fabricação de tijolos de solo-cimento substituindo o solo nos teores de 10%, 15% e 30% e concluiu que o teor de 30% foi o que obteve melhor resultado e viabilidade de utilização.

Há também estudos das fibras de borracha de pneu provenientes da recauchutagem (FRANÇA, 2004; SANTOS, 2005; MARTINS, 2005; MARQUES, 2005; BARBOSA, 2006; TRIGO, 2008). França (2004) estudou a aderência entre aço e concreto com concreto convencional e com concreto contendo 10% de resíduo de borracha em substituição a areia, em volume, nas idades de 28 e 90 dias. Os resultados obtidos através dos ensaios de aderência confirmam má viabilidade da utilização do resíduo de borracha em substituição ao agregado miúdo em concreto, seguindo a composição adotada.

Santos (2005) estudou o comportamento do concreto com adição de fibras de borracha produzidas na recauchutagem do pneu, aplicando à confecção de placas pré-moldadas para analisar o seu comportamento diante de esforços mecânicos. Os teores das adições foram os usuais para fibras (1%, 2%, 3%), sendo a dosagem de 2% em relação ao peso de cimento como sendo a ideal.

Martins (2005) analisou o concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu, na proporção de 3% e 5% do resíduo nas granulometrias denominadas pelo autor como fina, média e grossa e concluiu que há melhorias na adição do resíduo.

Marques (2005) estudou algumas propriedades de concretos e argamassas, com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de borracha de pneus provenientes do processo de recauchutagem. As substituições foram de 12% em volume do agregado miúdo por borracha para argamassa e 10% em volume para concreto. Os resultados obtidos em argamassas, após o tratamento do resíduo, mostram que este não influencia nas propriedades estudadas. Também é observado, após a substituição de parte do agregado pelo resíduo, queda na trabalhabilidade e nos resultados referentes à resistência mecânica. Os resultados de resistência à abrasão em concreto mostram-se interessantes para o uso da mistura em pavimentação.

Barbosa (2006) abordou a aplicação da tecnologia dos concretos de alto desempenho (CAD) para a produção de concretos com incorporação dos resíduos: a cinza de casca de arroz-CCA (amorfa e cristalina), por meio da substituição em massa de parte do material aglomerante e borracha de pneu em substituição parcial do agregado miúdo em volume, avaliando suas influências sobre as propriedades mecânicas e durabilidade. Os concretos com incorporação de cinzas (amorfa e cristalina) e borracha apresentaram superioridade das propriedades mecânicas e boa resistência à abrasão e à resistência ao impacto, em relação ao concreto sem incorporação mineral e Borracha.

Trigo (2008) estudou o resíduo proveniente do processo de recauchutagem de pneu, utilizando-o como parte do agregado para concreto para lajes de forro. Conclui-se que existem desvantagens no desempenho estrutural ao empregar o resíduo de borracha em lajes pré-moldadas treliçadas. Entretanto, este fato não inviabiliza o seu uso tecnicamente, e ainda apresenta grande vantagem quanto ao aspecto ambiental, que é dar destinação adequada para o resíduo em questão.

Zhang *et al.* (1996) realizaram um estudo com substituição de 10% do cimento por cinza de casca de arroz, encontrando uma diminuição dos índices de Ca(OH)_2 devido à reação pozolânica e uma redução da porosidade na zona de transição, que contribuiriam para a

redução da zona de interface entre pasta e agregados, com um conseqüente aumento da resistência.

Silva *et al.* (2006) constatou a influência da adição da cinza de casca de arroz (CCA) no ensaio de retração por secagem. Os teores adotados para verificar tal influência foram: referência (0%), 5%, 10%, 20%, 30% e 50% de CCA em substituição à massa do cimento, mas mantendo o volume constante. Foi verificado que de acordo com o aumento do teor de CCA, houve um aumento da variação da retração por secagem. Fazendo uma análise do resultado do ensaio, foi possível concluir que a adição de CCA com baixas porcentagens é viável no combate à retração por secagem.

Cordeiro (2006) investigou a viabilidade de utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concretos de resistência convencional (25 MPa) e de alto desempenho (60 MPa). A investigação em concreto foi conduzida mediante a comparação de propriedades reológicas e mecânicas, além de características associadas à durabilidade e à exotermia da reação de hidratação, entre misturas com cinzas, em teores de substituição de cimento Portland de 10%, 15%, 20% e 40%, e concretos de referência. Os resultados indicaram que é possível a produção de concretos de alto desempenho tecnológico e mínimo impacto ambiental a partir de cinzas ultrafinas do bagaço e da casca de arroz. A cinza ultrafina do bagaço promoveu benefícios reológicos ao concreto, além de redução da absorção capilar de água e penetração iônica. Com as cinzas ultrafinas da casca de arroz, produzidas a partir de cinzas com diferentes teores de carbono, houve melhoria das propriedades mecânicas e na durabilidade dos concretos.

Tiboni (2007) analisou a viabilidade da aplicação da cinza da casca de arroz (CCA), como adição mineral em concretos duráveis. Com 88% de sílica em sua composição, a CCA tem grande potencial de utilização em concretos porque possibilita o aumento da resistência à compressão pelas suas características de alta pozolanicidade e grande finura. Misturas de argamassas padrão contendo 0, 5, 10 e 15% de CCA moídas apenas industrialmente e com moagem adicional de 1 hora, foram confeccionadas a fim de se avaliar o comportamento do aglomerante (CPV – ARI PLUS + CCA) em relação à resistência mecânica. Concretos com traços 1:3,5, 1:5 e 1:6,5, relação água-aglomerante igual a 0,45 e 15% de CCA foram ensaiados à compressão. Os ensaios mostraram que a CCA é predominantemente cristalina e tem alta pozolanicidade. Quanto às argamassas padrão e aos concretos, os resultados mostraram que a utilização da CCA em compósitos à base de cimento é viável, além de ser ecologicamente correta.

A escória de aciaria, segundo Moura (2004) vêm sendo empregadas como agregado graúdo para concreto asfáltico, base e sub-base de rodovias, lastro de ferrovias e estabilização de solos. Lima (1999 *apud* Moura, 2004) realizou, na Espanha, estudos utilizando escória de aciaria de forno elétrico, como agregado miúdo e graúdo para concreto. Os resultados mostraram um melhor desempenho, quanto às resistências mecânicas, dos concretos com agregado de escória em relação ao agregado convencional. Foram realizados ensaios de durabilidade: ataque por sulfatos, carbonatação, efeitos da água do mar e reação álcali agregado. Os concretos com agregado de escória apresentaram bom desempenho frente a estes ensaios.

Silva (1994 *apud* Moura, 2004) desenvolveu uma pesquisa utilizando os resíduos da escória empregada como abrasivo no jateamento de estaleiros no Rio de Janeiro, como agregado miúdo para argamassa e concreto e pré-moldados. Os resultados mostraram que as argamassas produzidas com a utilização de escória de cobre como agregado miúdo apresentaram um melhor desempenho em relação às convencionais, chegando a aumentar em 7% a resistência à compressão axial. O desempenho deste resíduo no concreto também foi comparável ao da areia. No que se refere à utilização desta escória na fabricação de pré-moldados, os resultados foram satisfatórios, levando em consideração as especificações das normas brasileiras.

Fonseca (2006) estudou o agregado reciclado de telha cerâmica, onde foram produzidos concretos de referência com agregados naturais, e outros com substituição parcial e total do agregado graúdo pelo agregado reciclado de telha cerâmica. Os concretos com agregado reciclado, apresentaram resistência mecânica mais baixa do que os concretos de referência. Mantendo-se o consumo de cimento e a trabalhabilidade constantes, a resistência mecânica foi melhor ao se utilizar um aditivo plastificante; o mesmo ocorreu ao se manter a relação a/c constante com maior consumo de cimento.

Baptista (2007) analisou o desempenho do concreto feito com uma mistura de agregados na qual a brita (agregado graúdo) foi substituído gradativamente por outro agregado sintético, o resíduo de poliuretano (PU) oriundo da indústria calçadista. Os resultados obtidos com os diferentes ensaios nas diversas misturas apontam para uma possível utilização deste concreto com agregado de PU na construção civil, principalmente em peças não estruturais.

Fontes (2003) pesquisou a potencialidade da cinza de lodo de estação de tratamento de esgoto (CLE), após calcinação, como substituto parcial do cimento Portland na produção de argamassas e concretos. Uma das fases do estudo consistiu na produção e

caracterização físico-mecânica das argamassas e concretos de resistência normal e de alto desempenho contendo teores de substituição de cimento por CLE de 5% a 30%. Além disso, com o objetivo de avaliar o encapsulamento de alguns contaminantes perigosos existentes na CLE foram realizados ensaios de solubilização e lixiviação no concreto. Os resultados mostraram que o uso da CLE é viável tecnicamente devido a uma melhoria nas propriedades investigadas, além de trazer benefícios econômicos pela redução do consumo de cimento. Quanto à análise ambiental, os resultados indicam que o concreto conseguiu reter de forma segura a CLE em sua matriz cimentícia.

Gonçalves (2005) desenvolveu e caracterizou materiais cimentícios de baixo impacto ambiental contendo metacaolinita, resíduo da indústria cerâmica e areia artificial. As argilas calcinadas foram utilizadas como substitutas parciais do cimento Portland em teores que variaram de 10 a 40% (em massa) enquanto que a areia natural foi totalmente substituída pela areia artificial. Foram produzidos e caracterizados os concretos de resistência normal e de alto desempenho contendo areia artificial e os teores ótimos de metacaolinita e de resíduo cerâmico. A redução na emissão de CO₂ e no consumo de energia dos concretos de baixo impacto ambiental contendo resíduo cerâmico foi também determinada.

A capacidade da cadeia produtiva da construção civil de reciclar resíduos, segundo John (2000), se deve a vários fatores:

- A construção civil é a maior consumidora de materiais na economia, portanto, tem maiores possibilidades de reciclar;
- Os diferentes ramos da cadeia produtiva estão presentes em todas as regiões, o que facilita projetos de simbiose industrial e permite uma reciclagem local, já que a questão geográfica é crítica neste tipo de trabalho;
- A construção civil consome uma enorme variedade de materiais – sejam minerais/silicosos, poliméricos ou metálicos;
- Boa parte dos componentes de construção é de produção simples, como os componentes produzidos com agregados e aglomerantes inorgânicos. Requisitos como esterilidade, purezas elevadas, etc. são dispensáveis na maioria das aplicações comuns da construção civil, simplificando os processos;
- Existe a possibilidade da utilização de produtos com resistência mecânica baixa se comparada com outros setores de engenharia, o que torna possível a convivência com materiais com quantidade de defeitos micro-estruturais e impurezas;

- Capacidade de reciclar seus próprios resíduos, o resíduo de construção e demolição, cujo volume e forma de deposição atualmente apresentam grandes conseqüências ambientais.

Considerando então que a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental e que os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a Resolução nº307/2002 que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Entretanto, existem barreiras para a introdução de novos produtos contendo resíduos: legais/regulamentares, educação e informação, tecnológicas, econômicas e geográficas. Estas barreiras devem ser vencidas, pois a reciclagem é essencial para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é impossível pensar em uma sociedade que não gere resíduo (JOHN, 2000).

2.3 RECICLAGEM DO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO

As rochas ornamentais e de revestimento são pedras naturais que podem ser extraídas em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e depois beneficiadas por meio de esquadreamento, polimento, lustro e outras técnicas. São utilizadas tanto como peças isoladas (esculturas, tampos e pés de mesas, balcões e arte funerária em geral), e ainda em edificações, onde se destacam como revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas e soleiras (SEPLAN-GO, 2006).

A produção estimada de rochas ornamentais em 2006, apresentou variação positiva de 9,1% de 2005 para 2006, atingindo 7.521.759 toneladas. Noventa por cento da produção nacional está representada em ordem decrescente pelos estados ES, MG, BA, CE, PR, RJ e GO. Os estados do Espírito Santo e Minas Gerais detêm entre 70% a 75% dessa produção (DNPM, 2008). As rochas ornamentais de maior valor agregado, representadas pelas chapas e produtos acabados, são comercializadas por empreendimentos denominados serrarias e marmorarias. O Brasil possui aproximadamente 7.000 marmorarias, que fazem a serragem e o polimento das chapas ornamentais, estima-se que estas empresas produzam anualmente, cerca de 190.000 toneladas de lama do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), que é depositada em tanques de decantação (LOPES, 2007).

Segundo o Sindicato de Mármore e Granitos do Estado de Goiás (SIMAGRAN-GO), o estado conta atualmente com cerca de 180 marmorarias formais. A maior parte das empresas é de pequeno porte e possui gestão familiar. Essas empresas, em quase sua totalidade, processam rochas silicáticas e carbonárias provenientes de outros Estados, principalmente do Espírito Santo (SEPLAN-GO, 2006).

Nas marmorarias, o resíduo de beneficiamento de mármore e granito é gerado (Figura 2.1 e 2.2) devido ao uso das serras (Figura 2.1) e politrizes para que as chapas fiquem no formato especificado pelo cliente. Este resíduo é o objeto de estudo desta pesquisa e que de acordo com a norma brasileira NBR10004 (ABNT, 2004), que classifica os resíduos em perigosos (classe I) e não perigosos (classe II), enquadra o RBMG na classe II-B inerte (CALMON *et al.*, 2005).



Figura 2.1 – Corte de chapas de granito e mármore

Normalmente, nas marmorarias, a lama gerada devido ao corte e polimento das chapas é depositada em tanques de decantação (Figura 2.2). Os tanques fazem a separação da lama, na qual os sedimentos ficam no tanque e a água é separada, sendo bombeada e reaproveitada.



Figura 2.2 - Tanques de decantação (LOPES, 2007)

A lama que fica depositada nos tanques de decantação é retirada ou pelos próprios funcionários da empresa ou por meio dos caminhões limpa-fossa, dando uma destinação inadequada ao RBMG, pois são depositadas em lotes clandestinos ou às margens dos rios.

Para possibilitar uma destinação adequada a este resíduo alguns estudos já foram realizados. Lisboa (2004) pesquisou a utilização do RBMG nos concretos auto-adensáveis onde verificou a viabilidade técnica da utilização do resíduo. Cavalcanti (2006) também estudou o RBMG no concreto auto-adensável (CAA), onde fez comparações deste resíduo composto por granulometrias diferentes e com o concreto convencional verificando a viabilidade técnica.

Gonçalves (2000) realizou a caracterização física, química e de risco ambiental do resíduo de corte de granito (RCG), bem como a avaliação do potencial de oxidação do Fe contido. Foi também verificada a viabilidade técnica do seu uso em concretos, com adição em teores de 10% e 20% em relação à massa de cimento. Para os concretos produzidos, foram avaliadas as propriedades do concreto endurecido (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão), e parâmetros de durabilidade (absorção por sucção capilar e absorção por imersão). A análise dos resultados permite concluir que o resíduo de corte de granito não apresenta riscos ambientais, que sua utilização como adição em concretos é viável tecnicamente, e que 10% de adição é o teor que apresenta melhor desempenho.

Lameiras (2004) estudou a viabilidade de incorporação do Resíduo do Beneficiamento de Chapas de Granito (RBCG) em concretos. No estudo da incorporação do

RBCG ao concreto o programa experimental utilizou dois concretos com diferentes fatores água: cimento como referência e foram realizadas substituições em diversas proporções de cimento Portland (05% e 10%) e agregado miúdo (05%,10% e 30%) pelo RBCG. As propriedades dos concretos analisadas foram suas consistências, massas específicas no estado fresco e endurecido, resistências à compressão, módulos de elasticidade, absorções de água e índice de vazios. Os resultados obtidos mostram que o RBCG se comporta somente com um fíler, não possuindo reatividade pozolânica, porém, a substituição de grandes quantidades do resíduo em lugar ao agregado miúdo se mostrou viável, obtendo-se, inclusive, ganhos de resistência à compressão dos concretos como pode-se observar nas Tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1 – Resistências à compressão dos concretos com a/c iguais a 0,45

Concreto	Resistência à compressão média (MPa)		
	7 dias	28 dias	56 dias
REF	33,71	43,97	46,92
CIM05%	31,80	39,64	44,44
CIM10%	26,44	40,15	43,29
AGR05%	35,30	45,04	46,66
AGR10%	35,74	43,77	45,96
AGR30%	31,37	40,17	44,40

Fonte: Lameiras (2004)

Tabela 2.2 – Resistências à compressão dos concretos com a/c iguais a 0,65

Concreto	Resistência à compressão média (MPa)		
	7 dias	28 dias	56 dias
REF	19,04	23,16	25,78
CIM05%	17,41	21,68	22,25
CIM10%	15,13	19,57	20,41
AGR05%	18,27	23,11	25,49
AGR10%	20,42	25,61	28,26
AGR30%	20,85	29,28	29,56

Fonte: Lameiras (2004)

Miranda (2007) estudou a viabilidade técnica da aplicação de resíduo gerado no beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento, com a finalidade de melhorar o desempenho do material. Na composição das misturas, medidas em massa, o resíduo e o cimento foram adicionados em função da massa do solo. Estudou-se a adição de

quatro porcentagens do resíduo: 0%, 10%, 15% e 30%. A adição do resíduo proveniente de beneficiamento de mármore e granito possibilitou condições técnicas favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo-cimento com qualidade e redução no consumo de cimento.

Lopes (2007) pesquisou a viabilidade técnica da utilização do RBMG, gerado por três marmorarias, da cidade de Goiânia, como substituição parcial do cimento na produção de concretos. 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. 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 fíler. 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.

2.3.1 Caracterização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito

O resíduo utilizado nesta pesquisa foi coletado e caracterizado por Lopes (2007). O RBMG foi fornecido por uma marmoraria localizada na cidade de Goiânia, que utiliza o mármore e granito no seu processo de beneficiamento.

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 para o destorroamento do RBMG, sendo utilizada 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 Figura 2.3, mostra o resíduo seco e peneirado, no Laboratório de Materiais de Construção da UFG.



Figura 2.3 - RBMG, seco, peneirado e destorroado (LOPES, 2007)

Os ensaios de caracterização química, física e mineralógica do RBMG, foram realizados por Lopes (2007) 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 $75\mu\text{m}$).

2.3.1.1 Caracterização Química

A Tabela 2.3 apresenta a composição química do resíduo (RBMG).

Tabela 2.3 – Análise química do RBMG

Composição química do resíduo (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Eq. Alcalino	TiO ₂	CaSO ₄	SO ₃	Perda ao fogo
	54,10	10,28	7,26	11,27	1,72	2,84	3,94	5,43	xx	0,03	0,02	7,84

Fonte: Lopes (2007)

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2.3, observa-se que o resíduo é constituído predominantemente por sílica (SiO₂), óxido de cálcio (CaO), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃).

2.3.1.2 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.

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.

O gráfico da Figura 2.4 representa a relação entre o ângulo de difração (eixo horizontal), que fornece o espaçamento do arranjo cristalino, e a intensidade de picos (eixo vertical).

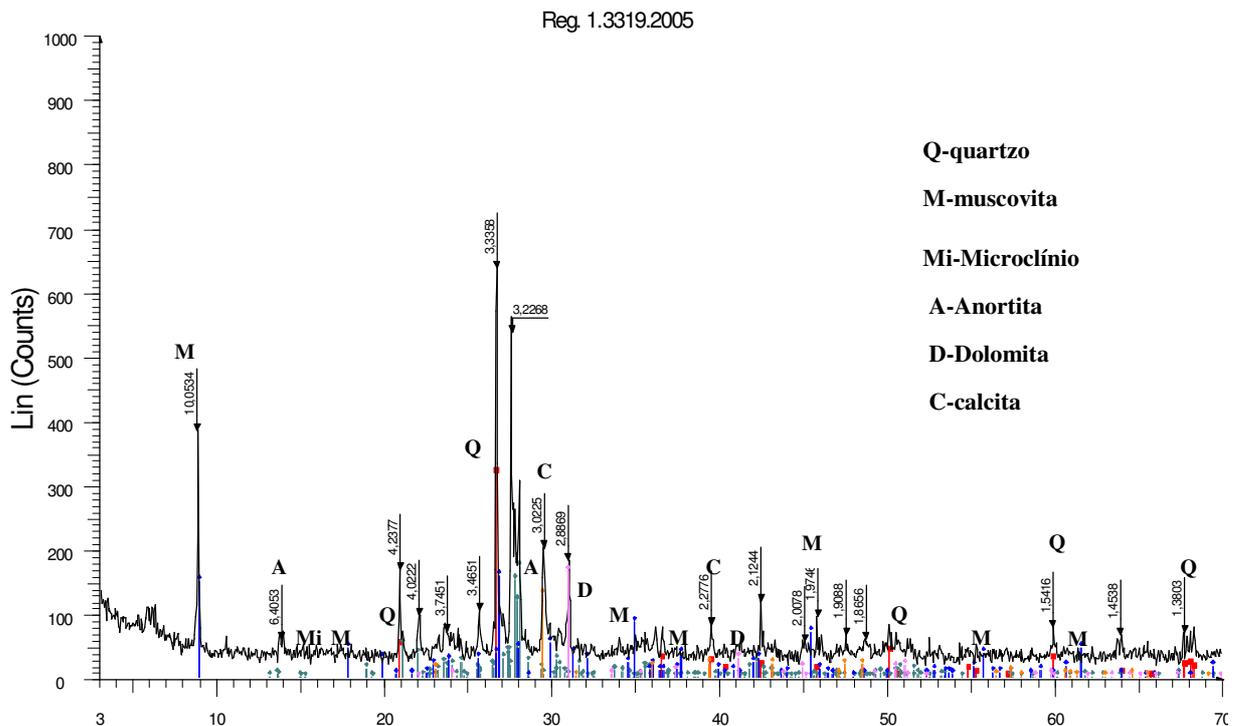


Figura 2.4 - Difratograma da amostra do RBMG (LOPES, 2007)

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.

2.3.1.3 Caracterização Física

2.3.1.3.1 Granulometria a laser

O ensaio de granulometria a laser foi realizado com a utilização do aparelho granulometro a laser. Este aparelho utiliza um líquido para a melhor dispersão das partículas. Para o RBMG, utilizou-se a água destilada como líquido dispersante.

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 0,0005 mm, com o diâmetro máximo sendo aquele que obtiver 100% de material passante.

A Tabela 2.4, 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 75µm), e também faz uma comparação com as partículas do cimento utilizado na pesquisa de Lopes (2007).

Tabela 2.4 – 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	18,14	63	1,62	53,38	0,92
CP II F-32	8,27	57	1,29	25,50	0,28

Fonte: Lopes (2007)

Os resultados da Tabela 2.4 mostram que o RBMG, possui maior diâmetro médio em comparação ao do cimento (CP II F-32). Como o diâmetro médio do resíduo é inferior a 50µm, ele pode ser considerado um fíler. A Figura 2.5 apresenta as curvas granulométricas do resíduo e do cimento utilizado na pesquisa de Lopes (2007).

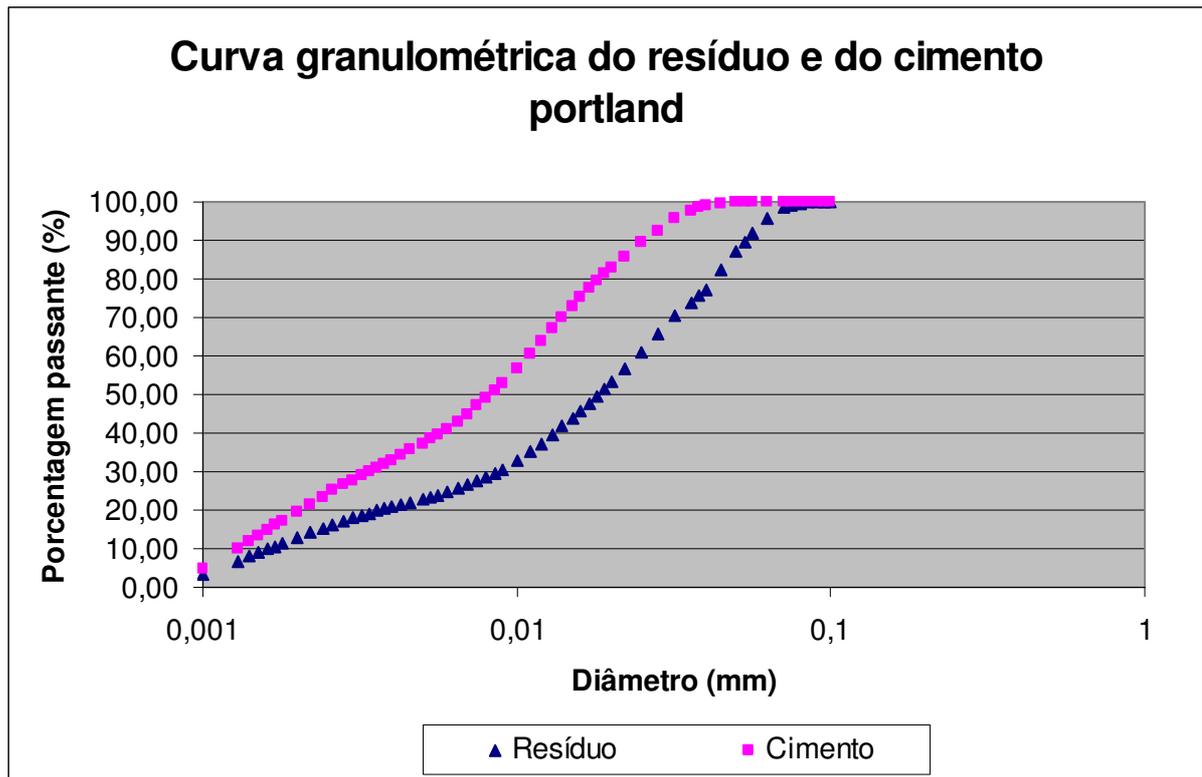


Figura 2.5 – Curvas granulométricas do resíduo e do cimento Portland (LOPES, 2007)

2.3.1.3.2 Massa Específica

A massa específica do RBMG foi determinada, de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001).

A tabela 2.5, apresenta as massas específicas do RBMG obtidas por Lopes (2007) e do RCG e RBCG encontrados na literatura.

Tabela 2.5 – Massa específica do resíduo

Materiais	Massa Específica (g/cm³)
RBMG	2,7
RBCG (LAMEIRAS, 2004)	2,67
RCG (GONÇALVES, 2000)	2,81

Fonte: Lopes (2007)

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.

2.3.1.3.4 Finura na peneira n° 325

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

A Tabela 2.6 apresenta os resultados da finura dos grãos do RBMG na peneira n° 325, e também faz uma comparação com os resíduos RBCG e RCG.

Tabela 2.6 – Determinação da finura dos grãos

Materiais	Resíduo na peneira n° 325 (44µm)
	(%)
RBMG	21,50
RBCG (LAMEIRAS, 2004)	10,25
RCG (GONÇALVES, 2000)	28,75

Fonte: Lopes (2007)

Os resultados da Tabela 2.6 mostraram que os resíduos provenientes de rochas ornamentais apresentam variações em suas finuras.

2.3.1.3.4 Ensaio de Atividade pozolânica

Em função da presença de altos teores de sílica (SiO₂), encontrados na análise química, Lopes (2007) avaliou a atividade pozolânica do RBMG, uma vez que a bibliografia sobre o tema, tem mostrado a sua não atividade pozolânica.

Foram realizados os ensaios de atividade pozolânica do RBMG com a cal e o cimento, seguindo-se os procedimentos da NBR 5751 (ABNT, 1992a) e NBR 5752 (ABNT, 1992b) respectivamente. Também verificou-se a atividade pozolânica pelo método de Fratini seguindo-se a NBR 5753 (ABNT, 1992c). Em ambos os ensaios verificou-se que o RBMG comporta-se como um material não pozolânico.

3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

3.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Para a execução de uma estrutura o concreto deve atender necessidades que permitam sua concretagem, desde que atingidos, no estado endurecido, os parâmetros de estabilidade e durabilidade preestabelecidos na fase de projeto. É importante, portanto, que certas propriedades do concreto fresco sejam estabelecidas com a finalidade de atingir esses objetivos, como trabalhabilidade suficiente que permita realizar as etapas de transporte, de lançamento, de adensamento e de acabamento, mantendo-o homogêneo. Para isso, a mistura no estado fresco deve-se manter, durante essas etapas, com fluidez e coesão mínimas, de acordo com as condições de lançamento do concreto (GUIMARÃES, 2005).

São propriedades do concreto fresco: a consistência, a textura, a trabalhabilidade, a integridade da massa (oposto de segregação), o poder de retenção de água (oposto de exsudação) e a massa específica. As quatro primeiras citadas são, muitas vezes, englobadas sob o termo trabalhabilidade, medindo-se normalmente essa propriedade pela medida de consistência (PETRUCCI, 1981).

3.1.1 Trabalhabilidade

Apesar de ser a mais importante característica do concreto fresco, a trabalhabilidade é de difícil conceituação, visto envolver ou englobar uma série de outras propriedades. Para Petrucci (1981) trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada finalidade, sem perda de sua homogeneidade.

Segundo Alves (1999) trabalhabilidade é a propriedade do concreto de ser misturado, transportado e aplicado sem perda de sua homogeneidade. É uma propriedade que depende da mistura e das condições de execução da obra. Se o concreto mantém suas características estáveis desde sua fabricação até a aplicação, é definido como homogêneo. A homogeneidade é garantida pela coesão que mantém os materiais grão a grão.

Mehta e Monteiro (1994) afirma que a trabalhabilidade é uma propriedade composta de pelo menos dois componentes principais: a fluidez, que descreve a facilidade de mobilidade e a coesão, que descreve a resistência à exsudação ou à segregação.

A trabalhabilidade necessária pode variar dependendo do tipo de equipamento de mistura, transporte ou consolidação, como do sistema de lançamento, ou com as dimensões e formas da peça a ser moldada. Por exemplo, um concreto relativamente seco pode ser adequado para o concreto massa de usinas hidrelétricas, enquanto dificilmente seria moldado satisfatoriamente em uma peça estreita, com alta densidade de armadura. Normalmente um concreto trabalhável é plástico, embora concretos secos são adequados sob determinadas condições de lançamento e considerados trabalháveis (ANDRIOLO E SGARBOZA, 1993).

Alguns fatores influenciam a plasticidade da mistura do concreto assim como algumas propriedades (ANDRIOLO E SGARBOZA, 1993):

- Plasticidade da pasta;
- Quantidades relativas da pasta e do agregado;
- Forma e dimensão dos grãos de cimento ou material pozolânico;
- Graduação dos agregados;
- Forma e superfície dos agregados;
- Resistência ao atrito para se iniciar o escoamento;
- Mobilidade da massa após o escoamento ter iniciado;
- Coesividade ou resistência à segregação.
- Dimensões e armadura da peça a executar.

Segregação é a perda de uniformidade da distribuição dos componentes do concreto fresco. É uma tendência natural o concreto, principalmente nas etapas de transporte, lançamento e adensamento. As diferenças nas massas específicas e nos tamanhos das partículas dos materiais constituintes do concreto são as causas primárias da segregação. Após considerável segregação do concreto fresco é impossível sua compactação próxima da ideal, comprometendo sua resistência após endurecido e a durabilidade da estrutura.

Segregação excessiva pode ocorrer em concretos pouco coesivos devido à facilidade de deslocamento dos agregados em relação à pasta fresca. Adição de finos aumenta a coesão do concreto; logo, o aumento do teor de cimento ou o uso de adições tornam o concreto menos sujeito à segregação. O ar incorporado atua como um material fino, diminuindo a segregação.

Exsudação é a separação de parte da água de mistura do concreto, a qual tende a subir para a superfície do concreto recém-adensado. Parte dessa água acumula-se na parte inferior dos agregados graúdos e das barras de aço prejudicando a aderência e a resistência

final do concreto. Portanto, no sentido horizontal, há formação de um caminho preferencial de agentes de ataque e diminuição da resistência à compressão nesse sentido.

3.1.1.1 Medida da trabalhabilidade

A definição de trabalhabilidade, a natureza composta desta propriedade, e a sua dependência do tipo de construção e dos métodos de lançamento, adensamento, e acabamento, são as razões pelas quais nenhum método único de ensaio pode ser projetado para medir trabalhabilidade (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

O ensaio universalmente usado, que mede a consistência do concreto, é denominado ensaio de abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998). Para misturas mais secas o método utilizado é o ensaio de Vebe, que é o segundo método em ordem de importância. O terceiro método é o ensaio do fator de compactação, que procura avaliar a característica de compactabilidade de uma mistura de concreto.

O equipamento para o ensaio de abatimento do tronco de cone consiste de uma haste de socamento e de um tronco de cone de 300 mm de altura, 100 mm de diâmetro no topo e 200 mm de diâmetro na base. O tronco é preenchido com concreto e vagarosamente suspenso. A diminuição da altura do tronco de cone é chamada de abatimento do concreto. Este ensaio não é adequado para medir a consistência de concretos muito fluídos ou muito secos.

O equipamento do ensaio Vebe consiste de uma mesa vibratória, um recipiente cilíndrico, um tronco de cone, e um disco de vidro ou plástico com movimento livre e descendente o qual serve como referência do final do ensaio. O tronco de cone é colocado no recipiente, em seguida é preenchido com concreto, e depois removido. O disco é posicionado no topo do tronco de cone de concreto e a mesa vibratória é ligada. O tempo necessário para remoldar o concreto da forma tronco-cônica para a cilíndrica, até que o disco esteja em contato com todo o concreto, é a medida da consistência e este valor é anotado como sendo o índice Vebe, em segundos.

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

A adequada proporção dos materiais, o controle das características do concreto fresco bem como os cuidados com a lançamento e cura dos concretos definem as propriedades do concreto endurecido. Até meados da década de 90, dentre as propriedades do concreto

endurecido, a resistência à compressão axial era a principal preocupação entre engenheiros civis. As outras propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto não eram levadas em consideração, exceto em obras especiais. Atualmente este panorama está mudando, e além de uma preocupação com a durabilidade dos concretos em cada ambiente, há uma tendência de produção de projetos de concretos específicos para ambientes específicos, além da preocupação ambiental (GONÇALVES, 2000).

As propriedades do concreto endurecido são: resistência a compressão, resistência a tração, resistência ao desgaste, absorção, permeabilidade, porosidade, retração, expansão, deformação lenta, módulo de deformação e propriedades térmicas. (ALVES, 1999)

3.2.1 Resistência à compressão axial

A resistência mecânica do concreto é o parâmetro mais frequentemente especificado e é a mais utilizada, embora a resistência à tração por flexão também seja muito comum em projetos de pavimentos de concreto. A resistência à compressão dos concretos tem sido tradicionalmente utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados a obras correntes. Isso se deve, por um lado, à relativa simplicidade do procedimento de moldagem dos corpos-de-prova e do ensaio de compressão e, por outro, ao fato de a resistência à compressão ser um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura, permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto (HELENE, 2005).

A resistência de um material é definida como a capacidade de este resistir à tensão sem ruptura. A resposta do concreto às tensões aplicadas não depende somente do tipo de solicitação, mas também de como a combinação de vários fatores afeta a porosidade dos diferentes componentes estruturais do concreto. Tais fatores incluem propriedades e proporções dos materiais que compõem o traço do concreto, grau de adensamento e condições de cura. (MEHTA e MONTEIRO, 1994). O comportamento mecânico do concreto também é influenciado por outros fatores, tais como: velocidade de carregamento, relação água/cimento, idade do concreto, forma e dimensões dos corpos-de-prova. Existem ainda as adições e aditivos, que, incorporados ao concreto, podem melhorar o desempenho de uma propriedade específica, como, por exemplo, aumentar a resistência à compressão (JACINTHO e GIONGO, 2005).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), do ponto de vista da resistência, a relação água/cimento-porosidade é indiscutivelmente o fator mais importante porque,

independentemente de outros fatores, ela afeta a porosidade tanto na matriz pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo. Na maioria dos casos, é o fator água/cimento que determina a porosidade da matriz da pasta de cimento para um dado grau de hidratação, entretanto, quando vazios em forma de ar são incorporados ao sistema, em consequência de adensamento inadequado ou uso de aditivos incorporadores de ar, eles também têm o efeito de aumentar a porosidade e reduzir a resistência do sistema (Figura 3.1). Entretanto, para um concreto com baixo teor de cimento, quando a incorporação de ar é acompanhada por uma substancial redução no volume de água, o efeito negativo da incorporação de ar sobre a resistência da matriz é mais do que compensado pelo efeito positivo sobre a zona de transição.

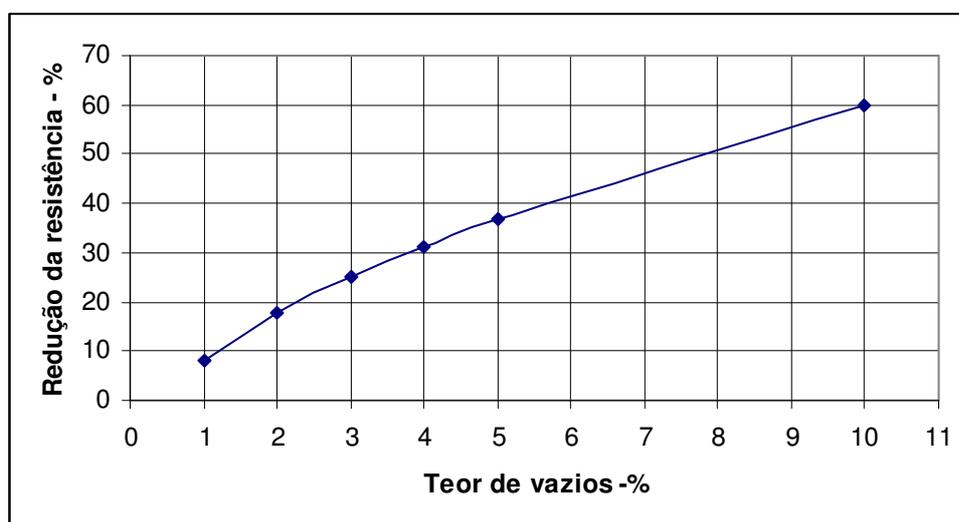


Figura 3.1 – Redução da resistência em relação ao teor de vazios (GIAMMUSO, 1992 apud GUIMARÃES, 2005)

Em relação aos agregados o tamanho, forma, textura da superfície, granulometria e mineralogia influenciará nas características da zona de transição e, portanto afetará a resistência do concreto. As misturas de concreto contendo partículas de agregados grandes requerem menos água de amassamento do que aquelas que contêm agregados menores. Ao contrário, agregados grandes tendem a formar zonas de transição mais fracas contendo mais microfissuras. Agregado com textura rugosa ou britado apresentará uma resistência maior nas primeiras idades que um concreto correspondente contendo agregado liso ou que sofreu intemperismo natural, de mineralogia similar. Uma ligação física mais forte entre o agregado e a pasta de cimento endurecida é admitida como responsável por este fato.(MEHTA e MONTEIRO, 1994)

Quando em excesso, as impurezas na água de amassamento do concreto podem afetar não somente a resistência, mas também o tempo de pega, a ocorrência de eflorescência e a corrosão da armadura passiva ou protendida.

Os vários fatores que podem influenciar na resistência do concreto estão ilustrados na figura 3.2.

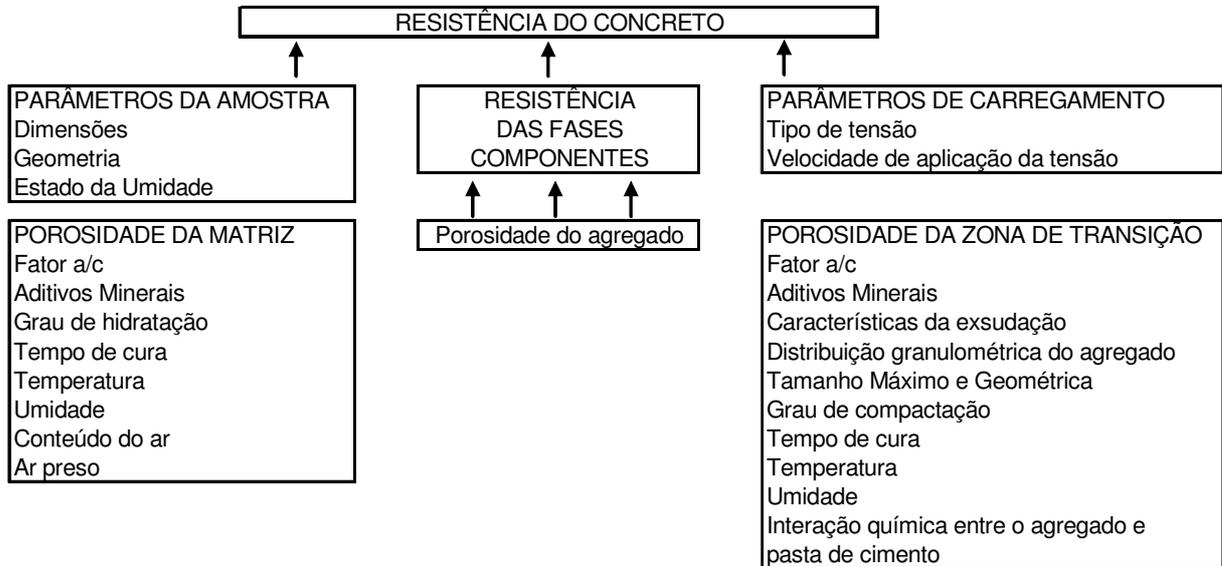


Figura 3.2 – Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

A NBR 5739 (ABNT, 2007) padroniza o ensaio de resistência nos corpos-de-prova cilíndricos que são moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003a), 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. Pode-se perceber que, em ambos os moldes, as alturas são iguais a duas vezes o diâmetro do cilindro. Durante a moldagem, cujo adensamento pode ser feito em mesa vibratória ou com vibrador de agulha, a face superior pode ficar rugosa, o que interfere no contato com os pratos da máquina de ensaio. Assim, é preciso deixar a face plana, o que pode ser conseguido por usinagem em torno, interposição de um elemento de neoprene, ou regularização com enxofre (JACINTHO e GIONGO, 2005).

3.2.2 Módulo de deformação

As deformações no concreto, que frequentemente levam à fissuração, ocorrem como um resultado da resposta do material à carga externa e ao meio ambiente. A retração, a

variação de umidade e a variação da temperatura são as causadoras das deformações das condições ambientais. A deformação imediata e a deformação lenta são as causadoras das deformações pela ação de cargas externas (PETRUCCI, 1981). As características elásticas de um material são uma medida de sua rigidez. Apesar do comportamento não linear do concreto, é necessária uma estimativa do módulo de deformação (a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado) para determinar as tensões induzidas pelas deformações associadas aos efeitos ambientais. Ela também é necessária para calcular as tensões de projeto sob carga em elementos simples, e momentos e deformações em estruturas complicadas (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o módulo de deformação estático para um material sob tração ou compressão é dado pela declividade da curva tensão-deformação para concreto sob carregamento uniaxial. Uma vez que a curva para o concreto é não-linear, três métodos para calcular o módulo são utilizados:

- Módulo tangente: dado pela declividade de uma reta tangente à curva em qualquer ponto da mesma;
- Módulo secante: dado pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva correspondendo a 40 por cento da tensão da carga de ruptura;
- Módulo corda: dado pela declividade de uma reta traçada entre dois pontos da curva tensão-deformação. Comparado ao módulo secante, ao invés de partir da origem, a linha é traçada de um ponto representando uma deformação longitudinal de $50\mu\text{m/m}$ ao ponto que corresponde a 40 por cento da carga última.

Como outras propriedades do concreto, os diagramas tensão-deformação numa determinada idade dependem dos seus materiais constituintes, da proporção e da interação desses materiais, bem como dos corpos-de-prova e do método de ensaio usados para a obtenção desses diagramas (SHEHATA, 2005).

Adotando-se corpo-de-prova e método de ensaio padronizados, o diagrama obtido passa a depender apenas das características do concreto. De um modo geral, os parâmetros que influenciam a resistência à compressão influenciam também o diagrama tensão-deformação, embora em diferente grau, mas os agregados, principalmente os graúdos, têm particular influência no diagrama. Os concretos de maior resistência tendem a apresentar maiores módulo de elasticidade tangente inicial e deformação correspondente à tensão

máxima do que os concretos de menor resistência. Mas dependendo do teor e tipo de agregado graúdo, isso pode vir a não ocorrer (SHEHATA, 2005).

Entre as características do agregado graúdo que afetam o módulo de deformação do concreto, a porosidade é a mais importante. Isto porque a porosidade do agregado determina a sua rigidez, que por sua vez controla a capacidade do agregado em restringir deformações da matriz. Agregados densos têm módulo de deformação alto. Em geral, quanto maior a quantidade de agregado graúdo com módulo de deformação alto em uma mistura de concreto, maior será o módulo de deformação do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O módulo de deformação da matriz da pasta de cimento é determinado pela sua porosidade. Em geral, espaços vazios, microfissuras e cristais orientados de hidróxido de cálcio são relativamente mais comuns na zona de transição do que na matriz da pasta de cimento; portanto, eles desempenham um papel mais importante na determinação das relações tensão-deformação no concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994). A figura 3.3 ilustra os vários parâmetros que influenciam o módulo de deformação do concreto.

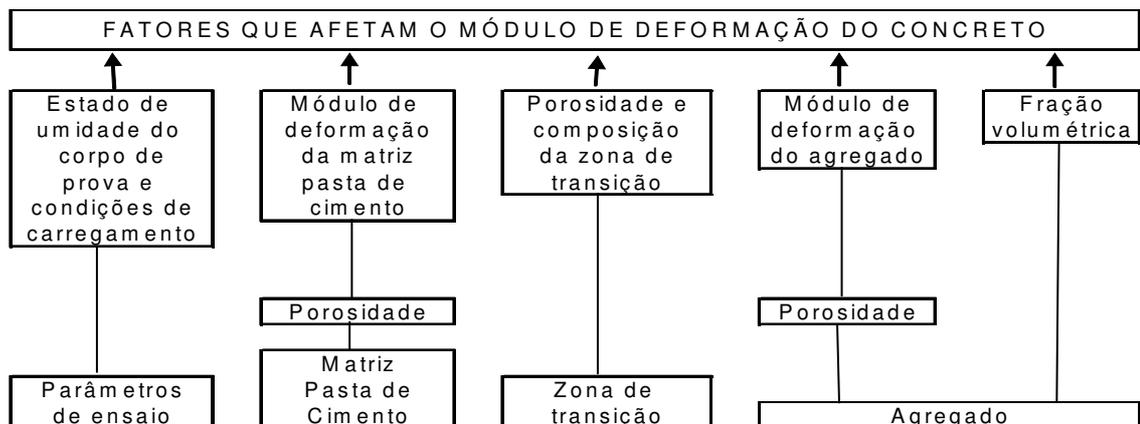


Figura 3.3 – Fatores que afetam o módulo de deformação do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

3.2.3 Durabilidade

Os concretos devem ser duráveis frente às solicitações às quais será exposto durante sua vida útil. A durabilidade depende tanto de fatores externos extrínsecos aos concretos, tais como presença de sais, maresia, chuvas ácidas, umidade relativa, natureza das solicitações mecânicas a que ficarem sujeitos, quanto de fatores intrínsecos, tais como tipo de cimento, relação a/c, adições, aditivos e outros. O conceito de durabilidade está associado aos mecanismos de transportes ou de penetração de agentes agressivos em materiais porosos: capilaridade, difusibilidade, migração iônica e permeabilidade (HELENE, 2005).

3.2.3.1 Absorção de água e índices de vazios

As substâncias agressivas, tanto para o concreto como para as armaduras, penetram através da rede de poros da microestrutura do concreto. Entre as diversas substâncias que podem comprometer a durabilidade das estruturas de concreto armado, destacam-se a água, pura ou com íons dissolvidos, especialmente os íons cloretos e os íons sulfatos, o CO₂ e o oxigênio. O concreto é um material com uma estrutura bastante complexa, composta de uma variedade de fases com materiais de diversas propriedades. Cada fase pode ser caracterizada por diferentes escalas de dimensões que correspondem a um diâmetro de poro típico, variando de nanômetros a milímetros. O transporte de fluídos e materiais no concreto dependem de um grande número de fatores, tais como a porosidade, distribuição do tamanho de poros, conectividade e tortuosidade (NEPOMUCENO, 2005).

A interconexão dos vazios de água ou ar torna o concreto permeável à água. A permeabilidade torna-se a principal propriedade para os concretos que, expostos ao ar, sofrem os ataques de águas agressivas ou a ação destruidora dos agentes atmosféricos. Segundo Petrucci (1981) a absorção é o processo físico pelo qual o concreto retém água nos poros e condutos capilares. A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem da água através do material. Essa passagem pode ser por filtração sob pressão; por difusão através dos condutos capilares e por capilaridade. Enquanto a porosidade (ou índice de vazios) se refere à totalidade dos vazios e a absorção é função dos poros que têm comunicação com o exterior, a permeabilidade tem relação com a continuidade destes canais.

Não há nenhuma norma brasileira que define os valores ideais de absorção e do índice de vazios para os concretos. Mas existem parâmetros que alguns autores se baseiam para classificar os concretos.

Andrade Perdrix (1992) cita os seguintes critérios de avaliação para índice de vazios:

- Valores do índice de vazios inferiores a 10% indicam um concreto de boa qualidade e bem compactado.
- Valores entre 10 e 15% indicam um bom concreto, porém permeável e não adequado para ambientes agressivos;
- Valores superiores a 15% caracterizam concretos muito permeáveis e inadequados para proteger a armadura por longos períodos.

Já Campiteli (1987) classifica os concretos em relação ao índice de vazios de acordo com o exposto no Quadro 3.1. Em relação a absorção por água Campiteli (1987) diz que grande parte dos concretos de boa qualidade tem absorção menor que 10%.

Qualidade do concreto	Índice de vazios (%)
Excelente	10 a 11
Boa	11 a 15
Satisfatória	16 a 18
Medíocre	19 a 22
Muito ruim	> 22

Quadro 3.1 – Valores médios da porosidade dos concretos (CAMPITELI, 1987)

Helene *apud* Levi (2001) propôs, com base em critérios gerais de durabilidade, uma classificação para concretos em função da porosidade e da absorção de água, a qual é apresentada no Quadro 3.2.

Propriedade	Qualidade do concreto	< 10%	10 a 15%	>15%
Porosidade	Concretos duráveis			
	Concretos normais			
	Concretos deficientes			
Propriedade	Qualidade do concreto	<4,2%	4,2 a 6,3%	>6,3%
Absorção de água	Concretos duráveis			
	Concretos normais			
	Concretos deficientes			

Quadro 3.2 – Proposta para classificação dos concretos de acordo com o índice de vazios e absorção (HELENE *apud* LEVI, 2001)

4 AS ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO

O uso de adições minerais incorporadas ao concreto tem sido a prática dos últimos anos visando à redução de custos e melhoria das propriedades do concreto fresco e endurecido, obtendo-se um material com melhor desempenho. Acredita-se que os avanços futuros da tecnologia do concreto dependem muito do conhecimento da sua microestrutura, dos efeitos físicos e químicos da substituição de parte da massa de cimento por aditivos químicos ou minerais, entre outros. Desta forma, será possível racionalizar a extração de matérias-primas, reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera, beneficiar-se do uso de subprodutos industriais poluentes, e obter mesmo assim, materiais com elevado nível de desempenho a um menor custo social, econômico e ambiental (SACIOTO, 2005).

Adições minerais são materiais naturais ou subprodutos industriais que, quando adicionados ao concreto, podem prover melhorias na trabalhabilidade do concreto fresco, menor fissuração térmica, menor expansão álcali-agregado, maior resistência ao ataque de agentes agressivos, bem como melhoria de resistência e redução de custos (SACIOTO, 2005).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), adições minerais são materiais silicosos finamente moídos, adicionados ao concreto em quantidades relativamente grandes, geralmente na faixa de 20 a 100% da massa de cimento Portland e são classificados em pozolânicos (cinza volante com baixo teor de cálcio), cimentantes (escória granulada de alto-forno) ou tanto cimentantes como pozolânicos (cinza volante com elevado teor de cálcio). As composições mineralógicas e características das partículas, mais do que a composição química ou origem do material, é que determinam o efeito de um aditivo mineral sobre o comportamento do concreto contendo o aditivo.

Para Mehta e Aïtcin (1990 *apud* SACIOTO, 2005), a incorporação de adições minerais no concreto pode conduzir a tantas vantagens técnicas que nenhum concreto deveria ser feito sem elas, a não ser que existam razões especiais para isto. Os autores argumentam com as seguintes colocações: a presença de partículas finas das adições minerais, especialmente as pozolânicas, resulta em consideráveis melhorias nas propriedades reológicas do concreto fresco, como a coesão e estabilidade; as partículas das adições minerais são geralmente capazes de reduzir a exudação e a segregação, que vêm a ser as primeiras causas da heterogeneidade nos concreto, especialmente na zona de interface pasta/agregado; as adições minerais permitem um maior grau de controle sobre os problemas de perda de abatimento, os quais são indesejáveis quando se utilizam aditivos superplastificantes, pois

geralmente as adições aumentam o tempo de pega e reduzem a taxa de perda de abatimento no concreto fresco.

As adições sem atividade pozzolânicas, também chamadas de fílers, são aquelas que devido a sua elevada finura (diâmetro médio inferior a 50 μm), contribuem para um melhoramento da matriz cimentícia, preenchendo os vazios deixados pelos produtos de hidratação do cimento ou pelas regiões onde o cimento não foi hidratado (LAMEIRAS, 2004). Para Neville (1997), um fíler é um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland que, devido as suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades dos concretos, como trabalhabilidade, densidade, segregação, permeabilidade, capilaridade, exsudação ou tendência à fissuração.

No caso dos fílers, assim como nas pozolanas, os efeitos nos concretos no estado fresco é de aumentar a coesão, diminuir a segregação e minimizar a exsudação, podendo ou não aumentar o consumo de água. Ao contrário do que acontece nas adições com atividade pozzolânica, no caso dos concretos produzidos com fílers não há alteração no tipo de produtos hidratados, mas estes podem influenciar na quantidade final de produtos hidratados e no calor de hidratação desprendido. Segundo Neville (1997), os fílers podem atuar como pontos de nucleação, acelerando o processo de hidratação do cimentos.

Segundo Gonçalves (2000), a incorporação de adições sem atividade pozzolânica nos concretos confere às propriedades do concreto no estado fresco várias influências, como: aumento da coesão, diminuição da segregação, minimização da exsudação, podendo ou não aumentar o consumo de água. Dentre as características do fíler que exercem maiores influências no concreto estão: finura; forma e massa específica. A finura, caracterizada pelo tamanho médio da partícula, influenciará diretamente na demanda de água, no preenchimento de poros capilares e na densificação da zona de transição entre pasta e agregado. A massa específica também é um outro fator muito importante, pois determina a quantidade de grãos num mesmo volume. Tão importante quanto a finura e a massa específica, é a forma das partículas, pois tanto a forma mais angulosa quanto a forma mais esférica, influenciarão no atrito entre as partículas na mistura e sua disseminação pelos poros existentes. Associado à forma dos grãos encontra-se também a sua textura, que contribuirão na aderência e atrito entre as partículas.

Os fílers podem influenciar tanto nas propriedades mecânicas quanto na durabilidade. Com relação às propriedades mecânicas, as maiores influências são nas idades iniciais, por estar difundido em toda mistura, e por apresentarem elevada finura, atuando como pontos de nucleação. Desta forma tende a acelerar o processo de hidratação do cimento e

aumentar a quantidade de produtos hidratados. Em idades mais avançadas não há ganhos de resistência, já que não há atividade química. A maior contribuição dos fílers está na diminuição da permeabilidade e no refinamento da estrutura de poros. A alta finura contribui para uma maior densificação da zona de transição e da matriz cimentícia. Esta maior densificação promoverá um ganho de resistência à compressão (GONÇALVES, 2000).

De acordo com Dal Molin (2005) vários podem ser os efeitos físicos gerados pelas adições no concreto:

- Efeito microfíler: aumento da densidade da mistura resultante do preenchimento dos vazios pelas minúsculas partículas das adições, cujo diâmetro médio deve ser semelhante ou menor que o diâmetro médio das partículas de cimento.
- Refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento: causado pelas pequenas partículas das adições que podem agir como pontos de nucleação para os produtos de hidratação. Dessa forma, o crescimento dos cristais ocorrerá não somente a partir da superfície dos grãos de cimento, mas também nos poros ocupados pela adição e pela água, influenciando a cinética da hidratação (acelera reações) e os tipos de produtos de hidratação formados (a adição restringe os espaços nos quais os produtos de hidratação podem crescer, gerando um grande número de pequenos cristais ao invés de poucos cristais de grande tamanho).
- Alteração da microestrutura da zona de transição: a colocação de adições finamente divididas no concreto interfere na movimentação das partículas de água em relação aos sólidos da mistura, reduzindo ou eliminando o acúmulo de água livre que normalmente fica retido sob os agregados. Além de contribuir para a diminuição da espessura da zona de transição pela redução da exsudação, a adição pode preencher os vazios deixados pelas partículas de cimento próximos à superfície do agregado (efeito microfíler), interferir o crescimento dos cristais, restringindo seus tamanhos e reduzindo o grau de orientação dos cristais de hidróxido de cálcio junto ao agregado (partículas de adição agindo como pontos de nucleação), e reduzir a concentração de Ca(OH)_2 (devido às reações químicas pozolânicas). O somatório de todos esses efeitos repercute numa melhora significativa da zona de transição, refletindo num aumento de desempenho do concreto sob o ponto de vista tanto mecânico como de durabilidade.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia utilizada nos ensaios para a realização da pesquisa.

Inicialmente realizou-se a caracterização dos agregados miúdo e graúdo conforme os ensaios de composição granulométrica, massa específica, massa unitária e teor de material pulverulento para o agregado miúdo. O RBMG utilizado foi coletado e caracterizado por Lopes (2007).

O método de dosagem do concreto utilizado foi o elaborado por Helene e Terzian (1993), onde primeiramente determinou-se o teor ideal de argamassa em um traço base 1:5,0 (cimento: agregados secos totais, em massa). Baseados nas informações obtidas desta mistura, confeccionou-se mais duas, com os traços definidos em 1:3,5 (traço chamado de rico) e em 1:6,5 (traço chamado de pobre).

Com os traços definidos analisou-se a propriedade do concreto no estado fresco com o ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*). Moldou-se, no total, 285 corpos-de-prova cilíndricos 10x20 cm, sendo que para cada traço fez-se a substituição do agregado miúdo pelo RBMG nos teores de 5%, 10%, 15% e 20%. Realizaram-se os ensaios de resistência a compressão aos 7 e 28 dias e módulo de deformação, absorção de água por imersão e índice de vazios aos 28 dias.

A parte experimental desta pesquisa foi toda desenvolvida no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Utilizou-se agregado miúdo natural de leito de rio proveniente do município de Faina – GO de granulometria grossa. O agregado graúdo escolhido foi a brita da rocha granulito de dimensão máxima característica de 19mm, proveniente da Pedreira Araguaia. Para uma melhor análise dos resultados a brita foi lavada para retirar os finos nela contidos. Os agregados foram armazenados no LMC/UFG.

As fotos 5.1 e 5.2 ilustram os agregados utilizados.



Foto 5.1 – Agregado miúdo



Foto 5.2 – Agregado graúdo

5.1.1 Caracterização do agregado miúdo

Foram realizados os ensaios de composição granulométrica, massa específica, massa unitária e teor de material pulverulento segundo prescrição das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a determinação da composição granulométrica seguiu-se a NBR NM 248 (ABNT, 2003b). Primeiramente deve-se secar a amostra em estufa, esfriar à temperatura ambiente e determinar a massa da amostra. A massa ensaiada foi de 1000g do agregado miúdo.

Peneirou-se a amostra em um conjunto de peneiras, com abertura da malha em ordem crescente da base para o topo, para permitir a separação e classificação prévia dos

diferentes tamanhos de grãos da amostra. Posteriormente determinou-se a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto em uma balança de precisão de 0,1g.

A dimensão máxima característica, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003b), é uma grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

O módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Para a determinação da massa específica seguiu-se a NBR NM 52 (ABNT, 2003c) e para determinar o material pulverulento a NBR NM 46 (ABNT, 2003d).

Para determinar a massa unitária colocou-se a amostra seca em estufa em um recipiente de volume previamente definido. Pesou-se então o recipiente com a amostra desconsiderando a massa do recipiente. Tendo então a massa da amostra e o volume que esta amostra ocupou tem-se então a massa unitária em kg/dm^3 .

5.1.2 Caracterização do agregado graúdo

Na determinação da composição granulométrica seguiu-se também a NBR NM 248 (ABNT, 2003b). O procedimento descrito para o agregado miúdo foi o mesmo utilizado para o agregado graúdo. Com exceção da massa da amostra que foi de 10.000g e que foi utilizado um misturador mecânico.

Para a massa unitária também seguiram-se os mesmos procedimentos descritos para o agregado miúdo. Para a massa específica seguiu-se um procedimento proposto por Neville (1997) descrito a seguir:

- 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 estivesse totalmente cheio;

Da equação 5.1 calculou-se a massa específica do agregado graúdo.

$$\gamma = \frac{P_2 - P_1}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (5.1)$$

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).

5.2 CONCRETO

5.2.1 Dosagem

O método de dosagem utilizado nesta pesquisa foi o método IPT/EPUSP elaborado por Helene e Terzian (1993). O início do estudo parte da avaliação preliminar, com mistura em betoneira do traço 1:5,0 (cimento: agregados secos totais, em massa). Baseados nas informações obtidas desta mistura, confeccionam-se mais duas, com os traços definidos em 1:3,5 (traço chamado de rico) e em 1:6,5 (traço chamado de pobre).

Inicialmente determina-se o teor de argamassa para o traço 1:5,0. A falta de argamassa na mistura acarreta porosidade no concreto ou falhas de concretagem. O excesso proporciona um concreto de melhor aparência mas aumenta o custo por metro cúbico como, também, o risco de fissuração por origem térmica e por retração de secagem. Através de variações no teor de argamassa da mistura, com o traço estabelecido em 1:5,0, determina-se a proporção adequada por tentativas e observações práticas.

O teor ideal de argamassa encontrado após os ensaios foi de 54%. De posse deste valor calcularam-se os demais traços, ou seja, 1:3,5 e 1:6,5. A foto 5.3 ilustra o concreto com o teor ideal de argamassa. Adotou-se para esta pesquisa o *slump* 12±1cm apenas para os traços de referência. A Tabela 5.1 apresenta o traço unitário para os traços de referência.

Tabela 5.1 – Traço unitário dos traços de referência

Traço	Cimento	Areia	Brita	Relação a/c
1:3,5	1	1,43	2,07	0,49
1:5,0	1	2,24	2,76	0,61
1:6,5	1	3,05	3,45	0,81

Com os traços de referência definidos foi calculada a quantidade de materiais necessária para a realização da pesquisa. Definiu-se que apenas substituiria porcentagens da areia pelo RBMG, não alterando as demais variáveis, nem fixando, por exemplo, o abatimento. As quantidades de materiais utilizados estão relatados na Tabela 5.2.



Foto 5.3 – Concreto no traço 1:5,0 com teor de argamassa igual a 54%

5.2.2 Mistura dos materiais, confecção dos corpos-de-prova e cura

Após a pesagem dos materiais, as misturas dos mesmos foram feitas em uma betoneira de 120 litros no laboratório LMC/UFG, seguindo-se a seguinte ordem: colocou-se uma parte da água, todo o agregado graúdo, o cimento misturado com o RBMG, a areia e o restante da água. O tempo de mistura foi de 3 minutos para uma melhor homogeneização dos materiais.

Após a mistura do concreto foram moldados os corpos-de-prova segundo a NBR 5738 (ABNT, 2003a). Os corpos-de-prova utilizados foram os cilíndricos de dimensão 10x20cm. O adensamento foi manual com uma haste metálica, dividida em duas camadas, sendo o número de golpes de 12 para cada camada (Foto 5.4). A Foto 5.5 ilustra os corpos-de-prova já moldados e etiquetados. As quantidades de corpos-de-prova moldados estão descritas na tabela 5.3.



Foto 5.4 – Moldagem e adensamento dos corpos-de-prova

Tabela 5.2 – Quantidade de material utilizado na pesquisa

Traço		Cimento (kg)	Resíduo (kg)	Areia(kg)	Brita (kg)	Água (kg)	a/c
REF	1:3,5	Unitário	1	-	1,43	2,07	0,49
		Total	17,5	-	25,03	36,23	8,58
	1:5,0	Unitário	1	-	2,24	2,76	0,61
		Total	16	-	35,84	44,16	9,76
	1:6,5	Unitário	1	-	3,05	3,45	0,81
		Total	12	-	36,6	41,4	9,72
5% RBMG	1:3,5	Unitário	1	0,07	1,36	2,07	0,49
		Total	17,5	1,25	23,77	36,23	8,58
	1:5,0	Unitário	1	0,11	2,128	2,76	0,61
		Total	16	1,79	34,05	44,16	9,76
	1:6,5	Unitário	1	0,15	2,8975	3,45	0,81
		Total	12	1,83	34,77	41,40	9,72
10% RBMG	1:3,5	Unitário	1	0,14	1,29	2,07	0,49
		Total	17,5	2,50	22,52	36,23	8,58
	1:5,0	Unitário	1	0,22	2,02	2,76	0,61
		Total	16	3,58	32,26	44,16	9,76
	1:6,5	Unitário	1	0,31	2,75	3,45	0,81
		Total	12	3,66	32,94	41,40	9,72
15% RBMG	1:3,5	Unitário	1	0,21	1,22	2,07	0,49
		Total	17,5	3,75	21,27	36,23	8,58
	1:5,0	Unitário	1	0,34	1,90	2,76	0,61
		Total	16	5,38	30,46	44,16	9,76
	1:6,5	Unitário	1	0,46	2,59	3,45	0,81
		Total	12	5,49	31,11	41,40	9,72
20% RBMG	1:3,5	Unitário	1	0,29	1,14	2,07	0,49
		Total	17,5	5,01	20,02	36,23	8,58
	1:5,0	Unitário	1	0,45	1,79	2,76	0,61
		Total	16	7,17	28,67	44,16	9,76
	1:6,5	Unitário	1	0,61	2,44	3,45	0,81
		Total	12	7,32	29,28	41,40	9,72



Foto 5.5 – Corpos-de-prova moldados e etiquetados

Tabela 5.3 – Quantidade de corpos-de-prova moldados

REFERÊNCIA	Ensaio	Idade	cimento:agregados secos		
			1:3,5	1:5,0	1:6,5
REFERÊNCIA	Resistência à compressão Axial	7	5	5	5
		28	5	5	5
	Módulo de Elasticidade	28	4	4	4
	Absorção por imersão e índices de vazios	28	5	5	5
Total de Corpos-de Prova Referência por relação cimento:agregados secos			19	19	19
Total de Corpos-de-Prova Referência			57		
5% DE RBMG	Resistência à compressão Axial	7	5	5	5
		28	5	5	5
	Módulo de Elasticidade	28	4	4	4
	Absorção por imersão e índices de vazios	28	5	5	5
Total de Corpos-de Prova Referência por relação cimento:agregados secos			19	19	19
Total de Corpos-de-Prova 5% RBMG			57		
10% DE RBMG	Resistência à compressão Axial	7	5	5	5
		28	5	5	5
	Módulo de Elasticidade	28	4	4	4
	Absorção por imersão e índices de vazios	28	5	5	5
Total de Corpos-de Prova Referência por relação cimento:agregados secos			19	19	19
Total de Corpos-de-Prova 10% RBMG			57		
15% DE RBMG	Resistência à compressão Axial	7	5	5	5
		28	5	5	5
	Módulo de Elasticidade	28	4	4	4
	Absorção por imersão e índices de vazios	28	5	5	5
Total de Corpos-de Prova Referência por relação cimento:agregados secos			19	19	19
Total de Corpos-de-Prova 15% RBMG			57		
20% DE RBMG	Resistência à compressão Axial	7	5	5	5
		28	5	5	5
	Módulo de Elasticidade	28	4	4	4
	Absorção por imersão e índices de vazios	28	5	5	5
Total de Corpos-de Prova Referência por relação cimento:agregados secos			19	19	19
Total de Corpos-de-Prova 20% RBMG			57		
Total Geral de Corpos-de-Prova			285		

Os corpos-de-prova permaneceram nos moldes durante 24 horas. Após este período foram desmoldados e levados a câmara úmida do LMC/UFG até a data dos ensaios.

5.2.3 Ensaio no estado fresco

No estado fresco realizou-se o ensaio de abatimento de tronco de cone, segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Este ensaio tem por objetivo determinar a consistência do concreto. Para uma melhor precisão dos resultados foram realizadas cinco medições para cada traço. A Foto 5.6 e 5.7 mostra o ensaio de abatimento de tronco de cone.



Foto 5.6 – Ensaio de abatimento de tronco de cone - moldagem



Foto 5.7 – Ensaio de abatimento de tronco de cone - desmoldagem

5.2.4 Ensaios no estado endurecido

No estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias, módulo de deformação aos 28 dias e absorção por imersão e índice de vazios aos 28 dias.

5.2.4.1 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado de acordo com os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2007).

A prensa utilizada (Foto 5.8) foi uma prensa hidráulica com carga máxima de 200 toneladas e precisão de 100 Kgf do LMC/UFG.



Foto 5.8 – Prensa hidráulica

5.2.4.2 Módulo de deformação

Os ensaios para determinar o módulo de deformação dos concretos foram realizados de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2003e) aos 28 dias de idade. Para esta pesquisa determinou-se o módulo de deformação tangente inicial.

Com os extensômetros acoplados no corpo-de-prova (Foto 5.9), aplicou-se uma carga crescente até atingir 30% de f_c . Este nível de tensão foi mantido por 60 segundos. Depois fez-se o descarregamento até a tensão de 0,5 MPa e realizou-se mais dois ciclos de pré-carga adicionais, obedecendo as mesmas velocidades de carga e descarga e mantendo-se as tensões extremas constantes, alternadamente, durante períodos de 60 segundos cada. Depois do último ciclo de pré-carga e do período de 60 segundos sob a tensão de 0,5 MPa registraram-se as deformações específicas lidas. Carregou-se novamente o corpo-de-prova com a tensão de 30%

de f_c e registraram-se as deformações lidas. Posteriormente aumentou-se a carga no corpo-de-prova até a ruptura.



Foto 5.9 – Ensaio do módulo de deformação

Calculou-se o módulo de deformação conforme a equação 5.5.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3} \quad (5.2)$$

Onde:

σ_b é a tensão maior, em megapascals ($\sigma_b = 0,3f_c$);

σ_a é a tensão básica, em megapascals ($\sigma_a = 0,5MPa$);

ε_b é a deformação específica média dos corpos - de - prova ensaiados sob a tensão maior;

ε_a é a deformação específica média dos corpos - de - prova ensaiados sob a tensão básica.

5.2.4.3 Absorção por imersão e índice de vazios

Os ensaios para determinar a absorção por imersão e índices de vazios foram realizados conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005). Foram realizados aos 28 dias de idade tendo início com os corpos-de-prova colocados na estufa (Foto 5.10) à temperatura de $(105\pm 5)^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas. Registrou-se a massa da amostra seca. Posteriormente imergiram-se os corpos-de-prova em água (Foto 5.11) por um período de 72 horas e depois em água em ebulição por 5 horas. Deixou-se esfriar a água naturalmente e determinou-se sua

massa com auxílio de balança hidrostática. Retirou-se a amostra da água e registrou-se sua massa saturada.



Foto 5.10 – Corpos-de-prova na estufa

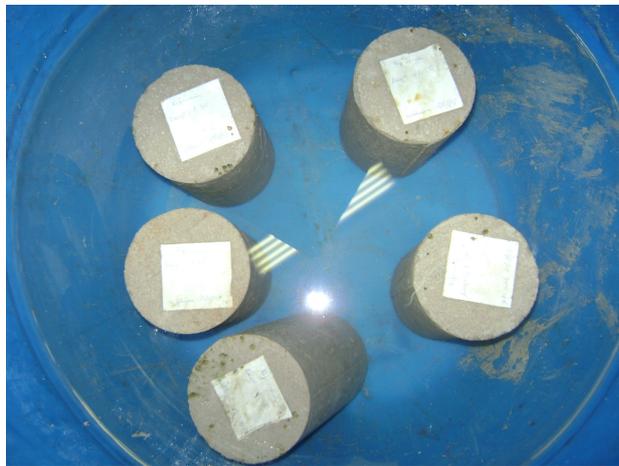


Foto 5.11 – Corpos-de-prova imersos em água

Os resultados foram determinados de acordo com as equações 5.3 e 5.4.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (5.3)$$

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (5.4)$$

Onde:

A é a absorção por imersão (%)

I_v é o índice de vazios

m_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura

m_s é a massa da amostra seca em estufa

m_i é a massa com o auxílio de balança hidrostática

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Os resultados da caracterização dos agregados miúdo e graúdo estão descritas nas Tabelas 6.1 e 6.2 respectivamente.

Tabela 6.1 – Caracterização 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	1,1	0,1	0,1	0,1
2,4	75,9	7,6	7,7	7,7
1,2	248,0	24,8	32,5	32,5
0,6	335,9	33,6	66,1	66,1
0,3	242,9	24,3	90,4	90,4
0,15	83,9	8,4	98,8	98,8
Prato	12,3	1,2	-----	-----
Totais	1.000,0	100	-----	295,6
Módulo de Finura (NBR NM 248)			2,96	
Dimensão Máxima Característica			4,80 mm	
Frasco de Chapman: Massa Específica (kg/dm ³)			2,62	
Massa Unitária (Kg/dm ³) NBR 7251 (ABNT, 1982)			1,47	
Teor de Material Pulverulento (NBR NM 46)			1,51%	

Tabela 6.2 – Caracterização 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")	20,2	0,2	0,2	0,2
12,7 (1/2")	7919,8	79,2	79,4	-----
9,5(3/8")	1320,7	13,2	92,6	92,6
6,3	579,4	5,8	98,4	-----
4,8(4)	99,3	1	99,4	99,4
2,4(8)	40,6	0,4	99,8	99,8
Prato	20	0,2	100	400
Totais	10.000	100	-----	692
Módulo de Finura (NBR NM 248)			6,92	
Dimensão Máxima Característica			19 mm (Brita 01)	
Massa Específica (Kg/dm ³)			2,67	
Massa Unitária (Kg/dm ³) NBR 7251 (ABNT, 1982)			1,51	

Dos resultados obtidos descrito na tabela 6.1 conclui-se que a areia é classificada como uma areia grossa. O Gráfico 6.1 apresenta a curva granulométrica da areia. Analisando o gráfico 6.1 e o gráfico 6.2, que apresenta a curva granulométrica do RBMG, pode-se notar que o resíduo atua como complemento da curva granulométrica do agregado miúdo, desempenhando seu papel de fíler, contribuindo para um melhor empacotamento dos grãos.

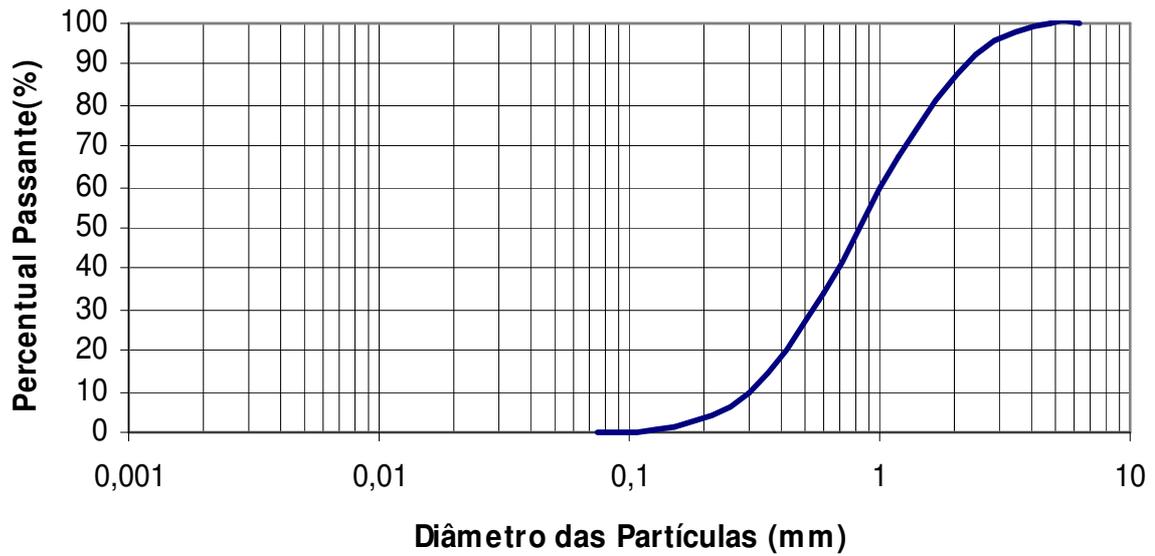


Gráfico 6.1 – Curva granulométrica do agregado miúdo

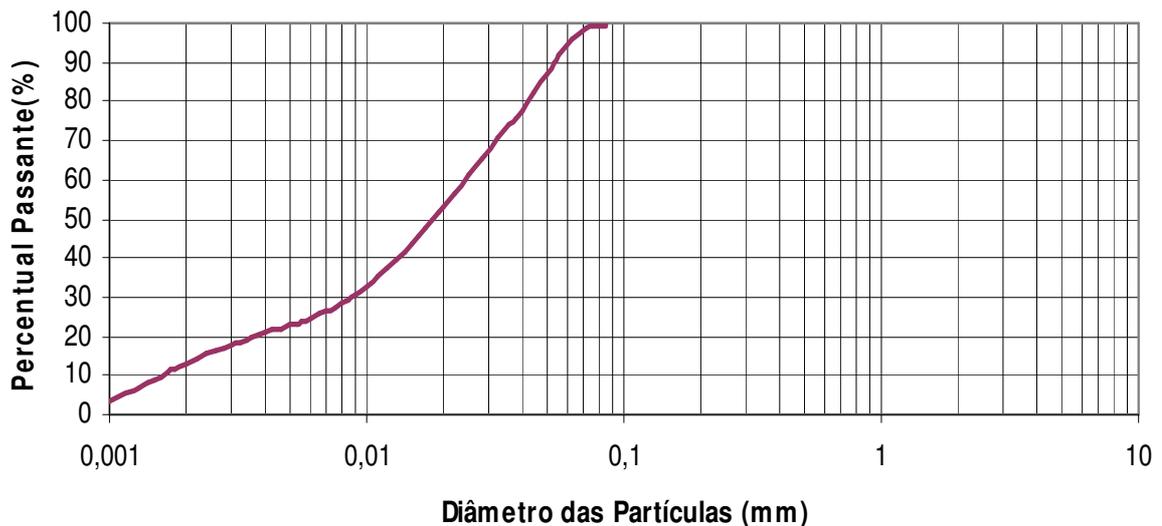


Gráfico 6.2 – Curva granulométrica do RBMG

6.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO FRESCO - TRABALHABILIDADE

A determinação da trabalhabilidade dos concretos foi verificada por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*). Para o traço de referência foi estipulado o valor de 12 ± 1 cm.

A Tabela 6.3 apresenta os valores encontrados para cada traço e teor de substituição do RBMG pelo agregado miúdo.

Tabela 6.3 – Valores do *slump test* (cm)

TRAÇO 1:3,5					
QUANTID. DE MEDIDAS	REF	5%	10%	15%	20%
1	11,5	14,0	8,5	8,5	5,0
2	12,0	11,0	8,5	9,0	5,0
3	12,0	12,0	8,0	8,5	4,5
4	11,5	10,0	6,5	8,0	4,5
5	11,0	11,0	6,5	6,5	5,0
<i>Média</i>	<i>11,6</i>	<i>11,6</i>	<i>7,6</i>	<i>8,1</i>	<i>4,8</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,42</i>	<i>1,52</i>	<i>1,02</i>	<i>0,96</i>	<i>0,27</i>
TRAÇO 1:5,0					
QUANTID. DE MEDIDAS	REF	5%	10%	15%	20%
1	12,0	12,0	10,5	8,0	4,0
2	11,5	12,0	11,0	8,5	4,0
3	12,0	11,5	11,0	8,5	3,5
4	11,5	11,5	11,0	8,5	4,0
5	11,0	11,0	10,5	8,5	3,5
<i>Média</i>	<i>11,6</i>	<i>11,6</i>	<i>10,8</i>	<i>8,4</i>	<i>3,8</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,42</i>	<i>0,42</i>	<i>0,27</i>	<i>0,22</i>	<i>0,27</i>
TRAÇO 1:6,5					
QUANTID. DE MEDIDAS	REF	5%	10%	15%	20%
1	11,5	16,0	17,0	17,0	16,0
2	12,0	15,5	15,0	17,0	16,5
3	12,0	12,5	17,0	17,5	16,5
4	11,5	15,0	17,0	17,5	16,0
5	11,5	12,0	16,5	17,0	16,0
<i>Média</i>	<i>11,7</i>	<i>14,2</i>	<i>16,5</i>	<i>17,2</i>	<i>16,2</i>
<i>Desvio padrão</i>	<i>0,27</i>	<i>1,82</i>	<i>0,87</i>	<i>0,27</i>	<i>0,27</i>

Verifica-se no traço 1:3,5 que com o aumento do teor de finos que compõem o resíduo há uma redução da trabalhabilidade, em função da baixa relação a/c. No traço 1:5,0, observa-se também uma redução da trabalhabilidade, todavia, de forma mais “suave” à medida que se aumenta o teor de resíduo. Isto ocorre em função de que a relação a/c é maior, portanto com maior quantidade de água. Já no traço 1:6,5, ocorre um comportamento diferenciado, ou seja, a trabalhabilidade aumenta com o acréscimo do teor de resíduo. Isto pode ter ocorrido por ser este um traço pobre, ou seja, com quantidade de água tal que proporciona o envolvimento destes finos provocando um melhor deslizamento entre os grãos.

As médias dos valores da trabalhabilidade estão plotados no Gráfico 6.3.

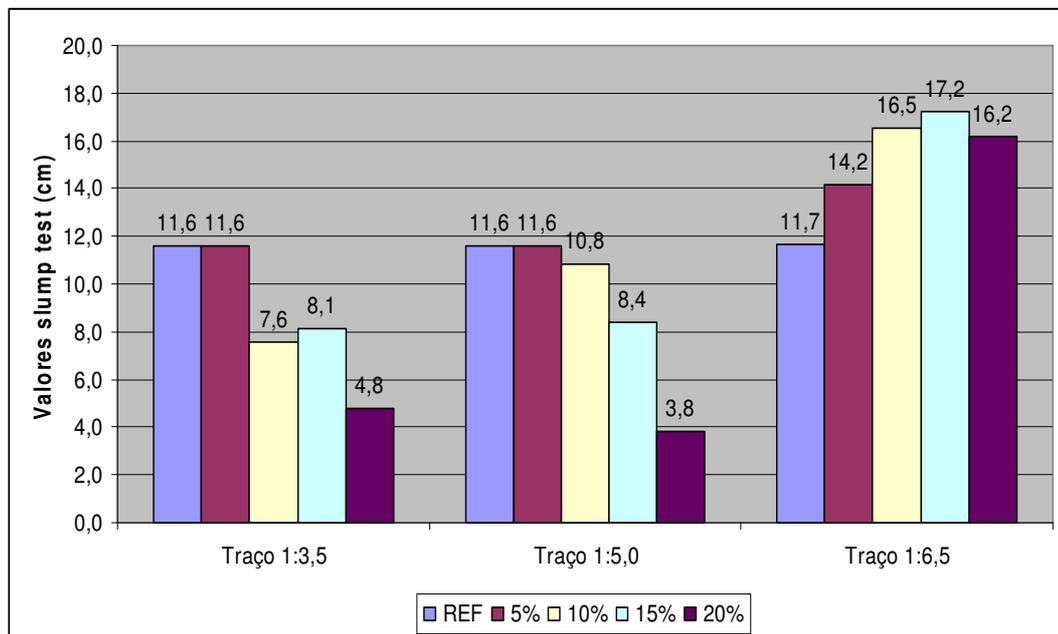


Gráfico 6.3 – Valores (média) do *slump test*

As fotos 6.1 a 6.12 ilustram o ensaio do *slump test* realizados nesta pesquisa, onde percebe-se uma melhor trabalhabilidade no traço 1:6,5.



Foto 6.1 – *Slump* – traço 1:3,5 – 5% RBMG



Foto 6.2 – *Slump* – traço 1:3,5 – 10% RBMG



Foto 6.3 – *Slump* – traço 1:3,5 – 15% RBMG



Foto 6.4 – *Slump* – traço 1:3,5 – 20% RBMG



Foto 6.5 – *Slump* – traço 1:5,0 – 5% RBMG



Foto 6.6 – *Slump* – traço 1:5,0 – 10% RBMG



Foto 6.7 – *Slump* – traço 1:5,0 – 15% RBMG



Foto 6.8 – *Slump* – traço 1:5,0 – 20% RBMG



Foto 6.9 – *Slump* – traço 1:6,5 – 5% RBMG



Foto 6.10 – *Slump* – traço 1:6,5 – 10% RBMG



Foto 6.11 – *Slump* – traço 1:6,5 – 15% RBMG



Foto 6.12 – *Slump* – traço 1:6,5 – 20% RBMG

6.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM RBMG NO ESTADO ENDURECIDO

6.3.1 Resistência à compressão

A Tabela 6.4 mostra os valores da resistência à compressão nas idades 7 e 28 dias para o traço 1:3,5.

Tabela 6.4 – Valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:3,5

Traço	Classes do concreto	7 dias		28 dias		
		fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)	Desvio padrão
1:3,5	REF	28,65	27,20	36,29	35,52	4,31
		28,14		35,65		
		27,12		38,07		
		27,76		28,27		
		24,32		39,34		
	5%	22,92	23,33	30,69	29,77	1,72
		23,17		27,50		
		23,55		29,92		
		21,90		31,96		
		25,08		28,78		
	10%	23,68	23,20	27,50	30,61	2,95
		24,45		33,87		
		22,79		28,52		
		21,90		29,54		
		23,17		33,61		
	15%	29,54	26,48	34,00	33,21	1,13
		25,21		32,85		
		25,97		32,21		
		26,10		32,21		
		25,59		34,76		
20%	27,88	27,07	30,30	32,06	1,76	
	26,61		34,00			
	27,76		32,09			
	26,10		33,61			
	26,99		30,30			

Observa-se que, ao substituir o agregado miúdo pelo resíduo a resistência cai com o teor de 5%. Todavia, ao se aumentar o teor de substituição, há uma tendência de crescimento de resistência, crescimento este que é mais acentuado aos sete dias. Para este traço, o melhor teor de substituição foi de 15% aos 28 dias.

O Gráfico 6.4 mostra a evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para todos os teores de substituição no traço 1:3,5.

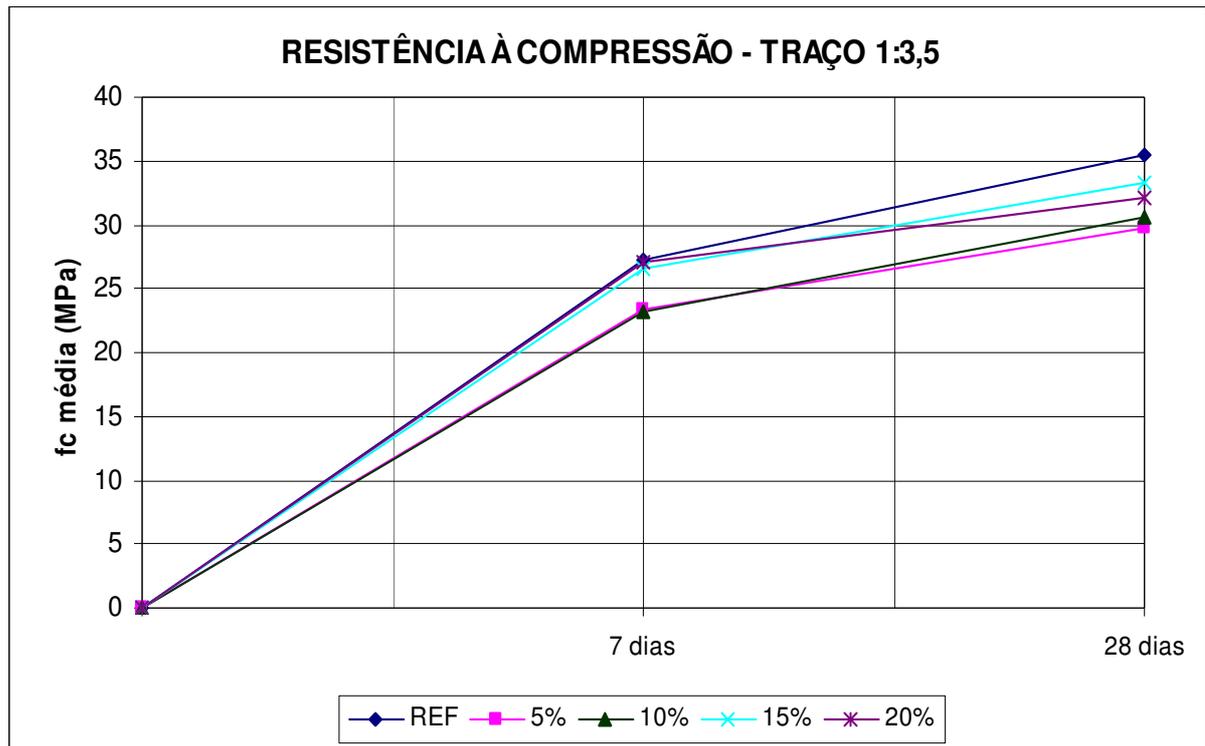


Gráfico 6.4 – Evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:3,5

Percebe-se pelo gráfico 6.4 que o valor que mais se aproximou da referência aos 28 dias foi o teor de 15%.

A Tabela 6.5 apresenta os valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:5,0. Percebe-se para o traço 1:5,0 um comportamento semelhante ao traço 1:3,5, onde se tem uma diminuição nos valores da resistência ao iniciar a substituição do agregado miúdo pelo RBMG e um aumento dos valores à medida que aumenta o teor do resíduo. Neste traço um comportamento melhor no concreto foi verificado pois com o teor de 15% a resistência é maior que o valor de referência nas idades de 7 e 28 dias. Com 20% do resíduo os valores diminuíram. Por não ser um traço tão rico em cimento quanto o traço anterior, há um maior benefício do efeito fíler.

O Gráfico 6.5 mostra a evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para todos os teores de substituição no traço 1:5,0. Pode-se verificar um melhor comportamento com 15% do teor de resíduo.

A Tabela 6.6 apresenta os valores da resistência à compressão para o traço 1:6,5 nas idades de 7 e 28 dias.

Tabela 6.5 – Valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:5,0

Traço	Classes do concreto	7 dias		28 dias		
		fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)	Desvio padrão
1:5,0	REF	19,74	19,76	24,83	24,65	1,10
		19,99		25,97		
		19,10		24,96		
		19,74		24,57		
		20,24		22,92		
	5%	20,37	19,05	24,06	22,33	2,26
		18,33		18,84		
		19,48		23,43		
		19,23		24,06		
		17,83		21,26		
	10%	16,42	17,39	20,63	21,54	1,17
		17,83		22,03		
		17,70		19,99		
		17,57		22,66		
		17,44		22,41		
	15%	23,81	23,63	28,65	27,96	1,16
		24,06		26,61		
		23,55		27,25		
		23,68		29,54		
		23,05		27,76		
20%	19,23	19,17	23,68	23,63	0,73	
	20,75		23,05			
	19,10		22,79			
	18,08		24,57			
	18,72		24,06			

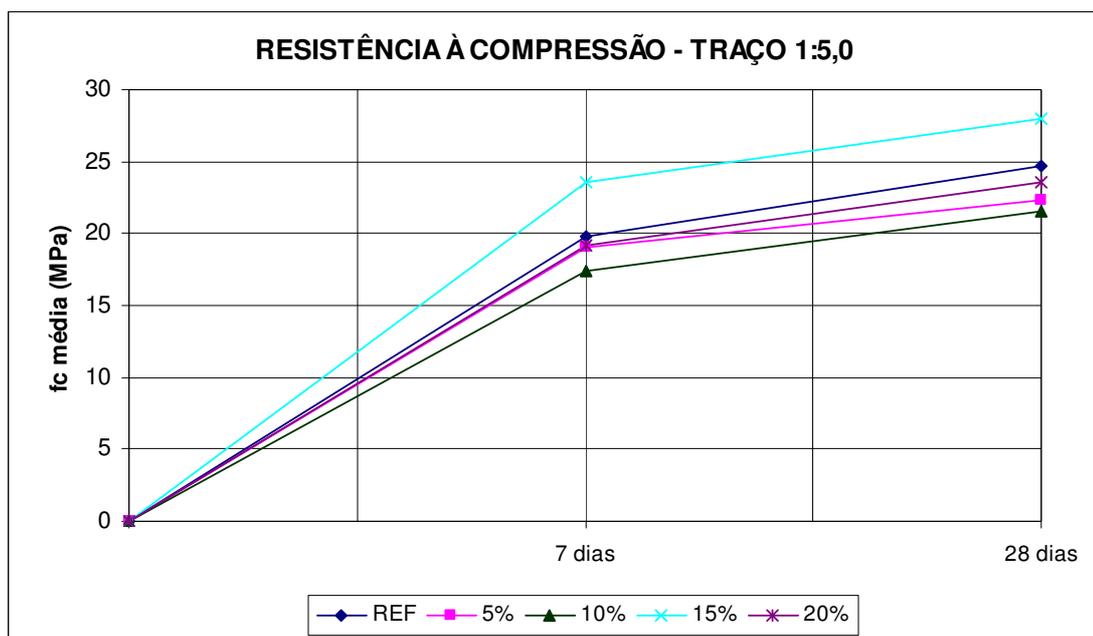


Gráfico 6.5 – Evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:5,0

Tabela 6.6 – Valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:6,5

Traço	Classes do concreto	7 dias		28 dias		
		fc (MPa)	fc média (MPa)	fc (MPa)	fc média (MPa)	Desvio padrão
1:6,5	REF	11,33	10,87	13,75	15,18	0,87
		10,82		16,04		
		10,31		15,66		
		11,46		15,15		
		10,44		15,28		
	5%	10,06	9,80	14,13	14,49	0,50
		10,44		14,64		
		10,06		14,64		
		9,55		15,15		
		8,91		13,88		
	10%	11,71	11,41	15,53	15,43	0,56
		11,84		14,77		
		10,70		15,28		
		11,33		15,28		
		11,46		16,30		
	15%	11,20	11,28	14,39	14,67	1,01
		11,20		13,88		
		10,70		14,51		
		11,71		16,42		
		11,59		14,13		
	20%	10,57	11,10	14,51	14,97	0,46
		10,95		15,41		
		11,33		14,77		
		11,71		14,64		
10,95		15,53				

Para o traço 1:6,5 com 5% do RBMG os valores caíram em relação à referência. Aos 7 dias de idade os valores com teor de 10%, 15% e 20% ficaram maiores que os valores de referência. Salienta-se, todavia, pelos valores do desvio padrão observados que todas as resistências dos concretos com substituição ficaram no mesmo patamar do concreto de referência.

O Gráfico 6.6 mostra a evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para todos os teores de substituição no traço 1:6,5.

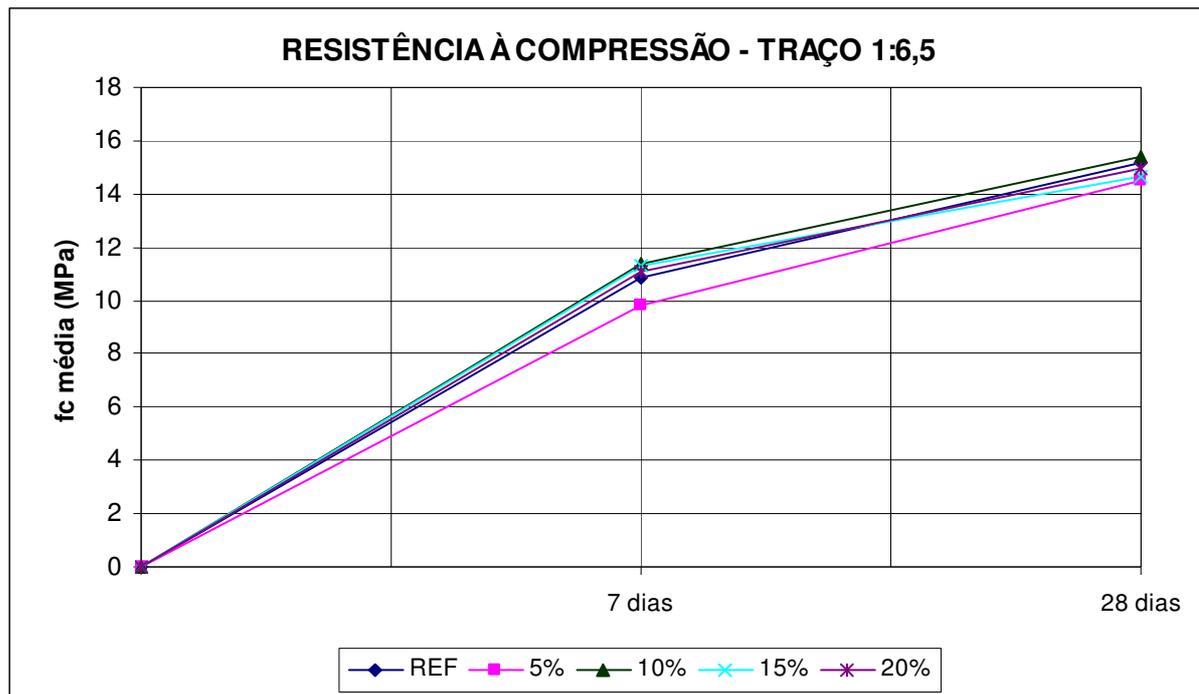


Gráfico 6.6 – Evolução da resistência à compressão aos 7 e 28 dias para o traço 1:6,5

Verifica-se pelo gráfico 6.6 que para todos os teores de substituição os valores ficaram próximos aos valores de referência.

O Gráfico 6.7 mostra os valores médios da resistência à compressão aos 7 dias de idade para todos os traços estudados.

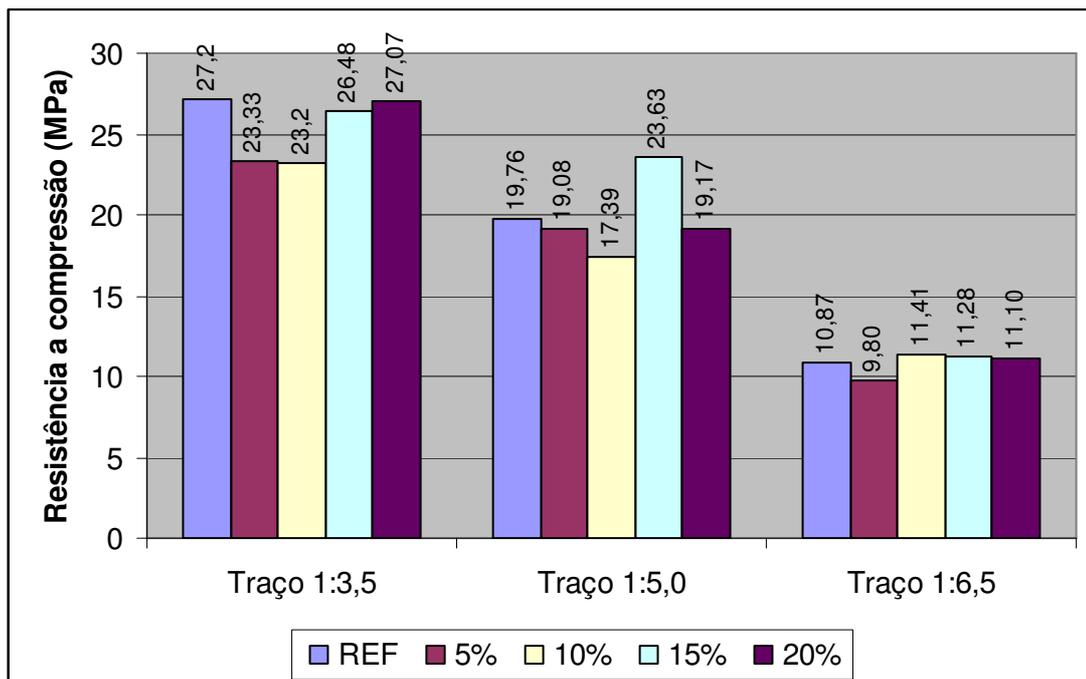


Gráfico 6.7 – Valores (média) da resistência à compressão aos 7 dias de idade

No Gráfico 6.8 estão plotadas as médias dos valores da resistência à compressão aos 28 dias para todos os traços estudados.

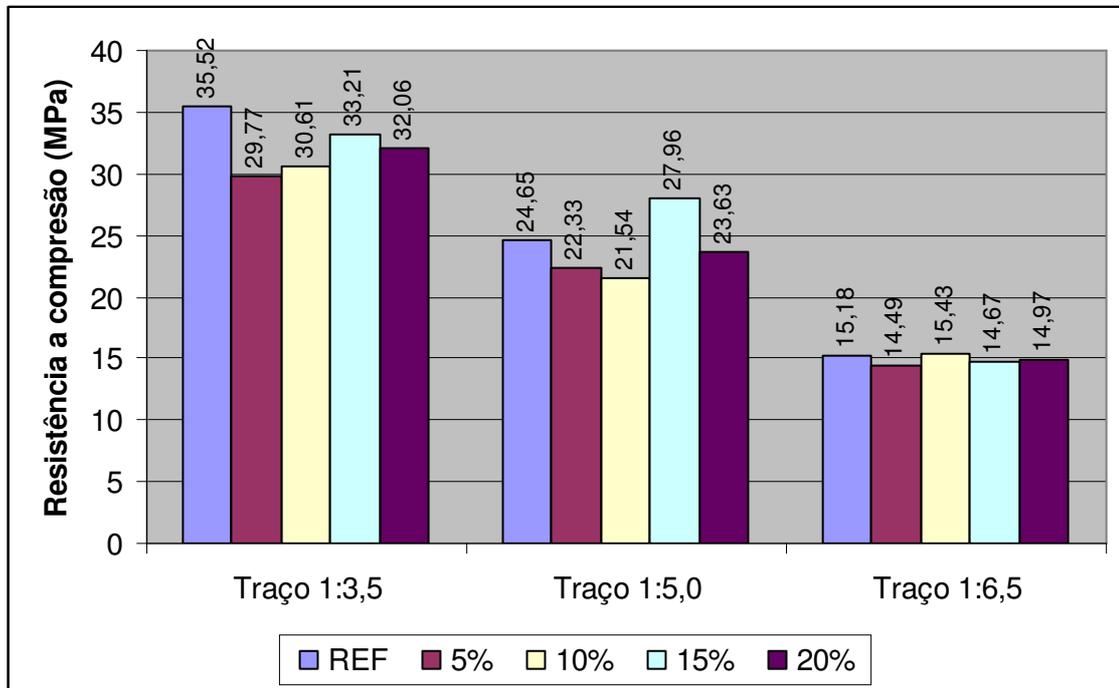


Gráfico 6.8 – Valores (média) da resistência à compressão aos 28 dias de idade

Verifica-se em geral que aos sete dias, o efeito desfavorável da maior área específica dos finos é compensado pelo efeito fíler, à medida que se aumenta o teor de substituição. Aos 28 dias, quando já se realizou grande parte das reações de cimento o efeito fíler não é tão benéfico, havendo perda de resistência em alguns casos.

6.3.2 Módulo de deformação

Os resultados do módulo de deformação dos concretos para os traços 1:3,5, 1:5,0 e 1:6,5 estão apresentados na Tabela 6.7 e no Gráfico 6.9.

Analisando-se os valores do módulo de deformação pode-se observar que o teor de 15% de substituição do RBMG pelo agregado miúdo foi o teor que obteve os maiores valores do módulo em todos os traços. Observa-se no traço 1:3,5 uma ligeira queda no valor do módulo para os teores de 5% e 10% do resíduo. Com 15% o valor sobe e com 20% o valor diminui novamente. No traço 1:5,0 e 1:6,5 verifica-se que ao substituir o resíduo pelo agregado miúdo não há uma alteração significativa dos resultados.

Tabela 6.7 – Valores do módulo de deformação

Classes do concreto	Traço 1:3,5			Traço 1:5,0			Traço 1:6,5		
	Ec (MPa)	Ec média (MPa)	Desvio padrão	Ec (MPa)	Ec média (MPa)	Desvio padrão	Ec (MPa)	Ec média (MPa)	Desvio padrão
REF	26,8	26,0	1,81	22,6	21,5	3,11	19,1	21,1	1,35
	27,1			21,5			21,6		
	23,3			17,2			22,2		
	26,8			24,6			21,6		
5%	23,40	25,2	1,2	21,7	21,5	3,3	19,6	20,9	1,17
	25,49			22,0			20,2		
	25,49			17,1			21,9		
	26,28			25,0			21,9		
10%	23,11	22,2	1,9	24,0	22,8	1,8	20,9	21,5	1,95
	22,81			24,5			19,0		
	19,26			21,9			23,3		
	23,43			20,7			22,7		
15%	34,30	26,4	5,3	24,3	23,2	1,3	23,1	22,7	4,27
	23,88			24,3			19,0		
	23,88			22,6			20,0		
	23,58			21,7			28,5		
20%	23,20	23,3	2,0	23,3	22,2	2,0	22,0	19,4	4,19
	25,86			21,0			20,3		
	23,20			20,1			22,0		
	21,04			24,6			13,2		

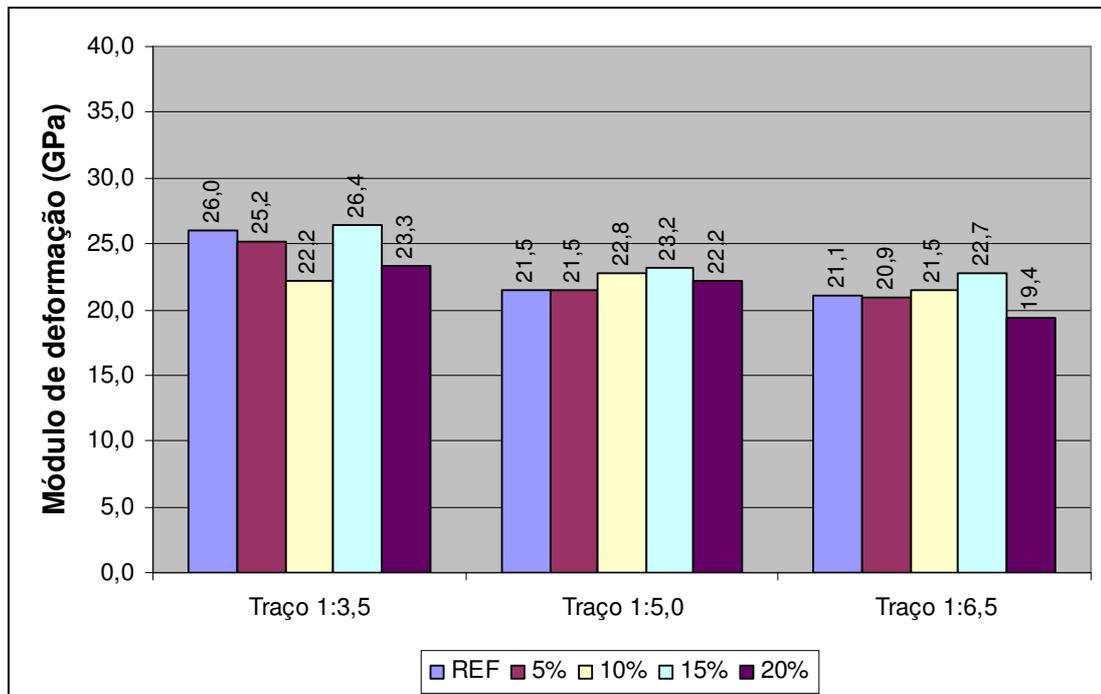


Gráfico 6.9 – Módulo de deformação médio

Os melhores traços para a utilização do resíduo, considerando os resultados do módulo de deformação e a resistência à compressão foram o traço 1:5,0 e 1:6,5 pois há uma tendência de aumento de valores para o teor de resíduo de 15% no traço 1:5,0 e de valores próximos aos de referência no traço 1:6,5.

6.3.3 Absorção por imersão e Índice de Vazios

Os valores encontrados no ensaio de absorção por imersão estão demonstrados na Tabela 6.8 e plotados no Gráfico 6.10.

Tabela 6.8 – Valores da absorção por imersão

Classes do concreto	Traço 1:3,5			Traço 1:5,0			Traço 1:6,5		
	Absorção (%)	Absorção média (%)	Desvio padrão	Absorção (%)	Absorção média (%)	Desvio padrão	Absorção (%)	Absorção média (%)	Desvio padrão
REF	7,0	7,0	0,11	7,2	7,1	0,13	7,2	7,7	0,35
	7,2			7,2			7,5		
	6,9			7,0			7,8		
	7,1			7,0			7,7		
	7,0			7,2			8,2		
5%	7,69	7,50	0,19	8,05	7,90	0,15	8,86	8,24	0,42
	7,38			7,96			7,75		
	7,24			7,65			8,19		
	7,63			7,95			8,40		
	7,55			7,90			8,02		
10%	7,60	7,49	0,16	7,25	7,38	0,08	7,84	8,03	0,25
	7,56			7,45			8,19		
	7,21			7,36			8,33		
	7,59			7,37			7,70		
	7,51			7,46			8,06		
15%	7,57	7,59	0,15	7,63	7,61	0,24	8,28	8,16	0,37
	7,44			7,37			8,50		
	7,53			7,99			8,32		
	7,57			7,61			7,53		
	7,84			7,45			8,20		
20%	7,73	7,64	0,10	7,39	7,42	0,07	8,22	8,31	0,14
	7,55			7,51			8,39		
	7,65			7,32			8,23		
	7,54			7,48			8,19		
	7,75			7,39			8,51		

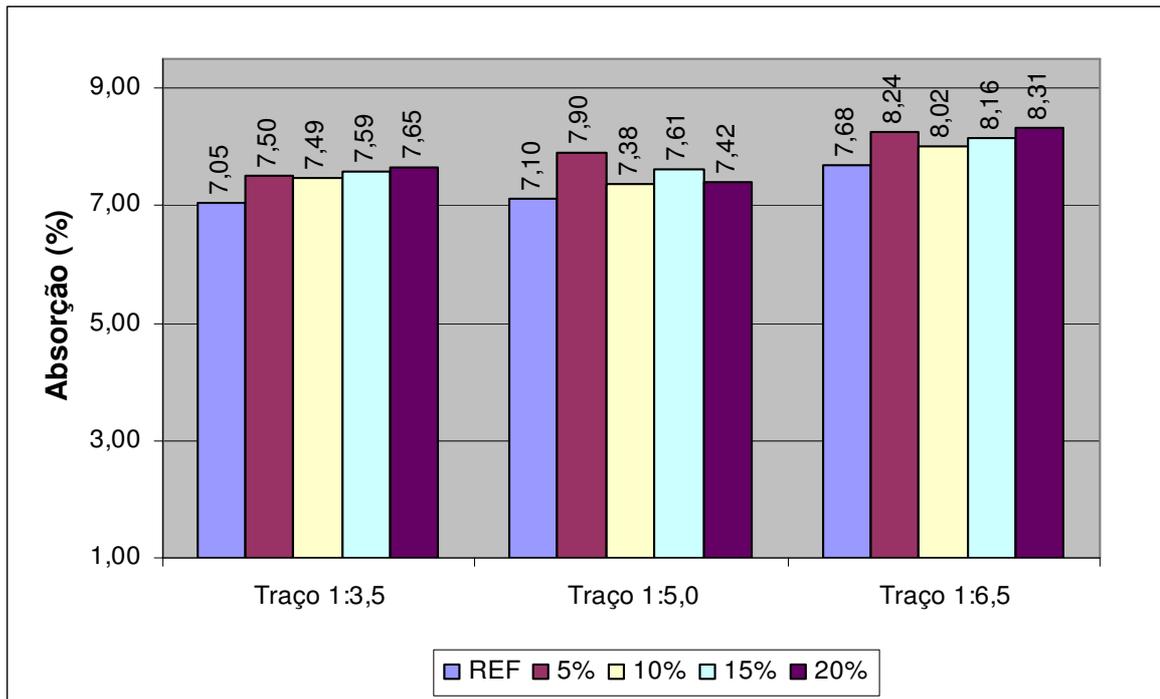


Gráfico 6.10 – Valores médios da absorção por imersão

Analisando-se os resultados encontrados para absorção e índice de vazios verifica-se que, ao substituir o agregado miúdo pelo RBMG, os valores tendem a aumentar para todos os teores de substituição. No traço 1:3,5 houve uma tendência de aumento da absorção e índice de vazios em relação ao valor de referência, mas entre os valores nos concretos que houve a substituição pelo resíduo os valores ficaram quase que constantes.

No traço 1:6,5, percebe-se um comportamento semelhante ao verificado no traço 1:3,5, com valores ligeiramente superiores. Já no traço 1:5,0 a evolução destas variáveis não seguiu a mesma evolução. Todavia, como em todos os traços, os valores destas variáveis para as composições com a substituição pelo resíduo ficaram próximas aos valores das composições de referência, tais diferenças podem ter ocorrido pela imprecisão nos métodos de avaliação e não ao tratamento dado.

O Gráfico 6.11 apresenta os valores plotados para o ensaio de índice de vazios e na Tabela 6.9 os valores encontrados no ensaio.

Tabela 6.9 – Valores do índice de vazios

Classes do concreto	Traço 1:3,5			Traço 1:5,0			Traço 1:6,5		
	Índice de vazios (%)	Índice de vazios médio (%)	Desvio padrão	Índice de vazios (%)	Índice de vazios médio (%)	Desvio padrão	Índice de vazios (%)	Índice de vazios médio (%)	Desvio padrão
REF	15,3	15,4	0,22	15,6	15,4	0,29	15,5	16,3	0,73
	15,7			15,4			15,9		
	15,2			15,0			16,5		
	15,6			15,1			16,3		
	15,4			15,7			17,4		
5%	16,77	16,40	0,36	17,45	17,18	0,31	18,89	17,60	0,90
	16,18			17,32			16,54		
	15,90			16,66			17,55		
	16,65			17,27			17,96		
	16,47			17,18			17,06		
10%	16,55	16,33	0,30	15,89	16,13	0,16	16,98	17,36	0,45
	16,45			16,30			17,63		
	15,81			16,09			17,91		
	16,47			16,14			16,84		
	16,36			16,25			17,44		
15%	16,55	16,59	0,31	16,58	16,58	0,47	17,83	17,56	0,79
	16,28			16,12			18,20		
	16,50			17,34			17,91		
	16,51			16,57			16,19		
	17,10			16,30			17,66		
20%	16,77	16,61	0,18	16,13	16,18	0,15	17,68	17,82	0,27
	16,46			16,32			17,99		
	16,61			15,96			17,64		
	16,39			16,31			17,59		
	16,81			16,19			18,22		

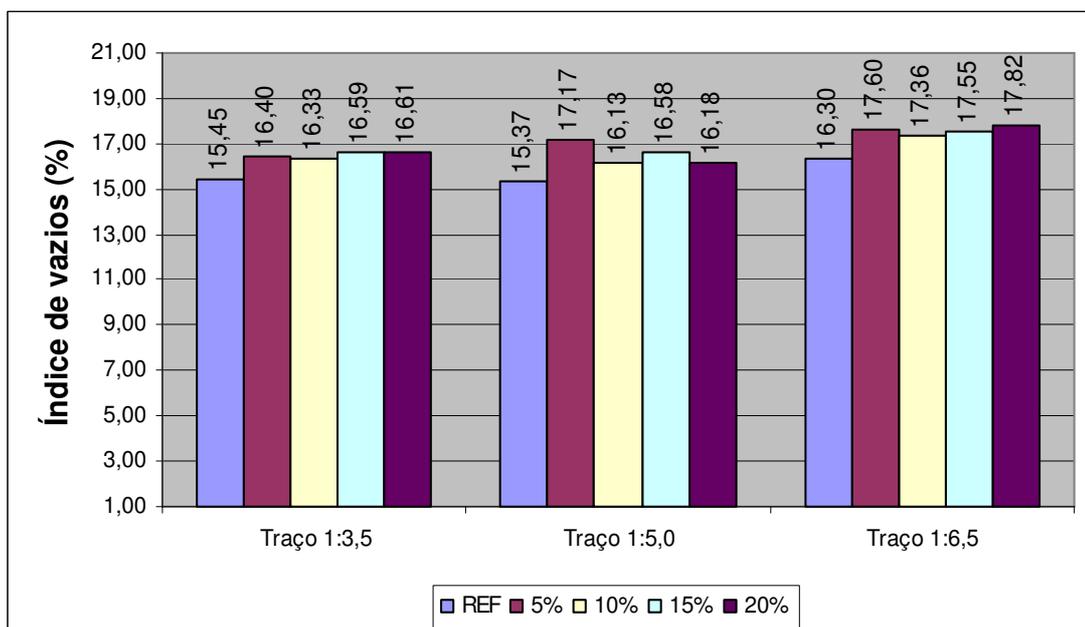


Gráfico 6.11 – Valores médios de índice de vazios

6.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA 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 , no qual os resultados se apresentam 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 valores encontrados das análises realizadas encontram-se no Apêndice A. A seguir são apresentados os resultados obtidos.

6.4.1 Resultado da análise estatística quanto ao Slump dos concretos

O Quadro 6.1 apresenta os resultados dos três testes estatísticos realizados para o slump dos concretos, comparando-se os resultados entre o concreto de referência e os concretos com o RBMG para cada traço.

Teste	Teores do RBMG				
	5%	10%	15%	20%	
Traço 1:3,5	Teste t	NS	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	NS	S	S	S
Traço 1:5,0	Teste t	NS	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	NS	S	S	S
Traço 1:6,5	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	S	S	S	S

NS = Não Significativo; S = Significativo

Quadro 6.1 – Resultado dos testes da análise estatística para o slump dos concretos

Dos resultados ilustrados no quadro 6.1 pode-se afirmar que para os traços 1:3,5 e 1:5,0 o teor de resíduo de 5% não é significativo em relação o valor de referência, enquanto que para os teores de 10, 15 e 20% os valores são estatisticamente diferentes ao nível de significância adotado, logo o efeito do resíduo nestes traços são significativos. Já para o traço 1:6,5 para todos os métodos analisados e para todos os teores de substituição os valores são significativos em relação aos valores de referência.

Fazendo-se uma análise global verifica-se que ao adicionar o RBMG os valores do slump test são alterados.

6.4.2 Resultado da análise estatística quanto a resistência a compressão aos 28 dias

O Quadro 6.2 apresenta os resultados dos três testes estatísticos realizados para a resistência a compressão dos concretos aos 28 dias, comparando-se os resultados entre o concreto de referência e os concretos com o RBMG para cada traço.

Teste	Teores do RBMG				
	5%	10%	15%	20%	
Traço 1:3,5	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	S	NS	NS	NS
Traço 1:5,0	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	NS	S	S	NS
Traço 1:6,5	Teste t	S	NS	NS	NS
	An Variância	NS			
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS

NS = Não Significativo; S = Significativo

Quadro 6.2 – Resultado dos testes da análise estatística para a resistência a compressão

Analisando os resultados apresentados no Quadro 6.2 percebe-se que para o traço 1:3,5 na análise do teste t, ao incorporar o RBMG no concreto os valores são significativos em relação aos valores de referência. Mesmo resultado verifica-se na análise variância. Já no teste Tukey apenas para o teor de 5% os valores são significativos estatisticamente, para os teores de 10,15 e 20% os valores não são significativos em relação aos valores de referência.

No traço 1:5,0 apenas para o teor de 5% e 20% no teste Tukey os valores não são significativos estatisticamente. Para os teores de 10% e 15% no teste Tukey e para todos os teores no teste t e análise de variância os valores são significativos.

Já para o traço 1:6,5 apenas o teor de 5% no teste Tukey é um valor significativo. Para os outros teores e para todos os teores das outras duas análises os valores não são significativos estatisticamente.

Pode-se, portanto, inferir que o RBMG altera os valores da resistência a compressão aos 28 dias, para traços mais ricos em cimento. Para o traço 1:6,5 onde para todos os teores de resíduo os valores não são significativos em relação a referência.

6.4.3 Resultado da análise estatística quanto ao módulo de deformação

O Quadro 6.3 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 os concretos com o RBMG para cada traço.

Teste	Teores do RBMG				
	5%	10%	15%	20%	
Traço 1:3,5	Teste t	NS	S	NS	S
	An Variância	NS			
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS
Traço 1:5,0	Teste t	NS	NS	NS	NS
	An Variância	NS			
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS
Traço 1:6,5	Teste t	NS	NS	NS	NS
	An Variância	NS			
	Teste Tukey	NS	NS	NS	NS

NS = Não Significativo; S = Significativo

Quadro 6.3 – Resultado dos testes da análise estatística para o módulo de deformação

A análise estatística mostrou que em geral ao adicionar o RBMG no concreto não há significância dos valores em relação aos valores de referência. Apenas para o traço 1:3,5 no teor de 10% e 20% no teste t que apontou para valores significativos.

6.4.4 Resultado da análise estatística quanto a absorção por imersão

O Quadro 6.4 apresenta os resultados dos três testes estatísticos realizados para a absorção por imersão, comparando-se os resultados entre o concreto de referência e os concretos com o RBMG para cada traço.

Teste	Teores do RBMG				
	5%	10%	15%	20%	
Traço 1:3,5	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	S	S	S	S
Traço 1:5,0	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	S	NS	S	S
Traço 1:6,5	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	NS			
	Teste Tukey	NS	S	NS	NS

NS = Não Significativo; S = Significativo

Quadro 6.4 – Resultado dos testes da análise estatística para a absorção por imersão

Analisando-se os resultados encontrados nos três métodos de análise estatística verificou-se que no traço 1:3,5 todos os teores de resíduo são valores significativos. A mesma análise pode ser feita para o traço 1:5,0 com exceção do teor de 10% para o teste Tukey.

Entretanto, para o traço 1:6,5 o teste Tukey apontou três valores não significativos para os teores de 5%, 15% e 20%. Para a análise de variância os valores com RBMG com os valores de referência não são significativos. Os outros teores e outras análises neste traço os valores são significativos.

6.4.5 Resultado da análise estatística quanto ao índice de vazios

O Quadro 6.5 apresenta os resultados dos três testes estatísticos realizados para o índice de vazios, comparando-se os resultados entre o concreto de referência e os concretos com o RBMG para cada traço.

Teste	Teores do RBMG				
	5%	10%	15%	20%	
Traço 1:3,5	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	S	S	S	S
Traço 1:5,0	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	S			
	Teste Tukey	S	S	S	S
Traço 1:6,5	Teste t	S	S	S	S
	An Variância	NS			
	Teste Tukey	NS	NS	NS	S

NS = Não Significativo; S = Significativo

Quadro 6.5 – Resultado dos testes da análise estatística para o índice de vazios

A análise estatística mostrou que para os traços 1:3,5 e 1:5,0 todos os valores são significativos em relação aos valores de referência.

Já para o traço 1:6,5 o teste t acusou valores significativos e a análise de variância e teste Tukey valores não significativos estatisticamente. Apenas o teor de 20% para este traço e pelo teste Tukey o valor foi considerado significativo.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho tratou da substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) na produção de concretos. Foram analisadas as seguintes propriedades: consistência, resistência a compressão, módulo de deformação, absorção e índice de vazios.

Os resultados encontrados para a trabalhabilidade mostraram que para o traço 1:3,5 e 1:5,0 os valores se mantêm com 5% de substituição do RBMG, mas ao aumentar o teor de resíduo a trabalhabilidade cai. Uma explicação para esta ocorrência é devido a uma maior demanda de água com a proporção dos finos do RBMG, em consequência do aumento da área específica a ser umedecida, acarretando uma redução na trabalhabilidade.

O mesmo fenômeno e explicação não ocorre para o traço 1:6,5, onde o aumento do teor de resíduo aumentou a trabalhabilidade do concreto. Quanto a esta variável, a substituição da areia pelo resíduo se mostrou tecnicamente benéfica para traços mais pobres.

A melhor resposta do resíduo na resistência a compressão foi no traço 1:5,0 com 15% do RBMG, onde os valores encontrados ficaram maiores que os valores de referência.

Um resultado benéfico também encontrado foi no traço 1:6,5 onde verificou-se, por meio da análise estatística, que a substituição do resíduo não alterou a resistência do concreto. Neste traço, para todos os teores de substituição este concreto pode ser usado em fundações, onde se permite um concreto com 15 MPa.

Considerando os resultados do módulo de deformação, a utilização do resíduo não interferiu no comportamento do concreto, com exceção dos teores de 10% e 20% para o traço 1:3,5, onde, pelo teste *t*, os valores ficaram menores que os de referência.

A análise estatística demonstrou também que a absorção e índice de vazios aumentaram com a incorporação do RBMG para os traços 1:3,5 e 1:5,0. Para o traço 1:6,5 alguns resultados foram significativos, outros não.

De acordo com a bibliografia já citada, a classificação desses concretos nos critérios gerais de durabilidade atende apenas nos critérios de Campiteli (1987), onde os concretos desta pesquisa classifica-se como “Satisfatória” em relação ao índice de vazios e concreto de boa qualidade em relação a absorção.

Pode-se ainda concluir que o melhor teor de substituição, dentre os aqui analisados, foi o de 15%, onde ganharam-se valores de resistência e módulo para alguns traços.

Quanto aos traços estudados, o melhor resultado foi o traço 1:6,5 onde houve ganho na trabalhabilidade sem variações significativas na resistência e no módulo de deformação.

Assim a substituição parcial do agregado miúdo pelo RBMG, além de contribuir em ganho ou igualdade de desempenho de determinados tipos de concreto para as propriedades analisadas, promove o desenvolvimento sustentável.

7.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se para trabalhos futuros:

- Caracterizar a forma dos grãos do RBMG e a sua influência nos resultados de trabalhabilidade;
- Verificar a influência da substituição do agregado miúdo pelo resíduo de beneficiamento de mármore e granito em outras variáveis, como resistência à tração e deformação lenta;
- Verificar a influência da substituição do agregado miúdo pelo resíduo de beneficiamento de mármore e granito no comportamento estrutural;
- Analisar a microestrutura do concreto com substituição do agregado miúdo pelo resíduo de beneficiamento de mármore e granito;
- Estudar os efeitos da adição do RBMG no concreto auto-adensável;
- Fazer análise do custo da substituição do agregado miúdo pelo RBMG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. M. A.; V.S. **Areia Artificial: Uma Alternativa Econômica E Ambiental Para O Mercado Nacional De Agregados**. In: II SUFFIB - SEMINÁRIO: O Uso da Fração Fina da Britagem, 2005, São Paulo, Anais...São Paulo.

ALVES, J.D. **Materiais de construção** . 7ed. Goiânia, Ed. Da Universidade Federal de Goiás, 1999, 298 p.

ANDRADE PERDRIX, M. C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992

ANDRIOLO, F. R.; SGARBOZA, B. C. **Inspeção e Controle de Qualidade do Concreto**. São Paulo: Newswork, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751 - Materiais Pozolânicos: índice de atividade pozolânica com a cal**. Rio de Janeiro, 1992a.

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

_____. **NBR 5753 - Cimento Portland pozolânico: determinação da pozolanidade**. Rio de Janeiro, 1992c.

_____. **NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação**. Rio de Janeiro, 2003e.

_____. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 11579 . Cimento Portland composto. Determinação da Finura por meio da peneira de 75µm (n°200)**. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR NM 23. Cimento Portland e outros materiais em pó**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003d.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003c.

_____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

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

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

BAPTISTA, V. C. G. **Estudo da resistência à compressão em concreto com emprego de resíduo de poliuretano oriundo da indústria coureiro-calçadista** Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental). Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo, 2007.

BARBOSA, M. B. **Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2006.

BUHÉ, C. **Integration of the recycling processes to the life cycle analysis of construction products.** Resources, conservation and recycling, v.20, p.227-243, 1997.

CALMON, J.L.; MORATTI, M.; SOUZA, F.L.S.; CENCI, D.S. **Concreto auto-adensável utilizando resíduo de serragem de rochas ornamentais como fíler.** In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 2005, Recife. **Anais...** Recife: Ibracon, 2005. p.V453-466

CAMPITELLI, V.C. **Porosidade do concreto.** BT – PCC 09/87. Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, São Paulo, 1987.

CAVALCANTI, D. J. H.. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2006.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

DNPM. **Sumário Mineral 2006.** Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006>. Acesso em 11 jan. 2007.

DNPM. **Sumário Mineral 2008.** Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1165>>. Acesso em 11 jul. 2008.

FERRAZ, AL.N. **Análise da Adição de Resíduos de Argamassa de Cimento em Tijolos Prensados De Solo-Cimento.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

FONSECA, A. P. **Estudo Comparativo De Concretos Com Agregado Graúdo Reciclado De Telha Cerâmica E Agregado Graúdo Natural**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

FONTES, C. M. A. **Potencialidades da cinza de lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

FRANÇA, V.H. **Aderência aço-concreto – Uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduo de borracha**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

GOMES, P.C.C.; GETTU,R.; AGULLÓ,L.;TENÓRIO, J.J.L. **Concreto auto-adensável um aliado ao desenvolvimento sustentável do concreto**. In: 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO,2003, Vitória. **Anais...** Vitória: Ibracon,2003. CD-ROM

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

GONÇALVES, J.P.; MOURA, W.A.; MOLIN, D.C.C.D. **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. **Desenvolvimento e Caracterização de Concretos de Baixo Impacto Ambiental e Contendo Argila Calcinada e Areia Artificial**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

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

HELENE, P; **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Ed. G.C. Isaia . São Paulo: IBRACON, 1993. p.439-471.

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. **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. **Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre docência) – EPUSP, São Paulo, 2000.

LAMEIRAS, R. M. **Estudo do Potencial de Utilização do Resíduo do Beneficiamento de Chapas de Granito (RBCG) como Material de Construção: Aplicação em Concreto** Monografia (TCC em Engenharia Civil) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

LAMEIRAS, R.M.; TENÓRIO, J.J.L.; LIMA, L.A. **Avaliação do pontecial de utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG) em concretos.** In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 2005, Recife. **Anais...**Recife: Ibracon, 2005. p.317-332.

LELLES, L.C., SILVA,E.; GRIFFITH, J.J.; MARTINS, S.V. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água.** Rev. Árvore, vol.29, no.3, 2005, p.439-444.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.**Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2001

LIMA,F.X.R.F. **Influência da adição de resíduo de argamassa em tijolos de solo-cimento: propriedades térmicas e mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio-Ambiente. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

LISBOA, E. M. **Obtenção do Concreto Auto-Adensável Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFAL, Maceió, 2004.

LOPES, J. L. M. P. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) como substituição ao cimento, na produção de concretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio-Ambiente. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MARQUES, A.C. **Estudo da influência da adição de borracha vulcanizada em concreto à temperatura ambiente e elevada temperatura.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2005.

MEHTA. P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** 2. ed. São Paulo: Ed. Pini, 1994. 573p.

MIRANDA, R A C. **Viabilidade técnica da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio-Ambiente. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MOURA, W.A. **Resíduos industriais e sua utilização na construção civil**. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CONCRETOS ESPECIAIS, 2004, Sobral. **Anais...Sobral: UVA**, 2004. CD-ROM

NEPOMUCENO, A. A. **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Ed. G.C. Isaia . São Paulo: IBRACON, 2005. p.793-828.

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

NETO,G.T.B. **Estudo Da Substituição De Agregados Miúdos Naturais Por Agregados Miúdos Britados Em Concretos De Cimento Portland**. Dissertação(Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PENTALLA, V. **Concrete and sustainable development**. In: ACI Materials Journal. V.94 Nº5, 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.

PEREZ, B. C.. **As rochas e os minerais industriais como elemento de desenvolvimento sustentável**. Série Rochas e Minerais Industriais - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001, 37 p.

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

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SANTOS, D.R. **Propriedades do concreto produzido com agregado graúdo reciclado de resíduos da etapa de produção das alvenarias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

SCOTT HOOD, R. da S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação**. 150p. Dissertação (Mestrado) - PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 2006.

SEPLAN-GO. **Verticalizar a produção, o maior desafio do setor em Goiás**. Revista Economia & Desenvolvimento, Goiânia, nº 23, 2006. Disponível em: < <http://www.seplan.go.gov.br/revista23/cap04.pdf>>. Acesso em 11 jan. 2007.

SHEHATA, L. D. **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Ed. G.C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005. p.633-654.

SILVA, E.J.; RICCI, E.C.; AKASAKI, J.L.; TASHIMA, M.M.; BARBOSA, M.B. **Análise da variação da Retração por secagem em Argamassas com a adição da Cinza de Casca de Arroz.** In: Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2006, p. 183-195

SOUZA, M.I.B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006a.

SOUZA, C. A. **Utilização de Resíduo de Concreto como Agregado Miúdo para Argamassa de Concretos Estruturais Convencionais.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006b.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento portland.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

TRIGO, A.N.P. **Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

ZHANG, M.H., LASTRA, R., MALHOTRA, V.M.. **Rice-Husk Ash Paste and Concrete: Some aspects of hydration and the Microstructure of the Interfacial Zone Between the Aggregate and Paste.** In: Cement and Concrete Research, V.26. Nº 06, Mar, 1996, USA, p. 963-977.

APÊNDICE

APÊNDICE A – ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS

1 RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO

1.1 SLUMP PARA O TRAÇO 1:3,5

Inicialmente verificou-se por meio do teste F, as variâncias de cada tratamento, com o traço de referência. O Quadro A.1 apresenta os valores de F tabelados ao nível de significância de 5%, que serão comparados ao valor de F calculado apresentado na Tabela A.1

Para um grau de liberdade ($n=N-1=5-1=4$) igual a quatro, tem-se no Quadro A.1 o valor de F igual a 9,6.

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
10	6,94	5,46	4,83	4,47	4,24	4,07	3,95
15	6,2	4,77	4,15	3,8	3,58	3,41	3,29
20	5,87	4,46	3,86	3,51	3,29	3,13	3,01

Quadro A.1 – Quadro do valor de F tabelado para $P=5\%$ (Scheffé (1959) *apud* Bacarji;Gomes (2005))

A Tabela A.1 apresenta os resultados calculados do Teste F, para o slump dos concretos do traço 1:3,5.

Tabela A.1 – Resultados do Teste F, para o slump dos concretos do traço 1:3,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,175	0,175	0,175	0,175
S_2^2	2,300	1,050	0,925	0,075
F calculado	0,076	6,000	5,286	2,333
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

De acordo com os resultados da Tabela A.1, comparando-se as variâncias dos concretos com o RBMG (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.2).

O Quadro 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				
	10,0%	5,0%	2,0%	1,0%	0,1%
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	1294,00
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

Quadro A.2 – Quadro dos valores de t em níveis de probabilidade. (SHEFFÈ (1959) *apud* BACARJI;GOMES (2005))

Para um grau de liberdade igual a 8 ($N=n_1+n_2-2=5+5-2=8$), pelo Quadro A.2, tem-se o valor de t tabelado igual a 2,31. A Tabela A.2 apresenta o cálculo do teste t , e faz uma comparação entre os valores de t tabelados e calculados.

Tabela A.2 – Resultado do Teste t , para o slump dos concretos do traço 1:3,5

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(x_i-x_1)^2$	0,70	0,70	0,70	0,70
	$\Sigma(x_j-x_2)^2$	9,20	4,20	3,70	0,30
	N_1+N_2-2	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	1,24	0,61	0,55	0,13
Teste t	x_1	11,60	11,60	11,60	11,60
	x_2	11,60	7,60	8,10	4,80
	$(S^2 p)^{1/2}$	1,11	0,78	0,74	0,35
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	0,00	16,16	14,92	60,82
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		NS	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Pelos resultados da Tabela A.2, observa-se que, pelo Teste t , o RBMG, não alterou a consistência dos concretos para o teor de 5%.

Para a análise de variância, o valor de F está ilustrado no Quadro A.1. O valor de F 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 com o RBMG com a média do concreto de referência.

Tabela A.3 – Tabela da análise de variância do slump dos concretos para o traço 1:3,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	47.742
$C=(\sum x)^2/n$	1.909,69
$\sum x^2$	2.095,75
$SQT = \sum x^2 - C$	186,06
$SQTr= (\sum T^2)/r -C$	167,960
$SQR = SQT -SQTr$	18,100
$QMTr = SQTr/(K-1)$	41,990
$QMR = SQR/(n-K)$	0,905
$F = QMTr/QMR$	46,398
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

De acordo com os resultados da Tabela A.3, o valor de F calculado foi maior que o F tabelado, portanto estas médias de tratamentos são estatisticamente diferentes, ao nível de significância adotada.

O Quadro A.3 apresenta os valores da amplitude total estudentizada (q), para a determinação da diferença mínima significante (d.m.s) pelo Teste de Tukey.

Nº de graus de liberdade do resíduo	Número de tratamentos (k)				
	2	3	4	5	6
1	8	27	32,8	37,1	40,4
2	6,08	8,33	9,8	10,9	11,7
3	4,5	5,91	6,82	7,5	8,04
4	5,04	5,76	6,29	6,71	7,05
10	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91
15	3,01	3,67	4,08	4,37	4,59
20	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45

Quadro A.3 – Quadro dos valores da amplitude total estudentizada (q) para $\alpha = 5\%$. (SHEFFÉ (1959) *apud* BACARJI;GOMES (2005))

O valor de q para o slump dos concretos, é determinado pelos valores ilustrados no Quadro A.3, sendo que o número de tratamentos é igual a 5 (k), e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-k=25-5$), é igual a 20, logo tem-se como resultado q igual a 4,23.

A Tabela A.4 apresenta os resultados do Teste de Tukey, para a comparação entre as médias das amostras.

Tabela A.4 - Tabela do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:3,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,905
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	1,80

Os resultados da Tabela A.4, mostram que de acordo com o Teste de Tukey, a diferença mínima significativa (d.m.s) entre as médias dos slump dos concretos do traço 1:3,5 é igual a 1,80.

A Tabela A.5 mostra a variação significativa entre as médias dos abatimentos dos concretos, para o traço 1:3,5.

Comparando-se os resultados apresentados na Tabela A.5, pode-se afirmar que, segundo o Teste de Tukey, houve variações significativas entre as médias dos concretos, à exceção das comparações entre os concretos Referência com 5% e o concreto de 10% com 15%.

Tabela A.5 – Comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:3,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	11,60	5%	11,60	0,00	não
Referência	11,60	10%	7,60	4,00	sim
Referência	11,60	15%	8,10	3,50	sim
Referência	11,60	20%	4,80	6,80	sim
5%	11,60	10%	7,60	4,00	sim
5%	11,60	15%	8,10	3,50	sim
5%	11,60	20%	4,80	6,80	sim
10%	7,60	15%	8,10	0,50	não
10%	7,60	20%	4,80	2,80	sim
15%	8,10	20%	4,80	3,30	sim

1.2 SLUMP PARA O TRAÇO 1:5,0

Os valores de F calculados, que serão comparados ao valor de F tabelado, estão apresentados na Tabela A.6. O valor de F tabelado é o mesmo utilizado no slump dos concretos para o traço 1:3,5.

Tabela A.6 – Resultados do Teste F, para o slump dos concretos do traço 1:5,0

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,175	0,175	0,175	0,175
S_2^2	0,175	0,075	0,050	0,075
F calculado	1,000	0,429	0,286	2,333
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

De acordo com os resultados da Tabela A.6, comparando-se as variâncias dos concretos com o RBMG (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.7).

Tabela A.7 – Resultado do Teste t , para o slump dos concretos do traço 1:5,0

Determinação do teste		Teor de substituição do RBMG			
t		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\sum(x_i-x_1)^2$	0,70	0,70	0,70	0,70
	$\sum(x_j-x_2)^2$	0,70	0,30	0,20	0,30
	N_1+N_2-2	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	0,18	0,13	0,11	0,13
Teste t	x_1	11,60	11,60	11,60	11,60
	x_2	11,60	10,80	8,40	3,80
	$(S^2p)^{1/2}$	0,42	0,35	0,34	0,35
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	0,00	7,16	30,17	69,77
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		NS	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Pelos resultados da Tabela A.7, observa-se que, pelo Teste t , o RBMG, não alterou a consistência dos concretos para o teor de 5%.

Tabela A.8 – Tabela da análise de variância do slump dos concretos para o traço 1:5,0

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	53.361
$C=(\sum x)^2/n$	2.134,44
$\sum x^2$	2.356,00
$SQT = \sum x^2 - C$	221,56
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	219,360
$SQR = SQT - SQTr$	2,200
$QMTr = SQTr/(K-1)$	54,840
$QMR = SQR/(n-K)$	0,110
$F = QMTr/QMR$	498,545
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

De acordo com os resultados da Tabela A.8, o valor de F calculado foi maior que o F tabelado, portanto estas médias de tratamentos são estatisticamente diferentes, ao nível de significância adotada.

O valor da amplitude total estudentizada (q), é o mesmo utilizado no slump do traço 1:3,5. A diferença mínima significativa (d.m.s.) entre as médias do slump para o traço 1:5,0 é igual a 0,63.

Tabela A.9 - Tabela do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:5,0

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,110
r	5,000
$d.m.s = q \cdot (QMR/r)^{1/2}$	0,63

A tabela A.10 mostra as diferenças entre as médias do slump dos concretos, para o traço 1:5,0.

Tabela A.10 – Comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:5,0

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa
Referência	11,60	5%	11,60	0,00	não
Referência	11,60	10%	10,80	0,80	sim
Referência	11,60	15%	8,40	3,20	sim
Referência	11,60	20%	3,80	7,80	sim
5%	11,60	10%	10,80	0,80	sim
5%	11,60	15%	8,40	3,20	sim
5%	11,60	20%	3,80	7,80	sim
10%	10,80	15%	8,40	2,40	sim
10%	10,80	20%	3,80	7,00	sim
15%	8,40	20%	3,80	4,60	sim

De acordo com os resultados apresentados na Tabela A.10, pode-se afirmar pelo teste de Tukey, que apenas o concreto de Referência com o teor de 5% de RBMG não apresenta variação significativa em suas médias.

1.3 SLUMP PARA O TRAÇO 1:6,5

Os valores de F calculados, que serão comparados ao valor de F tabelado, estão apresentados na Tabela A.11. O valor de F tabelado é o mesmo utilizado no slump dos concretos para o traço 1:3,5 e 1:5,0.

Tabela A.11 – Resultados do Teste F, para o slump dos concretos do traço 1:6,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,075	0,075	0,075	0,075
S_2^2	3,325	0,750	0,075	0,075
F calculado	0,023	10,000	1,000	1,000
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	diferentes	iguais	iguais

De acordo com os resultados da Tabela A.11, comparando-se as variâncias dos concretos com o RBMG (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, com exceção do teor de 10%. Portanto pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento, pela realização do Teste t (Tabela A.12).

Tabela A.12 – Resultado do Teste t , para o slump dos concretos do traço 1:6,5

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,30	0,30	0,30	0,30
	$\Sigma(xj-x2)^2$	13,30	3,00	0,30	0,30
	$N1+N2-2$	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	1,70	0,41	0,08	0,08
Teste t	x1	11,70	11,70	11,70	11,70
	x2	14,20	16,50	17,20	16,20
	$(S^2p)^{1/2}$	1,30	0,64	0,27	0,27
	$(N1+N2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	6,06	23,63	63,51	51,96
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Pelos resultados da Tabela A.12, observa-se que, pelo Teste t , o RBMG, alterou a consistência dos concretos para todos os teores de RBMG.

De acordo com os resultados da Tabela A.13, o valor de F calculado foi maior que o F tabelado, portanto estas médias de tratamentos são estatisticamente diferentes, ao nível de significância adotada.

Tabela A.13 – Tabela da análise de variância do slump dos concretos para o traço 1:6,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	143.641
$C = (\sum x)^2/n$	5.745,64
$\sum x^2$	5.862,50
$SQT = \sum x^2 - C$	116,86
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	99,660
$SQR = SQT - SQTr$	17,200
$QMTr = SQTr/(K-1)$	24,915
$QMR = SQR/(n-K)$	0,860
$F = QMTr/QMR$	28,971
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

O valor da amplitude total estudentizada (q), é o mesmo utilizado no slump dos traços 1:3,5 e 1:5,0. A diferença mínima significativa (d.m.s.) entre as médias do slump para o traço 1:5,0 é igual a 1,75.

Tabela A.14 - Tabela do Teste de Tukey para comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:6,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,860
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	1,75

A tabela A.15 mostra as diferenças entre as médias do slump dos concretos, para o traço 1:6,5.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela A.15, pode-se afirmar pelo teste de Tukey, que os concretos com o teor de 10% com 15% de RBMG, 10% com 20% e 15% com 20% de RBMG não apresenta variação significativa em suas médias.

Tabela A.15 – Comparação entre as médias do slump dos concretos para o traço 1:6,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa
Referência	11,70	5%	14,20	2,50	sim
Referência	11,70	10%	16,50	4,80	sim
Referência	11,70	15%	17,20	5,50	sim
Referência	11,70	20%	16,20	4,50	sim
5%	14,20	10%	16,50	2,30	sim
5%	14,20	15%	17,20	3,00	sim
5%	14,20	20%	16,20	2,00	sim
10%	16,50	15%	17,20	0,70	não
10%	16,50	20%	16,20	0,30	não
15%	17,20	20%	16,20	1,00	não

2 RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS NO ESTADO ENDURECIDO

2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:3,5

No estudo da análise estatística da resistência à compressão dos concretos, em todos os traços, foram analisados os valores na idade de 28 dias.

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 A.1 (item 1.1). Para um grau de liberdade ($n=N-1=5-1$) igual a quatro, tem-se o valor de F tabelado para a resistência à compressão dos concretos igual a 9,6, mesmo valor para o slump.

A Tabela A.16 apresenta os resultados do cálculo do Teste F, para a resistência à compressão dos concretos para o traço 1:3,5.

Tabela A.16 – Teste F para a resistência à compressão dos concretos no traço 1:3,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	18,586	18,586	18,586	18,586
S_2^2	2,946	8,702	1,284	3,083
F calculado	6,310	0,468	0,069	6,028
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores de F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao 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 oito ($N=n_1+n_2-2=5+5-2=8$), pelo Quadro A.2 (item 1.1), tem-se o valor de *t* tabelado, para a resistência à compressão dos concretos, igual a 2,31.

A tabela A.17 apresenta os resultados do Teste *t*, para a resistência à compressão dos concretos com RBMG, para o traço 1:3,5.

Tabela A.17 – Cálculo do Teste *t* da resistência à compressão aos 28 dias para o traço 1:3,5

Determinação do teste <i>t</i>		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(x_i-x_1)^2$	74,35	74,35	74,35	74,35
	$\Sigma(x_j-x_2)^2$	11,78	34,81	5,14	12,33
	N_1+N_2-2	8,00	8,00	8,00	8,00
	S^2_p	10,77	13,64	9,94	10,83
Teste <i>t</i>	x_1	35,52	35,52	35,52	35,52
	x_2	29,77	30,61	33,21	32,06
	$(S^2_p)^{1/2}$	3,28	3,69	3,15	3,29
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	<i>t</i> calculado	5,55	4,21	2,32	3,33
<i>t</i> tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Observa-se que, segundo este teste, o RBMG alterou a resistência à compressão dos concretos para todos os teores de substituição.

Para a análise de variância, o valor de F está ilustrado no Quadro A.1. O valor de F 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).

A Tabela A.18 mostra os resultados da análise da variância da resistência à compressão dos concretos, para o traço 1:3,5. De acordo com os resultados o valor de F calculado foi superior ao F tabelado, conclui-se que estas médias não são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

Tabela A.18 – Análise da variância das resistências à compressão dos concretos aos 28 dias para o traço 1:3,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	649.367
$C = (\sum x)^2/n$	25.974,69
$\sum x^2$	26.215,68
$SQT = \sum x^2 - C$	240,99
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	102,582
$SQR = SQT - SQTr$	138,406
$QMTr = SQTr/(K-1)$	25,645
$QMR = SQR/(n-K)$	6,920
$F = QMTr/QMR$	3,706
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

Para o teste de Tukey, o valor da amplitude total estudentizada (q), é determinado pelo Quadro A.3 (item 1.1), sendo que o número de tratamentos é igual a 5 (K), e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-K=25-5$), é igual a 20, tem-se valor de q tabelado igual a 4,23.

A Tabela A.19 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey, para a análise das médias da resistência à compressão dos concretos para o traço 1:3,5. Os resultados apresentados na Tabela A.19, mostram que a diferença mínima significativa entre as médias das resistências à compressão para o traço 1:3,5 é igual a 4,98.

A Tabela A.20 mostra as diferenças entre as médias das resistências.

Tabela A.19 – Teste de Tukey das resistências à compressão para o traço 1:3,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	6,920
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	4,98

Tabela A.20 – Comparação entre as médias das resistências para o traço 1:3,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	35,5234	5%	29,7683	5,7550	sim
Referência	35,5234	10%	30,6087	4,9147	não
Referência	35,5234	15%	33,2061	2,3173	não
Referência	35,5234	20%	32,0602	3,4632	não
5%	29,7683	10%	30,6087	0,8403	não
5%	29,7683	15%	33,2061	3,4377	não
5%	29,7683	20%	32,0602	2,2918	não
10%	30,6087	15%	33,2061	2,5974	não
10%	30,6087	20%	32,0602	1,4515	não
15%	33,2061	20%	32,0602	1,1459	não

Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados da resistência à compressão para o traço 1:3,5, foi significativa apenas para o traço de referência com o teor de 5% de RBMG.

2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:5,0

Pelo teste F, foi feita a comparação das variâncias de cada tratamento, com a variância do concreto de referência.

A tabela A.21 apresenta os resultados do cálculo do Teste F, para a resistência à compressão dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.21 – Teste F para a resistência à compressão dos concretos no traço 1:5,0

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	1,221	1,221	1,221	1,221
S_2^2	5,128	1,373	1,334	0,532
F calculado	0,238	1,125	1,093	2,296
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

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

A Tabela A.22 apresenta os resultados do Teste t , para a resistência à compressão dos concretos para o traço 1:5,0. Segundo o Teste t , o RBMG alterou a resistência do concreto aos 28 dias para todos os teores do resíduo.

Tabela A.22 – Cálculo do Teste t da resistência à compressão aos 28 dias para o traço 1:5,0

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(x_i-x_1)^2$	4,88	4,88	4,88	4,88
	$\Sigma(x_j-x_2)^2$	20,51	5,49	5,34	2,13
	N_1+N_2-2	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	3,17	1,30	1,28	0,88
Teste t	x_1	24,65	24,65	24,65	24,65
	x_2	22,33	21,54	27,96	23,63
	$(S^2 p)^{1/2}$	1,78	1,14	1,13	0,94
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	4,11	8,63	9,26	3,44
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

A Tabela A.23 apresenta os resultados da análise da variância das resistências dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.23 – Análise da variância das resistências à compressão dos concretos aos 28 dias para o traço 1:5,0

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\Sigma x)^2$	360.705
$C=(\Sigma x)^2/n$	14.428,19
Σx^2	14.591,82
$SQT = \Sigma x^2 - C$	163,63
$SQTr = (\Sigma T^2)/r - C$	125,279
$SQR = SQT - SQTr$	38,350
$QMTr = SQTr/(K-1)$	31,320
$QMR = SQR/(n-K)$	1,917
$F = QMTr/QMR$	16,334
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

De acordo com os resultados o valor de F calculado foi superior ao F tabelado, conclui-se que estas médias não são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

A Tabela A.24 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey, para a análise das médias da resistências à compressão dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.24 – Teste de Tukey das resistências à compressão para o traço 1:5,0

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	1,917
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	2,62

Os resultados apresentados na Tabela A.24 mostram que a diferença mínima significativa entre as médias da resistência à compressão dos concretos é igual a 2,62.

A Tabela A.25 apresenta os resultados da resistência à compressão de todos os teores do RBMG para o traço 1:5,0.

Tabela A.25 – Comparação entre as médias das resistências para o traço 1:5,0

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	24,65	5%	22,33	2,32	não
Referência	24,65	10%	21,54	3,11	sim
Referência	24,65	15%	27,96	3,31	sim
Referência	24,65	20%	23,63	1,02	não
5%	22,33	10%	21,54	0,79	não
5%	22,33	15%	27,96	5,63	sim
5%	22,33	20%	23,63	1,30	não
10%	21,54	15%	27,96	6,42	sim
10%	21,54	20%	23,63	2,09	não
15%	27,96	20%	23,63	4,33	sim

Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados da resistência à compressão para o traço 1:5,0, foram significativas para o traço de referência com o teor de 10% de RBMG e com o teor de 15%, o teor de 5% com o teor de 15%, teor de 10% com teor 15% e teor de 15% com teor de 20%.

2.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:6,5

Pelo teste F, foi feita a comparação das variâncias de cada tratamento, com a variância do concreto de referência. A tabela A.26 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para a resistência à compressão dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.26 – Teste F para a resistência à compressão dos concretos no traço 1:6,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,757	0,757	0,757	0,757
S_2^2	0,246	0,311	1,025	0,216
F calculado	3,072	0,411	1,353	3,511
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao F tabelado, logo as variâncias das amostras são iguais. Com isso pode-se fazer a verificação do efeitos do tratamento pela realização do Teste t .

A Tabela A.27 apresenta os resultados do Teste t , para a resistência à compressão dos concretos para o traço 1:6,5. Segundo o Teste t , o RBMG alterou a resistência do concreto aos 28 dias apenas para o teor de 5%.

Tabela A.27 – Cálculo do Teste t da resistência à compressão aos 28 dias para o traço 1:6,5

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	3,03	3,03	3,03	3,03
	$\Sigma(xj-x2)^2$	0,99	1,25	4,10	0,86
	$N1+N2-2$	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	0,50	0,53	0,89	0,49
Teste t	$x1$	15,18	15,18	15,18	15,18
	$x2$	14,49	15,43	14,67	14,97
	$(S^2p)^{1/2}$	0,71	0,73	0,94	0,70
	$(N1+N2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	3,07	1,10	1,71	0,92
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	NS	NS	NS

NS = Não significativo; S = significativo

A Tabela A.28 apresenta os resultados da análise da variância das resistências dos concretos para o traço 1:6,5. De acordo com os resultados o valor de F calculado foi inferior ao F tabelado, conclui-se que estas médias são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado. Resultado este diferente para os traços 1:3,5 e 1:5,0.

Tabela A.28 – Análise da variância das resistências à compressão dos concretos aos 28 dias para o traço 1:6,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	139.649
$C=(\sum x)^2/n$	5.585,94
$\sum x^2$	5.599,04
$SQT = \sum x^2 - C$	13,10
$SQTr= (\sum T^2)/r -C$	2,879
$SQR = SQT -SQTr$	10,220
$QMTr = SQTr/(K-1)$	0,720
$QMR = SQR/(n-K)$	0,511
$F = QMTr/QMR$	1,409
F tabelado	3,510
Análise Variância	iguais

A Tabela A.29 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey, para a análise das médias da resistências à compressão dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.29 – Teste de Tukey das resistências à compressão para o traço 1:6,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,511
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	1,35

Os resultados apresentados na Tabela A.29 mostram que a diferença mínima significativa entre as médias da resistência à compressão dos concretos é igual a 1,35.

A Tabela A.30 apresenta os resultados da resistência à compressão de todos os teores do RBMG para o traço 1:6,5.

Tabela A.30 – Comparação entre as médias das resistências para o traço 1:6,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	15,1770	5%	14,4895	0,6875	não
Referência	15,1770	10%	15,4317	0,2546	não
Referência	15,1770	15%	14,6677	0,5093	não
Referência	15,1770	20%	14,9733	0,2037	não
5%	14,4895	10%	15,4317	0,9422	não
5%	14,4895	15%	14,6677	0,1783	não
5%	14,4895	20%	14,9733	0,4838	não
10%	15,4317	15%	14,6677	0,7639	não
10%	15,4317	20%	14,9733	0,4584	não
15%	14,6677	20%	14,9733	0,3056	não

Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados da resistência à compressão para o traço 1:6,5, não foram significativas para nenhum teor do RBMG corroborando o resultado apresentado na Tabela A.28.

2.4 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:3,5

Os valores estudados para o módulo de deformação foram relativos à idade de 28 dias. Pelo Teste F, foram verificadas as variâncias de cada tratamento com o traço de referência. O valor de F tabelado está apresentado no Quadro A.1 (item 1.1). Para um grau de liberdade ($n=N-1=4-1$) igual a três, tem-se o valor de F tabelado para o módulo de deformação dos concretos igual a 15,4.

A Tabela A.31 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para o módulo de deformação dos concretos para o traço 1:3,5.

Tabela A.31 – Teste F para o módulo de deformação dos concretos no traço 1:3,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	3,272	3,272	3,272	3,272
S_2^2	1,525	3,778	27,679	3,877
F calculado	2,145	1,155	8,460	0,844
F tabelado	15,4	15,4	15,4	15,4
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores de F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao F tabelado, as variâncias das amostras são iguais.

Como o este F mostrou que as variâncias dos módulos de deformação entre os concretos com RBMG e o de referência são iguais realizou-se então o Teste *t*.

Com um grau de liberdade igual a seis ($N=n_1 + n_2 - 2 = 4+4-2=6$), pelo Quadro A.2 (item 1.1), tem-se o valor tabelado de *t*, para o módulo de deformação dos concretos igual a 2,45.

A Tabela A.32 apresenta os resultados do Teste *t*, para o módulo de deformação dos concretos com RBMG.

Tabela A.32 – Cálculo do Teste *t* do módulo de deformação para o traço 1:3,5

Determinação do teste		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(x_i-x_1)^2$	9,82	9,82	9,82	9,82
	$\Sigma(x_j-x_2)^2$	4,58	11,34	83,04	11,63
	N_1+N_2-2	6,00	6,00	6,00	6,00
	S^2_p	2,40	3,53	15,48	3,57
Teste <i>t</i>	x_1	25,97	25,97	25,97	25,97
	x_2	25,16	22,15	26,41	23,33
	$(S^2_p)^{1/2}$	1,55	1,88	3,93	1,89
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	2,83	2,83	2,83	2,83
	<i>t</i> calculado	1,48	5,76	0,31	3,96
<i>t</i> tabelado (5%)		2,45	2,45	2,45	2,45
Efeito tratamento		NS	S	NS	S

NS = Não significativo; S = significativo

De acordo com os resultados da Tabela A.32, observa-se que segundo o Teste *t*, o RBMG não alterou os resultados do módulo de deformação dos concretos com 5% e 15% de teor do resíduo.

O teste da análise da variância foi feito analisando-se as médias dos módulos de deformações dos concretos com os teores de RBMG e o concreto de referência. A Tabela A.33 mostra os resultados da análise da variância do módulo de deformação dos concretos para o traço 1:3,5.

Para a análise de variância, o valor de F está ilustrado no Quadro A.1. O valor de F 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=5), e o número de graus de liberdade do denominador, que é igual a n-K (n =quantidade de amostras=20).

Tabela A.33 – Análise da variância do módulo de deformação dos concretos aos 28 dias para o traço 1:3,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	20
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	19
Resíduo (n-K)	15
$(\Sigma x)^2$	242.156
$C=(\Sigma x)^2/n$	12.107,81
Σx^2	12.280,54
$SQT = \Sigma x^2 - C$	172,73
$SQTr= (\Sigma T^2)/r -C$	52,335
$SQR = SQT -SQTr$	120,393
$QMTr = SQTr/(K-1)$	13,084
$QMR = SQR/(n-K)$	8,026
$F = QMTr/QMR$	1,630
F tabelado	3,800
Análise Variância	iguais

De acordo com os resultados o valor de F calculado foi inferior ao F tabelado, conclui-se que estas médias são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

Para o teste de Tukey, o valor de q tabelado para o módulo de deformação dos concretos, é determinado pelo Quadro A.3 (item 1.1), sendo que o número de tratamentos é igual a cinco (K) e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-K = 20-5$) é igual a 15, logo tem-se o valor de q tabelado igual a 4,37.

A tabela A.34 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s.) pelo Teste de Tukey entre as médias dos módulos de deformação dos concretos para o traço 1:3,5.

Tabela A.34 – Teste de Tukey dos módulos de deformação para o traço 1:3,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,37
QMR	8,026
r	4,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	6,19

A Tabela A.35 mostra as diferenças entre as médias dos módulos de deformação dos concretos analisados para o traço 1:3,5.

Tabela A.35 – Comparação entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:3,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	25,97	5%	25,16	0,81	não
Referência	25,97	10%	22,15	3,82	não
Referência	25,97	15%	26,41	0,43	não
Referência	25,97	20%	23,33	2,65	não
5%	25,16	10%	22,15	3,01	não
5%	25,16	15%	26,41	1,24	não
5%	25,16	20%	23,33	1,84	não
10%	22,15	15%	26,41	4,25	não
10%	22,15	20%	23,33	1,17	não
15%	26,41	20%	23,33	3,08	não

Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados dos módulos de deformação para o traço 1:3.5, não foram significativas para nenhum teor do RBMG corroborando o resultado apresentado na Tabela A.33.

2.5 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:5,0

A Tabela A.36 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para o módulo de deformação dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.36 – Teste F para o módulo de deformação dos concretos no traço 1:5,0

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	9,692	9,692	9,692	9,692
S_2^2	10,632	3,123	1,758	4,150
F calculado	0,912	0,322	0,181	2,335
F tabelado	15,4	15,4	15,4	15,4
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos com o RBMG foram inferiores ao F tabelado, as variâncias as amostras são iguais. Portanto pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento pela realização do Teste *t*.

A Tabela A.37 apresenta os resultados do Teste *t* para o módulo de deformação dos concretos com RBMG para o traço 1:5,0.

Tabela A.37 – Cálculo do Teste *t* do módulo de deformação para o traço 1:5,0

Determinação do teste <i>t</i>		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	29,07	29,07	29,07	29,07
	$\Sigma(xj-x2)^2$	31,89	9,37	5,27	12,45
	$N1+N2-2$	6,00	6,00	6,00	6,00
	$S^2 p$	10,16	6,41	5,72	6,92
Teste <i>t</i>	$x1$	21,47	21,47	21,47	21,47
	$x2$	21,46	22,77	23,22	22,24
	$(S^2p)^{1/2}$	3,19	2,53	2,39	2,63
	$(N1+N2)^{1/2}$	2,83	2,83	2,83	2,83
	<i>t</i> calculado	0,01	1,45	2,06	0,83
<i>t</i> tabelado (5%)		2,45	2,45	2,45	2,45
Efeito tratamento		NS	NS	NS	NS

NS = Não significativo; S = significativo

Pode-se observar que o RBMG não alterou significativamente os resultados do módulo de deformação para o traço 1:5,0.

A Tabela A.38 mostra os resultados da análise da variância do módulo de deformação dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.38 – Análise da variância do módulo de deformação dos concretos aos 28 dias para o traço 1:5,0

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	20
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	19
Resíduo (n-K)	15
$(\Sigma x)^2$	197.719
$C=(\Sigma x)^2/n$	9.885,97
Σx^2	9.983,79
$SQT = \Sigma x^2 - C$	97,81
$SQTr = (\Sigma T^2)/r - C$	9,749
$SQR = SQT - SQTr$	88,065
$QMTr = SQTr/(K-1)$	2,437
$QMR = SQR/(n-K)$	5,871
$F = QMTr/QMR$	0,415
F tabelado	3,800
Análise Variância	iguais

De acordo com os resultados o valor de *F* calculado foi inferior ao *F* tabelado, conclui-se que estas médias são estatisticamente iguais ao nível de significância adotada.

A Tabela A.39 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s.) pelo Teste de Tukey entre as médias dos módulos de deformação dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.39 – Teste de Tukey dos módulos de deformação para o traço 1:5,0

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,37
QMR	5,871
r	4,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	5,29

Os resultados apresentados na Tabela A.39 mostram que a diferença mínima significativa entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:5,0 é igual a 5,29. A Tabela A.40 mostra as diferenças entre as médias dos módulos dos concretos analisados para o traço 1:5,0.

Tabela A.40 – Comparação entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:5,0

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	21,47	5%	21,46	0,01	não
Referência	21,47	10%	22,77	1,30	não
Referência	21,47	15%	23,22	1,75	não
Referência	21,47	20%	22,24	0,77	não
5%	21,46	10%	22,77	1,31	não
5%	21,46	15%	23,22	1,76	não
5%	21,46	20%	22,24	0,78	não
10%	22,77	15%	23,22	0,44	não
10%	22,77	20%	22,24	0,53	não
15%	23,22	20%	22,24	0,98	não

Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados dos módulos de deformação para o traço 1:5,0 não foram significativas para nenhum teor do RBMG corroborando o resultado apresentado na Tabela A.38.

2.6 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:6,5

A Tabela A.41 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para o módulo de deformação dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.41 – Teste F para o módulo de deformação dos concretos no traço 1:6,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	1,819	1,819	1,819	1,819
S_2^2	1,359	3,790	18,194	17,552
F calculado	1,338	2,084	10,004	0,104
F tabelado	15,4	15,4	15,4	15,4
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores do F calculado das amostras dos concretos com o RBMG foram inferiores ao F tabelado, as variâncias as amostras são iguais. Portanto pode-se fazer a verificação do efeito do tratamento pela realização do Teste *t*.

A Tabela A.42 apresenta os resultados do Teste *t* para o módulo de deformação dos concretos com RBMG para o traço 1:6,5.

Tabela A.42 – Cálculo do Teste *t* do módulo de deformação para o traço 1:6,5

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	5,46	5,46	5,46	5,46
	$\Sigma(xj-x2)^2$	4,08	11,37	54,58	52,66
	$N1+N2-2$	6,00	6,00	6,00	6,00
	$S^2 p$	1,59	2,80	10,01	9,69
Teste t	x1	21,12	21,12	21,12	21,12
	x2	20,89	21,49	22,65	19,36
	$(S^2p)^{1/2}$	1,26	1,67	3,16	3,11
	$(N1+N2)^{1/2}$	2,83	2,83	2,83	2,83
	t calculado	0,53	0,62	1,37	1,60
t tabelado (5%)		2,45	2,45	2,45	2,45
Efeito tratamento		NS	NS	NS	NS

NS = Não significativo; S = significativo

Pode-se observar que o RBMG não alterou significativamente os resultados do módulo de deformação para nenhum teor do resíduo no traço 1:6,5.

A Tabela A.43 mostra os resultados da análise da variância do módulo de deformação dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.43 – Análise da variância do módulo de deformação dos concretos aos 28 dias para o traço 1:6,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	20
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	19
Resíduo (n-K)	15
$(\sum x)^2$	178.118
$C = (\sum x)^2/n$	8.905,92
$\sum x^2$	9.056,58
$SQT = \sum x^2 - C$	150,66
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	22,524
$SQR = SQT - SQTr$	128,141
$QMTr = SQTr/(K-1)$	5,631
$QMR = SQR/(n-K)$	8,543
$F = QMTr/QMR$	0,659
F tabelado	3,800
Análise Variância	iguais

De acordo com os resultados o valor de F calculado foi inferior ao F tabelado, conclui-se que estas médias são estatisticamente iguais ao nível de significância adotada.

A Tabela A.44 apresenta a diferença mínima significante (d.m.s.) pelo Teste de Tukey entre as médias dos módulos de deformação dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.44 – Teste de Tukey dos módulos de deformação para o traço 1:6,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,37
QMR	8,543
r	4,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	6,39

Os resultados apresentados na Tabela A.44 mostram que a diferença mínima significante entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:6,5 é igual a 6,39. A Tabela A.45 mostra as diferenças entre as médias dos módulos dos concretos analisados para o traço 1:6,5.

Tabela A.45 – Comparação entre as médias dos módulos de deformação para o traço 1:6,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	21,12	5%	20,89	0,24	não
Referência	21,12	10%	21,49	0,37	não
Referência	21,12	15%	22,65	1,53	não
Referência	21,12	20%	19,36	1,76	não
5%	20,89	10%	21,49	0,60	não
5%	20,89	15%	22,65	1,76	não
5%	20,89	20%	19,36	1,53	não
10%	21,49	15%	22,65	1,16	não
10%	21,49	20%	19,36	2,13	não
15%	22,65	20%	19,36	3,29	não

Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados dos módulos de deformação para o traço 1:6,5 não foram significativas para nenhum teor do RBMG corroborando o resultado apresentado na Tabela A.43.

2.7 ABSORÇÃO POR IMERSÃO DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:3,5

No estudo da análise estatística da absorção por imersão, em todos os traços, foram analisados os valores na idade de 28 dias.

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 A.1 (item 1.1). Para um grau de liberdade ($n=N-1=5-1$) igual a quatro, tem-se o valor de F tabelado para a absorção por imersão dos concretos igual a 9,6, mesmo valor para o slump e resistência à compressão.

A Tabela A.46 apresenta os resultados do cálculo do Teste F, para a absorção por imersão dos concretos para o traço 1:3,5.

Tabela A.46 – Teste F para a absorção por imersão dos concretos no traço 1:3,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,013	0,013	0,013	0,013
S_2^2	0,035	0,026	0,023	0,009
F calculado	0,359	2,055	1,804	1,370
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores de F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao 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 oito ($N=n_1+n_2-2=5+5-2=8$), pelo Quadro A.2 (item 1.1), tem-se o valor de *t* tabelado, para a absorção dos concretos, igual a 2,31.

A tabela A.47 apresenta os resultados do Teste *t*, para a absorção dos concretos com RBMG, para o traço 1:3,5.

Tabela A.47 – Cálculo do Teste *t* para a absorção por imersão para o traço 1:3,5

Determinação do teste <i>t</i>		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(x_i-x_1)^2$	0,05	0,05	0,05	0,05
	$\Sigma(x_j-x_2)^2$	0,14	0,10	0,09	0,04
	N_1+N_2-2	8,00	8,00	8,00	8,00
	S^2_p	0,02	0,02	0,02	0,01
Teste <i>t</i>	x_1	7,05	7,05	7,05	7,05
	x_2	7,50	7,49	7,59	7,64
	$(S^2_p)^{1/2}$	0,15	0,14	0,13	0,10
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	<i>t</i> calculado	9,25	10,25	12,97	18,17
<i>t</i> tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Observa-se que, segundo este teste, o RBMG alterou os valores de absorção dos concretos de forma significativa para todos os teores de substituição.

Para a análise de variância, o valor de F está ilustrado no Quadro A.1. O valor de F 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).

A Tabela A.48 mostra os resultados da análise da variância para a absorção por imersão dos concretos, para o traço 1:3,5. De acordo com os resultados o valor de F calculado foi superior ao F tabelado, conclui-se que estas médias não são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

Tabela A.48 – Análise da variância absorção dos concretos para o traço 1:3,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	34.731
$C = (\sum x)^2/n$	1.389,23
$\sum x^2$	1.390,78
$SQT = \sum x^2 - C$	1,55
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	1,129
$SQR = SQT - SQTr$	0,422
$QMTr = SQTr/(K-1)$	0,282
$QMR = SQR/(n-K)$	0,021
$F = QMTr/QMR$	13,370
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

Para o teste de Tukey, o valor da amplitude total estudentizada (q), é determinado pelo Quadro A.3 (item 1.1), sendo que o número de tratamentos é igual a 5 (K), e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-K=25-5$), é igual a 20, tem-se valor de q tabelado igual a 4,23.

A Tabela A.49 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey, para a análise das médias da absorção dos concretos para o traço 1:3,5. Os resultados apresentados na Tabela A.49, mostram que a diferença mínima significativa entre as médias das absorções dos concretos para o traço 1:3,5 é igual a 0,27.

Tabela A.49 – Teste de Tukey da absorção por imersão para o traço 1:3,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,021
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	0,27

A Tabela A.50 mostra as diferenças entre as médias das absorções. Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados da absorção por imersão para o traço 1:3,5, foi significativa para o traço de referência com os teores de 5%, 10%, 15% e 20% de RBMG.

Tabela A.50 – Comparação entre as médias da absorção por imersão para o traço 1:3,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	7,05	5%	7,50	0,45	sim
Referência	7,05	10%	7,49	0,45	sim
Referência	7,05	15%	7,59	0,55	sim
Referência	7,05	20%	7,64	0,60	sim
5%	7,50	10%	7,49	0,00	não
5%	7,50	15%	7,59	0,09	não
5%	7,50	20%	7,64	0,15	não
10%	7,49	15%	7,59	0,10	não
10%	7,49	20%	7,64	0,15	não
15%	7,59	20%	7,64	0,05	não

2.8 ABSORÇÃO POR IMERSÃO DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:5,0

A Tabela A.51 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para a absorção dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.51 – Teste F para a absorção por imersão dos concretos no traço 1:5,0

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,016	0,016	0,016	0,016
S_2^2	0,022	0,007	0,057	0,005
F calculado	0,710	0,447	3,574	2,942
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Os resultados da Tabela A.51 mostram que os valores do F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao F tabelado, segue-se que as variâncias das amostras são iguais. Portanto o Teste t poderá ser realizado para fazer a verificação do efeito do tratamento.

A Tabela A.52 apresenta os resultados do Teste t para a absorção dos concretos com o RBMG para o traço 1:5,0.

Tabela A.52 – Cálculo do Teste t para a absorção por imersão para o traço 1:5,0

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(x_i-x_1)^2$	0,06	0,06	0,06	0,06
	$\Sigma(x_j-x_2)^2$	0,09	0,03	0,23	0,02
	N_1+N_2-2	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	0,02	0,01	0,04	0,01
Teste t	x_1	7,10	7,10	7,10	7,10
	x_2	7,90	7,38	7,61	7,42
	$(S^2p)^{1/2}$	0,14	0,11	0,19	0,10
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	18,17	8,04	8,36	9,57
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Pelo Teste t o RBMG alterou a absorção por imersão para todos os teores de substituição.

A Tabela A.53 mostra os resultados da análise da variância das absorções dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.53 – Análise da variância absorção dos concretos para o traço 1:5,0

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\Sigma x)^2$	34.983
$C=(\Sigma x)^2/n$	1.399,31
Σx^2	1.401,49
$SQT = \Sigma x^2 - C$	2,18
$SQTr = (\Sigma T^2)/r - C$	1,748
$SQR = SQT - SQTr$	0,432
$QMTr = SQTr/(K-1)$	0,437
$QMR = SQR/(n-K)$	0,022
$F = QMTr/QMR$	20,222
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

De acordo com os resultados o valor de F calculado foi superior ao F tabelado, conclui-se que estas médias não são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

A diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey para a análise das médias das absorções dos concretos está apresentada na Tabela A.54.

Tabela A.54 – Teste de Tukey da absorção por imersão para o traço 1:5,0

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,022
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	0,28

A Tabela A.55 mostra as diferenças entre as médias das absorções. Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados da absorção por imersão para o traço 1:5,0, foi significativa para o traço de referência com os teores de 5%, 15% e 20% de RBMG e para os teores de 5% de RBMG com 10%, 15% e 20%.

Tabela A.55 – Comparação entre as médias da absorção por imersão para o traço 1:5,0

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	7,10	5%	7,90	0,80	sim
Referência	7,10	10%	7,38	0,27	não
Referência	7,10	15%	7,61	0,50	sim
Referência	7,10	20%	7,42	0,31	sim
5%	7,90	10%	7,38	0,52	sim
5%	7,90	15%	7,61	0,29	sim
5%	7,90	20%	7,42	0,48	sim
10%	7,38	15%	7,61	0,23	não
10%	7,38	20%	7,42	0,04	não
15%	7,61	20%	7,42	0,19	não

2.9 ABSORÇÃO POR IMERSÃO DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:6,5

A Tabela A.56 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para a absorção dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.56 – Teste F para a absorção por imersão dos concretos no traço 1:6,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,125	0,125	0,125	0,125
S_2^2	0,175	0,065	0,138	0,019
F calculado	0,712	0,525	1,108	6,495
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Os resultados da Tabela A.56 mostram que os valores do F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao F tabelado, segue-se que as variâncias das amostras são iguais. Portanto o Teste t poderá ser realizado para fazer a verificação do efeito do tratamento.

A Tabela A.57 apresenta os resultados do Teste t para a absorção dos concretos com o RBMG para o traço 1:6,5.

Tabela A.57 – Cálculo do Teste t para a absorção por imersão para o traço 1:6,5

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,50	0,50	0,50	0,50
	$\Sigma(xj-x2)^2$	0,70	0,26	0,55	0,08
	$N1+N2-2$	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	0,15	0,09	0,13	0,07
Teste t	x1	7,68	7,68	7,68	7,68
	x2	8,24	8,02	8,16	8,31
	$(S^2p)^{1/2}$	0,39	0,31	0,36	0,27
	$(N1+N2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	4,61	3,55	4,24	7,46
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Pelo Teste t o RBMG alterou a absorção por imersão para todos os teores de substituição.

A Tabela A.58 mostra os resultados da análise da variância das absorções dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.58 – Análise da variância absorção dos concretos para o traço 1:6,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	40.840
$C=(\sum x)^2/n$	1.633,60
$\sum x^2$	1.636,94
$SQT = \sum x^2 - C$	3,34
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	1,255
$SQR = SQT - SQTr$	2,088
$QMTr = SQTr/(K-1)$	0,314
$QMR = SQR/(n-K)$	0,104
$F = QMTr/QMR$	3,005
F tabelado	3,510
Análise Variância	iguais

De acordo com os resultados o valor de F calculado foi inferior ao F tabelado, conclui-se que estas médias são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

A diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey para a análise das médias das absorções dos concretos está apresentada na Tabela A.59, sendo que seu valor é igual a 0,61.

Tabela A.59 – Teste de Tukey da absorção por imersão para o traço 1:6,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,104
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	0,61

A Tabela A.60 mostra as diferenças entre as médias das absorções. Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados da absorção por imersão para o traço 1:6,5, foi significativa para o traço de referência com o teor de 20% de RBMG.

Tabela A.60 – Comparação entre as médias da absorção por imersão para o traço 1:6,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	7,68	5%	8,24	0,56	não
Referência	7,68	10%	8,02	0,35	não
Referência	7,68	15%	8,16	0,49	não
Referência	7,68	20%	8,31	0,63	sim
5%	8,24	10%	8,02	0,22	não
5%	8,24	15%	8,16	0,08	não
5%	8,24	20%	8,31	0,07	não
10%	8,02	15%	8,16	0,14	não
10%	8,02	20%	8,31	0,29	não
15%	8,16	20%	8,31	0,15	não

2.10 ÍNDICE DE VAZIOS DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:3,5

No estudo da análise estatística dos índices de vazios, em todos os traços, foram analisados os valores na idade de 28 dias.

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 A.1 (item 1.1). Para um grau de liberdade ($n=N-1=5-1$) igual a quatro, tem-se o valor de F tabelado para o índice de vazios dos concretos igual a 9,6, mesmo valor para o slump, resistência à compressão e absorção por imersão.

A Tabela A.61 apresenta os resultados do cálculo do Teste F, para o índice de vazios dos concretos para o traço 1:3,5.

Tabela A.61 – Teste F para o índice de vazios dos concretos no traço 1:3,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,050	0,050	0,050	0,050
S_2^2	0,126	0,089	0,094	0,034
F calculado	0,397	1,774	1,882	1,465
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Como os valores de F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao 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 oito ($N=n_1+n_2-2=5+5-2=8$), pelo Quadro A.2 (item 1.1), tem-se o valor de *t* tabelado, para o índice de vazios dos concretos, igual a 2,31.

A tabela A.62 apresenta os resultados do Teste *t*, para o índice de vazios dos concretos com RBMG, para o traço 1:3,5.

Tabela A.62 – Cálculo do Teste *t* para o índice de vazios para o traço 1:3,5

Determinação do teste <i>t</i>		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(x_i-x_1)^2$	0,20	0,20	0,20	0,20
	$\Sigma(x_j-x_2)^2$	0,50	0,36	0,38	0,14
	N_1+N_2-2	8,00	8,00	8,00	8,00
	S^2_p	0,09	0,07	0,07	0,04
Teste <i>t</i>	x_1	15,45	15,45	15,45	15,45
	x_2	16,40	16,33	16,59	16,61
	$(S^2_p)^{1/2}$	0,30	0,26	0,27	0,21
	$(N_1+N_2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	<i>t</i> calculado	10,12	10,58	13,43	17,92
<i>t</i> tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Observa-se que, segundo este teste, o RBMG alterou os valores dos índices de vazios dos concretos de forma significativa para todos os teores de substituição.

Para a análise de variância, o valor de F está ilustrado no Quadro A.1. O valor de F 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).

A Tabela A.63 mostra os resultados da análise da variância para o índice de vazios dos concretos, para o traço 1:3,5. De acordo com os resultados o valor de F calculado foi superior ao F tabelado, conclui-se que estas médias não são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

Tabela A.63 – Análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:3,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	165.511
$C = (\sum x)^2/n$	6.620,43
$\sum x^2$	6.626,58
$SQT = \sum x^2 - C$	6,15
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	4,571
$SQR = SQT - SQTr$	1,575
$QMTr = SQTr/(K-1)$	1,143
$QMR = SQR/(n-K)$	0,079
$F = QMTr/QMR$	14,512
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

Para o teste de Tukey, o valor da amplitude total estudentizada (q), é determinado pelo Quadro A.3 (item 1.1), sendo que o número de tratamentos é igual a 5 (K), e o número de graus de liberdade do resíduo ($n-K=25-5$), é igual a 20, tem-se valor de q tabelado igual a 4,23.

A Tabela A.64 apresenta a diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey, para a análise das médias dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:3,5. Os resultados apresentados na Tabela A.64, mostram que a diferença mínima significativa entre as médias dos índices de vazios para o traço 1:3,5 é igual a 0,53.

Tabela A.64 – Teste de Tukey do índice de vazios para o traço 1:3,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,079
r	5,000
$d.m.s = q \cdot (QMR/r)^{1/2}$	0,53

A Tabela A.65 mostra as diferenças entre as médias dos índices de vazios. Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados da absorção por imersão para o traço 1:3,5, foi significativa para o traço de referência com os teores de 5%, 10%, 15% e 20% de RBMG.

Tabela A.65 – Comparação entre as médias dos índices de vazios para o traço 1:3,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	15,45	5%	16,40	0,95	sim
Referência	15,45	10%	16,33	0,88	sim
Referência	15,45	15%	16,59	1,14	sim
Referência	15,45	20%	16,61	1,16	sim
5%	16,40	10%	16,33	0,07	não
5%	16,40	15%	16,59	0,19	não
5%	16,40	20%	16,61	0,21	não
10%	16,33	15%	16,59	0,26	não
10%	16,33	20%	16,61	0,28	não
15%	16,59	20%	16,61	0,02	não

2.11 ÍNDICE DE VAZIOS DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:5,0

A Tabela A.66 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para o índice de vazios para o traço 1:5,0.

Tabela A.66 – Teste F para índice de vazios dos concretos no traço 1:5,0

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,082	0,082	0,082	0,082
S_2^2	0,094	0,026	0,219	0,022
F calculado	0,869	0,315	2,680	3,766
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Os resultados da Tabela A.66 mostram que os valores do F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao F tabelado, segue-se que as variâncias das amostras são iguais. Portanto o Teste t poderá ser realizado para fazer a verificação do efeito do tratamento.

A Tabela A.67 apresenta os resultados do Teste t para o índice de vazios com o RBMG para o traço 1:5,0.

Tabela A.67 – Cálculo do Teste *t* para o índice de vazios para o traço 1:5,0

Determinação do teste <i>t</i>		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	0,33	0,33	0,33	0,33
	$\Sigma (xj-x2)^2$	0,38	0,10	0,88	0,09
	$N1+N2-2$	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	0,09	0,05	0,15	0,05
Teste <i>t</i>	$x1$	15,38	15,38	15,38	15,38
	$x2$	17,18	16,13	16,58	16,18
	$(S^2p)^{1/2}$	0,30	0,23	0,39	0,23
	$(N1+N2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	<i>t</i> calculado	19,18	10,31	9,82	11,18
<i>t</i> tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Pelo Teste *t* o RBMG alterou o índice de vazios para todos os teores de substituição.

A Tabela A.68 mostra os resultados da análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:5,0.

Tabela A.68 – Análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:5,0

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\Sigma x)^2$	165.842
$C=(\Sigma x)^2/n$	6.633,67
Σx^2	6.644,13
$SQT = \Sigma x^2 - C$	10,46
$SQTr= (\Sigma T^2)/r -C$	8,694
$SQR = SQT -SQTr$	1,769
$QMTr = SQTr/(K-1)$	2,173
$QMR = SQR/(n-K)$	0,088
$F = QMTr/QMR$	24,567
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

De acordo com os resultados o valor de F calculado foi superior ao F tabelado, conclui-se que estas médias não são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

A diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey para a análise das médias dos índices de vazios dos concretos está apresentada na Tabela A.69, sendo que seu valor é igual a 0,56.

Tabela A.69 – Teste de Tukey do índices de vazios para o traço 1:5,0

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,088
r	5,000
$d.m.s = q.(QMR/r)^{1/2}$	0,56

A Tabela A.70 mostra as diferenças entre as médias dos índices de vazios. Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados dos índices de vazios para o traço 1:5,0, não foi significativa para o traço com 10% de RBMG com 15% e 20% e para o traço com 15% de RBMG com 20% do resíduo.

Tabela A.70 – Comparação entre as médias do índice de vazios para o traço 1:5,0

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Varição Significativa
Referência	15,38	5%	17,18	1,80	sim
Referência	15,38	10%	16,13	0,76	sim
Referência	15,38	15%	16,58	1,20	sim
Referência	15,38	20%	16,18	0,80	sim
5%	17,18	10%	16,13	1,04	sim
5%	17,18	15%	16,58	0,59	sim
5%	17,18	20%	16,18	0,99	sim
10%	16,13	15%	16,58	0,45	não
10%	16,13	20%	16,18	0,05	não
15%	16,58	20%	16,18	0,40	não

2.12 ÍNDICE DE VAZIOS DOS CONCRETOS PARA O TRAÇO 1:6,5

A Tabela A.71 apresenta os resultados do cálculo do Teste F para o índice de vazios para o traço 1:6,5.

Tabela A.71 – Teste F para índice de vazios dos concretos no traço 1:6,5

Cálculo do Teste F	Teor de substituição do RBMG			
	5%	10%	15%	20%
S_1^2	0,512	0,512	0,512	0,512
S_2^2	0,803	0,199	0,623	0,074
F calculado	0,638	0,389	1,217	6,917
F tabelado	9,6	9,6	9,6	9,6
Resultado das variâncias	iguais	iguais	iguais	iguais

Os resultados da Tabela A.71 mostram que os valores do F calculado das amostras dos concretos foram inferiores ao F tabelado, segue-se que as variâncias das amostras são iguais. Portanto o Teste t poderá ser realizado para fazer a verificação do efeito do tratamento.

A Tabela A.72 apresenta os resultados do Teste t para o índice de vazios com o RBMG para o traço 1:6,5.

Tabela A.72 – Cálculo do Teste t para o índice de vazios para o traço 1:6,5

Determinação do teste t		Teor de substituição do RBMG			
		5%	10%	15%	20%
Var. Pond.	$\Sigma(xi-x1)^2$	2,05	2,05	2,05	2,05
	$\Sigma(xj-x2)^2$	3,21	0,80	2,49	0,30
	$N1+N2-2$	8,00	8,00	8,00	8,00
	$S^2 p$	0,66	0,36	0,57	0,29
Teste t	$x1$	16,32	16,32	16,32	16,32
	$x2$	17,60	17,36	17,56	17,82
	$(S^2p)^{1/2}$	0,81	0,60	0,75	0,54
	$(N1+N2)^{1/2}$	3,16	3,16	3,16	3,16
	t calculado	4,99	5,52	5,20	8,79
t tabelado (5%)		2,31	2,31	2,31	2,31
Efeito tratamento		S	S	S	S

NS = Não significativo; S = significativo

Pelo Teste t o RBMG alterou o índice de vazios para todos os teores de substituição.

A Tabela A.73 mostra os resultados da análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:6,5.

Tabela A.73 – Análise da variância dos índices de vazios dos concretos para o traço 1:6,5

Cálculo da Variância	R e 5%, 10%, 15%, 20%
K (tratamentos)	5
n (amostras)	25
Tratamentos (K-1)	4
Total (n-1)	24
Resíduo (n-K)	20
$(\sum x)^2$	187.758
$C = (\sum x)^2/n$	7.510,32
$\sum x^2$	7.526,12
$SQT = \sum x^2 - C$	15,79
$SQTr = (\sum T^2)/r - C$	6,950
$SQR = SQT - SQTr$	8,844
$QMTr = SQTr/(K-1)$	1,738
$QMR = SQR/(n-K)$	0,442
$F = QMTr/QMR$	3,929
F tabelado	3,510
Análise Variância	médias diferentes

De acordo com os resultados o valor de F calculado foi superior ao F tabelado, conclui-se que estas médias não são estatisticamente iguais ao nível de significância adotado.

A diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Tukey para a análise das médias dos índices de vazios dos concretos está apresentada na Tabela A.74, sendo que seu valor é igual a 1,26.

Tabela A.74 – Teste de Tukey do índices de vazios para o traço 1:6,5

Teste de Tukey	Resultados
q tabelado	4,23
QMR	0,442
r	5,000
$d.m.s = q \cdot (QMR/r)^{1/2}$	1,26

A Tabela A.75 mostra as diferenças entre as médias dos índices de vazios. Observa-se que, pela diferença entre as médias, os resultados dos índices de vazios para o traço 1:6,5, foi significativa para o traço de referência com 5% e 20% de RBMG.

Tabela A.75 – Comparação entre as médias do índice de vazios para o traço 1:6,5

Teor do RBMG	Média	Teor do RBMG	Média	Diferença entre médias	Variação Significativa
Referência	16,32	5%	17,60	1,28	sim
Referência	16,32	10%	17,36	1,04	não
Referência	16,32	15%	17,56	1,24	não
Referência	16,32	20%	17,82	1,50	sim
5%	17,60	10%	17,36	0,24	não
5%	17,60	15%	17,56	0,04	não
5%	17,60	20%	17,82	0,22	não
10%	17,36	15%	17,56	0,20	não
10%	17,36	20%	17,82	0,46	não
15%	17,56	20%	17,82	0,27	não

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](#)