



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

PAULO ANÉLIO GARCIA GUACELLI

**SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA DE  
BRITAGEM DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA  
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

---

LONDRINA  
2010

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

PAULO ANÉLIO GARCIA GUACELLI

**SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA DE  
BRITAGEM DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA  
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado, em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Berenice Martins  
Toralles Carbonari

LONDRINA  
2010

PAULO ANÉLIO GARCIA GUACELLI

**SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA DE  
BRITAGEM DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado, em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Berenice M. Toralles Carbonari  
Universidade Estadual de Londrina -UEL

---

Profa. Dra. Marienne do Rocio de Melo  
Maron da Costa  
Universidade Federal do Paraná – UFPR

---

Profa. Dra. Sueli Tavares de Melo Souza  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná - UTFPr

Londrina, 03 de março de 2010.

*A Deus criador destas magníficas leis que regem  
o universo e que em nossa humilde condição  
buscamos compreender.*

## **AGRADECIMENTO (S)**

A Deus, presença constante em minha vida, por ter dado coragem e sabedoria para finalização de mais essa etapa.

Aos meus pais Samuel e Carmen. Ele dedicado professor de matemática e ela dedicada professora primária. Do meu pai herdei a afeição pelos números e da minha mãe a paciência e a virtude de perseverar diante das dificuldades.

À minha filha Paula, pela confiança e motivação.

Agradeço a minha orientadora professora Berenice M. Toralles Carbonari por me transmitir valiosos conhecimentos e por encorajar nos momentos mais difíceis.

À professora Miriam Jerônimo Barbosa pelo apoio constante.

Ao professor Luis Antonio de Souza, do departamento de estruturas, meu primeiro mestre e amigo na UEL.

À professora Sueli Tavares de Melo Souza, pela extrema dedicação na preparação e realização de alguns ensaios.

Aos professores Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa e Prudêncio Junior, pelas sugestões e críticas construtivas do exame de qualificação, que foram de grande valia para o desenvolvimento deste estudo.

Pela ajuda conferida no planejamento do ensaio de fissuração agradeço ao Professor Ederaldo Furlaneto Junior, e no ensaio de tração à flexão ao professor Francisco Morato Leite.

Aos técnicos do laboratório de materiais de construção senhores Anderson Tiroli e Claudio Cesar Pereira e aos técnicos dos laboratórios de estruturas e de solos, senhores Luis e Pedro.

Aos proprietários das pedreiras Guaravera e Urbalon, senhores Jorge e Rodrigo.

Aos alunos de graduação Caio Cesar Catiste Silva, Guilherme Sechi de Lima e Julio Cesar Mendes Castanha, pela ajuda na realização dos ensaios.

À Gerente de Trânsito e Sistema Viário do IPPUL, Cristiane Biazzono Dutra, por compreender e apoiar este meu propósito.

A todos que com boa intenção colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

GUACELLI, Paulo Anélio Garcia. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. 2010. 166 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2009.

## RESUMO

O presente estudo tem a finalidade de avaliar a utilização de areia de britagem de rochas basálticas, em substituição a areia de extração, nas argamassas de revestimento. Avaliou-se também a substituição de porcentagem da areia de extração. A areia de britagem é uma alternativa à areia de extração em argamassas, tendo em vista o esgotamento gradual das jazidas de areia mais próximas aos grandes consumidores e as restrições impostas pelos órgãos de proteção ambiental a esta exploração. No entanto, devido ao processo de produção, a areia de britagem possui algumas características que a diferenciam da areia de extração. Sendo assim, procurou-se analisar os efeitos da areia de britagem nas argamassas no estado fresco, no estado endurecido e na fase de uso. Os resultados obtidos mostram que é viável esta substituição para uma proporção de 50% de areia de britagem e 50% de areia de extração. Sendo necessários estudos para melhorar a granulometria e a forma das partículas da areia de britagem, buscando viabilizar sua utilização sem a necessidade da composição com a areia de extração.

**Palavras-chave:** Areia de britagem. Argamassa de revestimento. Argamassa com areia de britagem.



GUACELLI, Paulo Anélio Garcia. **Replacement of natural sand by basalt sand in mortars for coating**. 2010. 166 pages. Dissertation (Masters in Building Engineering and Sanitation) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

### **ABSTRACT**

The present study has the purpose of evaluate the artificial sand, in substitution the extration sand, in mortars of covering. The substitution of percentage of the extration sand was also evaluated. The artificial sand is an alternative to the sand of extration in mortars, in view of the gradual exhaustion of the deposits of sand next to the great consumers and the restrictions imposed for the agencies to ambient protection to this exploration. However, had to the production process, the artificial sand possess some characteristics differentiate that it of the extration sand. Being thus, it was looked to analyze the effect of the sand of artificial sand in mortars in the fresh state, the hardened state and the phase of use. The gotten results show that this substitution for a ratio of 50% of artificial sand and 50% of extration sand is viable. Being necessary more studies to improve the particles sizing and the form of particles of the artificial sand, being searched to make possible its use without the necessity of the composition with the extration sand.

**Key words:** Artificial sand. Covering mortar. Mortar with artificial sand.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Esquema de funcionamento do V.S.I .....	34
<b>Figura 2</b> – Curvas Granulométricas de Areias de Extração.....	40
<b>Figura 3</b> – Curvas Granulométricas de Areias de Britagem e Compostas .....	42
<b>Figura 4</b> – Curvas Granulométricas de Areias Preparadas – Frações da Areia IPT.....	43
<b>Figura 5</b> – Agregados utilizados por Lanas e Alvarez .....	44
<b>Figura 6</b> – Areias utilizadas no trabalho de Reddy e Gupta, 2007, limites das normas ABNT e I.S .....	45
<b>Figura 7</b> – Curvas granulométricas de areias – Normas Técnicas: ABNT, ASTM e B.S. ....	47
<b>Figura 8</b> – Curvas granulométricas de areias – Normas Técnicas: B.S, ASTM e I.S.....	48
<b>Figura 9</b> – Fluxograma do Programa Experimental .....	66
<b>Figura 10</b> - Curvas Granulométricas das Areias Naturais de Extração – Média e Grossa.....	70
<b>Figura 11</b> – Curvas Granulométricas das Areias de Britagem das Pedreiras Urbalon e Guaravera.....	71
<b>Figura 12</b> – Curva Granulométrica da Nova Areia de Britagem x Areia Antiga Pedreira Guaravera.....	73
<b>Figura 13</b> – Curva Granulométrica da Areia NAB e Curvas de composições especificadas pelas normas: NBR, ASTM, B.S. e I.S.....	74
<b>Figura 14</b> – Curvas Granulométricas das Areias Compostas – Sem Peneirar .....	76
<b>Figura 15</b> – Curvas Granulométricas das Areias Compostas – Areia de Britagem Peneirada na # 2,4mm.....	77
<b>Figura 16</b> – Curvas das areias 70% AB + 30% AE; 50% AB + 50% AE e especificações das normas ASTM, BS e IS .....	79
<b>Figura 17</b> – Betoneira de eixo inclinado .....	82
<b>Figura 18</b> – Ensaio de resistência à compressão .....	90
<b>Figura 19</b> – Ensaio de tração na flexão .....	91
<b>Figura 20</b> – Ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico .....	92
<b>Figura 21</b> – Preparação do ensaio de módulo de elasticidade estático.....	94

<b>Figura 22</b> – Representação dos ciclos de carregamento/descarregamento para a determinação do módulo de elasticidade .....	95
<b>Figura 23</b> – Paredes para a realização de ensaios .....	98
<b>Figura 24</b> – Jazida de rochas basálticas da pedreira Urbalon .....	100
<b>Figura 25</b> – Jazida da pedreira Guaravera .....	101
<b>Figura 26</b> – Rochas basálticas fragmentadas, jazida da pedreira Guaravera .....	101
<b>Figura 27</b> – Produto do desmanche .....	102
<b>Figura 28</b> – Fluxograma de produção.....	103
<b>Figura 29</b> – Britador V. S. I. desmontado para manutenção.....	104
<b>Figura 30</b> – Usina de britagem em operação – pedreira Guaravera.....	105
<b>Figura 31</b> – Vista aérea da pedreira Guaravera .....	105
<b>Figura 32</b> – Exsudação de água.....	107
<b>Figura 33</b> – Densidade de massa da argamassa fresca .....	108
<b>Figura 34</b> – Resistências à compressão – idade: 7, 28 e 56 dias.....	111
<b>Figura 35</b> – Resistências à compressão das argamassas estudadas .....	111
<b>Figura 36</b> – Módulos estático e dinâmico aos 28 dias, e equações NBR 6118, CEB.....	116
<b>Figura 37</b> – Massa específica seca, saturada e real .....	118
<b>Figura 38</b> - Incidência de raios solares e de ventos no verão .....	121
<b>Figura 39</b> – Face sul das paredes para o ensaio de fissuração .....	122
<b>Figura 40</b> – Face norte das paredes para o ensaio de fissuração.....	122
<b>Figura 41</b> – Revestimento com a argamassa de referência .....	123
<b>Figura 42</b> – Revestimento com a argamassa AB1 .....	123
<b>Figura 43</b> – Revestimento com a argamassa AB2 .....	124
<b>Figura 44</b> – Revestimento com a argamassa AB3 .....	124

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Composições Granulométricas de Areias de Extração .....	40
<b>Tabela 2</b> – Composições Granulométricas de Areias de Britagem e Compostas.....	41
<b>Tabela 3</b> – Composições Granulométricas das Areias Preparadas (Frações da areia IPT) .....	42
<b>Tabela 4</b> – Composição granulométrica de areias.....	43
<b>Tabela 5</b> – Composições granulométricas, especificadas pelas normas NBR 7211:09, ASTM C-144:04, B.S. 4551:80 e I.S. 2116:98.....	46
<b>Tabela 6</b> – Composições Granulométricas das Areias Naturais de Extração – Média e Grossa .....	69
<b>Tabela 7</b> – Composições Granulométricas das Areias de Britagem das Pedreiras Guaravera e Ubalon.....	71
<b>Tabela 8</b> – Composição Granulométrica da NAB .....	72
<b>Tabela 9</b> – Composição Granulométrica das Areias Compostas - Sem Peneirar.....	75
<b>Tabela 10</b> – Composição Granulométrica das Areias Compostas – Areia de Britagem Peneirada na # 2,4mm .....	77
<b>Tabela 11</b> – Massa unitária no estado solto, massa específica e mat. Pulverulento	80
<b>Tabela 12</b> – DMC, MF e % de partículas maiores que 2,4 mm.....	80
<b>Tabela 13</b> – Ensaios nos estados fresco e endurecido.....	81
<b>Tabela 14</b> – Massa unitária no estado solto dos materiais constituintes .....	83
<b>Tabela 15</b> –. Proporção dos constituintes (traços) em massa .....	83
<b>Tabela 16</b> – Programação dos ensaios .....	85
<b>Tabela 17</b> – Quantidade de material pulverulento das areias estudadas .....	104
<b>Tabela 18</b> – Relação água/cimento e água/materiais secos.....	106
<b>Tabela 19</b> – Exsudação de água .....	107
<b>Tabela 20</b> – Densidade de massa da argamassa fresca .....	108
<b>Tabela 21</b> – Densidade de massa aparente no estado endurecido .....	109
<b>Tabela 22</b> –. Resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (NBR 13279:05).....	111
<b>Tabela 23</b> – Resultados dos ensaios para determinação do módulo de elasticidade estático – 28 dias .....	113
<b>Tabela 24</b> – Resultados dos ensaios para determinação do módulo de elasticidade estático – 56 dias .....	113

<b>Tabela 25</b> – Módulo de elasticidade dinâmico -28 dias .....	114
<b>Tabela 26</b> – Módulo de Elasticidade Dinâmico – 56 dias.....	114
<b>Tabela 27</b> – Módulos estático, dinâmico e estimativas teóricas (GPa) .....	115
<b>Tabela 28</b> – Valores de MED E MEE.....	116
<b>Tabela 29</b> –.Resultado dos ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica .....	117
<b>Tabela 30</b> – Contagem das fissuras .....	119
<b>Tabela 31</b> – Material pulverulento nas areias .....	119
<b>Tabela 32</b> – Resistências à tração na flexão .....	125

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Conjunto de peneiras utilizadas.....	30
<b>Quadro 2</b> – Classificação da forma de partículas .....	32
<b>Quadro 3</b> – Influência da areia nas argamassas .....	37
<b>Quadro 4</b> – Nomenclatura das areias mencionadas.....	39
<b>Quadro 5</b> – Características químicas e físicas do cimento CP II Z 32.....	67
<b>Quadro 6</b> – Características físicas da cal CH – III.....	68
<b>Quadro 7</b> – Características químicas da cal CH - III.....	68
<b>Quadro 8</b> – Nomenclaturas e composições das argamassas.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

t –	Tonelada
hab -	Habitantes
RCD –	Resíduos de Construção Civil
km -	Quilômetro
m –	Metro
UEL –	Universidade Estadual de Londrina
UFSC –	Universidade Federal de Santa Catarina
UTFPR –	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
D.M.C –	Dimensão Máxima Característica
NBR -	Norma Brasileira
%r.a –	Porcentagem Retida Acumulada
ASTM –	American Society for Testing and Materials
B.S –	British Standards
I. S –	Indian Standards
ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NAB –	Nova Areia de Britagem
A.E –	Areia de Extração
A.B –	Areia de Britagem
LS –	Limite Superior
LI –	Limite Inferior
m i –	Massa da amostra saturada imersa em água após fervura
msat –	Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura
A –	Absorção de água por imersão (%)
MS –	Massa da amostra seca na estufa
IV –	Índice de Vazios (%)
$\gamma_s$ –	Massa específica da amostra seca
$\gamma_{sat}$ –	Massa específica da amostra saturada após fervura
$\gamma_r$ –	Massa específica real
CTU –	Centro de Tecnologia e Urbanismo
C.V –	Coeficiente de Variação (%)

kg –	Quilo
dm -	Decímetro
CEB –	Comitê Euro/Internacional du Béton
fck –	Resistência característica à compressão
fc 28 –	Resistência média aos 28 dias
MED -	Módulo de Elasticidade Dinâmico
MEE –	Módulo de Elasticidade Estático
C.P –	Corpo de Prova



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1 CONTEXTO GERAL DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	20
1.2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA .....	21
1.3 OBJETIVO DO TRABALHO .....	22
1.4 JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DA PESQUISA .....	22
1.5 HIPÓTESE.....	24
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	24
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>26</b>
2.1 AGREGADOS MIÚDOS .....	26
2.1.1 Definições.....	26
2.1.2 Funções dos Agregados e Parâmetros de Avaliação.....	27
2.1.2.1 Funções dos agregados .....	27
2.1.2.2 Parâmetros de avaliação dos agregados .....	28
2.1.3 Agregados Miúdos de Britagem de Rochas .....	33
2.1.4 Influência dos Agregados nas Propriedades das Argamassas .....	36
2.1.5 Areias Utilizadas em Trabalhos Nacionais, Internacionais e Normas Técnicas.....	38
2.1.5.1 Trabalhos acadêmicos .....	39
2.1.5.2 Normas técnicas: ABNT NBR 7211:09 (p/ concretos), ASTM C-144:04, BS 4551:80 e I.S. 2116:98. ....	46
2.2 CIMENTO.....	49
2.2.1 Matérias Primas e Adições Minerai s Utilizadas no Cimento Portland .....	49
2.2.2 Tipos de Cimento Utilizados No Preparo de Argamassas.....	50
2.3 A CAL .....	51
2.3.1 A Cal nas Argamassas.....	51
2.3.2 Conseqüências Favoráveis do Uso da Cal.....	53
2.4 AS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO, SUAS FUNÇÕES E PROPRIEDADES .....	54
2.4.1 Propriedades no Estado Fresco .....	55
2.4.1.1 Propriedades que abrangem o comportamento reológico das argamassas: trabalhabilidade, consistência e plasticidade.....	55
2.4.1.2 Coesão e tixotropia.....	58

2.4.1.3 Exsudação de água.....	58
2.4.1.4 Adesão inicial .....	59
2.4.2 Propriedades no Estado Endurecido .....	60
2.4.2.1 Aderência .....	60
2.4.2.2 Resistência mecânica.....	62
2.4.2.3 Elasticidade ou capacidade de absorver deformações .....	63
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>66</b>
3.1 ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	66
3.1.1 Cimento .....	67
3.1.2 Cal.....	68
3.1.3 Agregado miúdo .....	69
3.1.3.1 Adequação e escolha do agregado miúdo .....	75
3.1.3.2 Caracterização dos agregados a serem utilizados.....	79
3.2 ESTUDO DAS ARGAMASSAS .....	80
3.2.1 Planejamento dos Ensaios .....	80
3.2.2 Definição do Traço .....	81
3.2.3 Preparação das Argamassas .....	82
3.2.4 Metodologia Adotada nos Ensaios .....	86
3.2.4.1 Análise granulométrica .....	86
3.2.4.2 Massa específica.....	86
3.2.4.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	87
3.2.4.4 Índice de consistência .....	88
3.2.4.5 Exsudação.....	88
3.2.4.6 Resistência à compressão .....	89
3.2.4.7 Resistência à tração na flexão .....	90
3.2.4.8 Módulo de elasticidade dinâmico .....	91
3.2.4.9 Módulo de elasticidade estático .....	93
3.2.4.10 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	95
3.2.4.11 Contagem e medição das fissuras .....	97
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>100</b>
4.1 MUDANÇAS OCORRIDAS NA PEDREIRA GUARAVERA .....	105

4.2 ENSAIOS NAS ARGAMASSAS.....	106
4.2.1 Relação Água/Cimento e Água/Materiais Secos.....	106
4.2.2 Exsudação.....	107
4.2.3 Densidade de massa da argamassa fresca .....	108
4.2.4 Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido .....	109
4.2.5 Resistência à Compressão.....	110
4.2.6 Módulo de Elasticidade Estático.....	112
4.2.7 Módulo de elasticidade dinâmico .....	114
4.2.8 Correlação entre o módulo de elasticidade estático, módulo de elasticidade dinâmico e estimativas teóricas da NBR 6118:03 e CEB 90.....	115
4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS, MASSA ESPECÍFICA SECA, SATURADA E REAL .....	117
4.4 MEDIÇÕES DAS FISSURAS DOS REVESTIMENTOS DAS ARGAMASSAS .....	119
4.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	124
<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>137</b>
APÊNDICE A: Resultados dos Ensaios de Absorção de água, Índice de vazios e Massa.....	138
APÊNDICE B: Resultados dos Ensaios de Densidade de Massa no estado endurecido.....	140
APÊNDICE C: Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão aos 7, 28 e 56 dias.....	141
APÊNDICE D: Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade Estático aos 28 e 56 dias.....	142
APÊNDICE E: Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade Dinâmico aos 28 e 56 dias .....	143
APÊNDICE F: Resultados dos ensaios de Resistência a tração na flexão .....	144
APÊNDICE G: Análise estatística de significância – massas específicas, índice de vazios e absorção .....	145

APÊNDICE H: Análise estatística de significância – densidade de massa no estado endurecido.....	152
APÊNDICE I: Análise estatística de significância – tração na flexão .....	154
APÊNDICE J: análise estatística de significância – módulo de elasticidade dinâmico.....	156
APÊNDICE K: Análise estatística de significância – módulo de elasticidade estático.....	158
<b>ANEXOS .....</b>	<b>159</b>
ANEXO A: Análise Petrográfica da Areia de Britagem.....	160

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil a construção civil é um importante segmento da economia e participa de forma expressiva na geração de empregos. Este setor econômico é responsável por 14,8% do PIB, e emprega mão de obra que em sua maior parte representa a parcela da população com pouca formação técnica/educacional. De forma mais geral, a indústria da construção civil consome 50% dos recursos minerais produzidos em todo o planeta. Os produtos destas atividades mineradoras, mais utilizados nos empreendimentos dos setores construtivos são o cimento, a cal, e os agregados.

Os agregados são utilizados principalmente no preparo de argamassas e concretos, mas também possuem outras aplicações no campo da engenharia, tais como: base de estradas de rodagem, lastros de vias férreas, elemento filtrante, jateamento para pintura, paisagismo, etc.

O custo final da produção dos agregados é influenciado sensivelmente pelo seu transporte até os centros consumidores, visto que esta atividade produtiva se caracteriza por gerar grandes volumes de matéria prima com um baixo valor unitário, e as distâncias para abastecer os mercados construtivos nos locais de sua utilização têm aumentado consideravelmente em decorrência da escassez gradativa das jazidas e de justificadas restrições dos órgãos ambientais.

Além disso, a extração da areia à beira dos cursos d'água tem vários efeitos indesejáveis que ocasionam a degradação do meio ambiente, tais como a extinção das matas ciliares, a instabilidade das margens e alteração na calha dos rios.

De acordo com Valverde (2001), as perspectivas de garantia de suprimento futuro são aleatórias, pois a exploração destes recursos está sendo limitada cada vez mais.

Das razões citadas acima, decorre a necessidade de estudos que viabilizem alternativas para substituir a areia natural de extração no preparo de argamassas e concretos.

## 1.1 CONTEXTO GERAL DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Segundo Valverde (2001), os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo. Nos EUA, em 2000, o consumo anual de bens minerais por habitante foi da ordem de 10 t, sendo que deste total, 5,7 t foram de rocha britada e 4,3 t de areia e cascalho. Como parte da rocha britada foi utilizada com fins industriais, na produção de cimento, cal, indústria química e metalúrgica, pode-se pressupor que o total de agregados para a construção civil que cada americano consumiu em média ultrapassa 7,5 t.

De acordo com o mesmo autor, no século passado a produção total de agregados nos Estados Unidos, aumentou de 58 milhões de toneladas em 1900 para 2,76 bilhões de toneladas em 2000. Este nível de consumo de agregados se repete nos demais países industrializados, como na Europa Ocidental com uma média de 5 a 8 t por habitante, e no Canadá onde na Província de Ontário, o consumo chegou a 15 t por habitante, devido a um “boom” econômico ocorrido na década de 80.

No Brasil o consumo de agregados, que pode ser considerado um indicador econômico, varia de forma significativa entre as diversas regiões, nas mais desenvolvidas chega a 4,5 t/hab/ano, enquanto em outras apenas 2 t/hab/ano.

Os agregados de origem natural são extraídos em jazidas onde são encontrados fragmentados, ou obtidos da britagem de rochas.

A exploração prolongada das areias naturais de extração, utilizadas na construção civil em larga escala como um dos materiais constituintes de argamassas para diferentes usos e de concretos, tem resultado no esgotamento das jazidas próximas aos grandes centros urbanos. Além disso, são crescentes as restrições impostas pelos órgãos ambientais à sua exploração em leitos de rios, visto que, as diversas formas de vegetação e florestas situadas às margens dos cursos d'água são consideradas como áreas de preservação permanentes.

As limitações que decorrem das razões acima descritas tem tornado necessária a busca deste material em locais cada vez mais distantes, elevando o custo desta matéria-prima que está cada dia mais escassa.

Dentre as opções para a substituição das areias extraídas dos rios tem-se a utilização de resíduos da construção civil (RCD) e a produção de areia proveniente da britagem de rochas.

Ambas são viáveis, porém neste trabalho estuda-se a utilização da areia de britagem no preparo de argamassas, sendo esta uma das alternativas mais promissoras, pois é facilmente encontrada em pedreiras mais próximas aos grandes centros urbanos, sendo abundantes as jazidas, que na região deste estudo tem procedência basáltica.

De acordo com Faganello (2006), o planalto existente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, denominado “Serra Geral”, é constituído principalmente por lavas de origem vulcânica de composição basáltica. A área corresponde a aproximadamente 1.200.000 km<sup>2</sup>, e a espessura média é em torno de 700 m.

Muito embora a utilização de areias provenientes de britagem de rochas já seja uma realidade nos maiores centros urbanos brasileiros, e haja uma tendência para o aumento de sua demanda, estima-se que apenas 9% da areia utilizada no estado de São Paulo tenha esta origem (ALMEIDA, 2005; VALVERDE, 2001).

Observa-se então que a substituição da areia de extração pela areia de britagem encontra-se ainda em um grau reduzido. Torna-se, portanto relevante a realização de pesquisas que acrescentem conhecimentos sobre este assunto, e desenvolvam novas técnicas que possibilitem um acréscimo nesta proporção

## 1.2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

O presente trabalho propõe a substituição da areia natural de extração por areia de britagem de rochas basálticas. Como será exposto oportunamente, a areia de britagem, em decorrência do seu processo de produção, apresenta algumas características que a diferenciam da areia de extração, tais como:

- Elevada proporção de partículas menores que 0,075 mm;
- Partículas mais angulosas e, por conseguinte menos esféricas.
- A superfície das partículas da areia de britagem de rochas basálticas tem uma textura mais áspera se comparada com a areia de extração.

Dessa forma, o problema de pesquisa refere-se à análise dos efeitos da substituição da areia de extração por areia de britagem na produção de argamassas de revestimento, nos estados fresco, endurecido e na fase de uso.

### 1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo é estudar a viabilidade técnica da substituição da areia natural de extração por areia de britagem de rochas basálticas, na confecção de argamassas de revestimento.

### 1.4 JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Como visto anteriormente, as justificativas para a realização da presente pesquisa são as seguintes:

O setor da construção civil provoca considerável impacto no meio ambiente, devido principalmente ao elevado consumo de matérias-primas minerais (ALMEIDA, 2005). No que se refere a agregados miúdos o consumo no Brasil esta em torno de 230 milhões de toneladas ao ano (VALVERDE, 2001). Ainda segundo Almeida (2005) cerca de 90% da areia consumida é extraída do leito de rios, sendo esta atividade responsável pela degradação das matas ciliares e assoreamento dos cursos d'água.



O mercado de agregados é bastante promissor, sendo responsável por 60% a 70% do volume de uma obra de construção civil (ALMEIDA, 2005). Metade do consumo de areias é utilizada em argamassas e a outra parcela na produção de concretos.

De acordo com o mesmo autor, já há exaustão das areias de extração mais próximas aos grandes centros consumidores, o que em conjunto às restrições de órgãos de fiscalização ambientais têm provocado o distanciamento dos locais de exploração. Desta forma o preço final deste produto tem aumentado, onerando a construção civil. A distância entre produção e consumo tem sido em média 100 Km.

As areias de boa qualidade utilizadas na região metropolitana de Londrina têm sido extraídas às margens do rio Paraná, no município de Nova Londrina, a uma distância de 300 Km.

O preço da areia de britagem produzida na região de Londrina é cerca de 67% do custo da areia de extração.

Um dos materiais que podem atender as especificações necessárias para substituir a areia de extração é a areia produzida a partir de processos de cominuição de rocha sã (ALMEIDA, 2005). São várias as vantagens técnicas obtidas dessa substituição, dentre as quais se destaca as características constantes encontradas nas areias de britagem. Também existem diferenças entre estes dois tipos de agregados e, portanto, é necessário adequar este novo produto no que se refere à distribuição granulométrica, forma e textura.

Em razão do encarecimento progressivo da areia natural ocasionado pelas distâncias percorridas entre extração e consumo, têm aumentado a procura por agregados miúdos de britagem de rochas basálticas na região de Londrina, tanto para a execução de argamassas como para concretos. Entretanto, a produção deste material e sua utilização sem um critério técnico adequado tem resultado em inúmeras manifestações patológicas, levando a necessidade de estudos que contribuam para melhorar a qualidade e durabilidade dos revestimentos.

**Relevância da pesquisa:** São poucos os trabalhos acadêmicos que abordam a utilização de areia de britagem na confecção de argamassas. No que se refere à literatura científica, que tenha por assunto a produção de agregados miúdos

provenientes de rochas basálticas e de sua utilização no preparo de argamassas, pode-se dizer que ainda é insuficiente, ao se levar em conta a importância do tema.

Várias instituições universitárias dedicadas à pesquisa têm procurado suprir a necessidade de mais informações técnicas sobre o emprego de agregados de origem basáltica, dentre as quais se podem citar: UEL, UFSC e UFPR.

## 1.5 HIPÓTESE

A hipótese que propõe responder ao problema formulado é ser possível a produção de argamassas mistas utilizando como agregado miúdo areia de britagem de rochas basálticas, obtendo desempenho igual ou superior às produzidas com areia de extração.

## 1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 1, apresenta-se a introdução, que contempla o contexto geral do desenvolvimento da pesquisa, a colocação do problema, o objeto de estudo, as justificativas e relevância da pesquisa, a hipótese e a estruturação deste trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre os materiais componentes da argamassa com ênfase para o agregado miúdo, e também as funções e propriedades das argamassas.

O programa experimental e os ensaios realizados fazem parte do capítulo 3, sendo este composto da escolha e caracterização dos materiais, definição do traço e programação dos ensaios.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos dos ensaios realizados.

As considerações finais e conclusões dos ensaios realizados encontram-se no capítulo 5. Também faz parte deste capítulo, as sugestões para futuros trabalhos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os materiais constituintes das argamassas mistas e também sobre as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

### 2.1 AGREGADOS MIÚDOS

Na construção civil os agregados miúdos são tradicionalmente utilizados como materiais de enchimento dentro das argamassas, sendo considerados inertes. No entanto, pesquisas têm demonstrado que os agregados exercem influência significativa em algumas propriedades importantes, tais como: trabalhabilidade, retenção de água, resiliência, aderência, impermeabilidade, dentre outras.

O real papel dos agregados miúdos ficou evidenciado com mais clareza, após as jazidas de areias naturais de extração próximas aos grandes centros consumidores, chegarem perto do esgotamento. Ocorreu então, que o encarecimento do produto devido ao aumento do custo do transporte, motivou as empresas a buscarem novas alternativas que possibilitassem substituir este insumo, com vistas a obter vantagens competitivas.

No entanto a utilização desordenada e sem o devido suporte técnico, das areias de britagem, tem levado a ocorrência de patologias graves, de difíceis e onerosos procedimentos corretivos.

#### 2.1.1 Definições

O termo agregado é definido pela ABNT – NBR 9935:05, como sendo: “Material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto”.

De acordo com a referida norma, agregado miúdo é o agregado cujos grãos passam na peneira com abertura de malha 4,8 mm, e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150  $\mu\text{m}$ , em ensaio realizado conforme ABNT NBR NM 248:03. Ainda define areia, como sendo o agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou provenientes de outros processos industriais.

Filer ou microfino é o material granular que passa na peneira de abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ .

Materiais pulverulentos são as partículas com dimensão inferior a 75  $\mu\text{m}$ , inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

Por fim a matéria orgânica, de acordo com Neville (1997), aparece nos agregados na forma de húmus e argila orgânica e são produtos de decomposição de matéria vegetal, sendo este material encontrado com mais freqüência na areia do que nos agregados graúdos que podem ser facilmente lavados.

A norma NBR 9935:87 classificava como agregado natural aquele que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, a menos de lavagem e seleção; e agregado artificial como o resultante de processo industrial, incluindo britagem de rocha ou pedregulho.

Cabe observar que a norma em vigência NBR 9935:05, por outro lado, classifica os agregados obtidos através de britagem como naturais, visto que leva em conta a origem do material, enquanto a anterior considerava o processo de obtenção.

## 2.1.2 Funções dos Agregados e Parâmetros de Avaliação

### 2.1.2.1 Funções dos agregados

A adição do agregado miúdo, que é um material de enchimento relativamente econômico, à pasta de cimento, cal e água, possibilita:

- Reduzir as variações de volume, o surgimento de fissuras e a percolação de água;
- Facilitar a passagem do anidrido carbônico do ar, necessário a recarbonatação do hidróxido de cálcio (AZEREDO, 1978);
- Aumentar a resistência mecânica aos esforços aplicados.

O agregado miúdo tem função de estruturação (enchimento), constituindo um material pouco deformável que suporta a retração de volume do cimento, reduzindo fissuras. Deve ser composto de partículas inócuas que reduzem o custo da mistura (ARAÚJO, 1995).

#### 2.1.2.2 Parâmetros de avaliação dos agregados

A caracterização da areia para utilização em argamassas tem sido motivo de estudo, por representar em torno de 80%, em massa, da composição de uma argamassa (CINCOTTO, 1999).

Alguns parâmetros são utilizados para avaliar as propriedades e as características dos agregados.

##### a) Parâmetros relativos à granulometria

Com relação aos aspectos granulométricos destacam-se a distribuição granulométrica, a massa unitária, a dimensão máxima característica e o coeficiente de uniformidade.

O módulo de finura, definido como o somatório dos retidos acumulados na série normal de peneiras, dividido por 100, é também um parâmetro limitado (CARNEIRO *et. al.*, 1997). Segundo este autor curvas granulométricas distintas podem levar ao mesmo módulo de finura.

A dimensão máxima característica (DMC) corresponde 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. (NBR 9935:05).

O coeficiente de uniformidade, segundo Carneiro *et. al.*, (1999) é definido como sendo a relação entre a abertura da peneira pela qual passam 60% em massa da areia e a abertura pela qual passam 10% em massa da areia, tomados da curva granulométrica traçada em escala logarítmica.

$$C = d_{60}/d_{10}$$

A granulometria é considerada muito uniforme quando  $C_{un} < 5$ , uniformidade média quando  $5 < C_{un} < 15$  e se  $C_{un} > 15$  é considerada desuniforme. Segundo Tristão e Roman (1995), os melhores resultados obtidos para argamassas, foram com areias classificadas como de uniformidade média ou desuniforme. De acordo com Carneiro *et. al.*, (1997), a trabalhabilidade da argamassa é comprometida ao se utilizar areia de granulometria muito uniforme, aumentando o consumo de pasta. Segundo Tristão (1995), alguns autores, tais como Sabbatini e Selmo têm alertado sobre a influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.

Também Cincotto, Marques, Helene, citados por Tristão (1995), concluem: o que mais contribui para as propriedades desejadas das argamassas são a distribuição granulométrica do agregado e a proporção adequada dos constituintes. Carneiro *et. al.*, (1997), considera óbvia a influência da distribuição granulométrica da areia na argamassa. Conjuntamente com o diâmetro máximo e a forma dos grãos ela influi no empacotamento, controlando desta forma o volume de vazios, que é preenchido pela pasta – cimento, cal, água e ar incorporado.

O empacotamento está relacionado com a proporção e o tamanho das partículas, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos pelas partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente (BARBOSA *et. al.*, 2008).

A norma NBR 9935:05 define composição granulométrica como sendo a distribuição percentual, em massa, de várias frações dimensionais de um agregado em relação à amostra total. É expressa pela porcentagem individual ou acumulada que passa ou fica retido nas peneiras da série normal ou intermediária.

No Quadro 1, estão apresentadas as peneiras da série normal e intermediária.

Série Normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 $\mu\text{m}$	-
300 $\mu\text{m}$	-
150 $\mu\text{m}$	-

**Quadro 1** - Conjunto de peneiras utilizadas

**Fonte:** ABNT – NBR 7211:09.

Ao se plotar os resultados obtidos em gráficos se obtém as curvas granulométricas.

Desta forma, é prática a visualização das características granulométricas da areia, sendo ainda possível a comparação com as curvas das zonas ótimas e utilizáveis referidas pela NBR – 7211:09, como também é possível comparar curvas de areias de britagem com as de areias naturais comumente utilizadas para confecção de argamassas.

Neville (1997) comenta:

O resultado de uma análise granulométrica pode ser interpretado muito mais facilmente quando representado graficamente e, por essa razão, são usadas as curvas granulométricas. Com uma curva é possível ver, num simples relance, se a granulometria de uma amostra se enquadra em uma especificação, ou se é muito grossa ou muito fina, ou deficiente em um determinado tamanho.

#### b) Massa unitária e massa específica

É também relevante citar que, segundo Carneiro *et. al.*, (1997), a massa unitária é importante parâmetro no estudo das características das areias e no desempenho das argamassas. A massa unitária é definida como sendo o quociente



da massa do agregado lançado em recipiente de acordo com NBR 7251:2008 e o seu volume.

Para os autores a massa unitária influi decisivamente em várias propriedades da argamassa, seja no estado fresco ou endurecido e sugerem que as publicações de resultados de estudos de argamassas incluam a massa unitária seca da areia empregada, visando permitir uma análise comparativa dos diferentes trabalhos, em âmbito nacional.

A NBR 9935:05 define a massa específica na condição seca como sendo a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, excluídos os vazios permeáveis.

Dos parâmetros citados anteriormente nenhum se refere especificamente as características externas das partículas dos agregados.

### c) Forma e textura das partículas

Segundo Neville (1997), é difícil representar a forma de corpos tridimensionais e, por isso, é mais conveniente definir certas características geométricas desses corpos.

O arredondamento, segundo o mesmo autor, representa a agudeza ou angulosidade das arestas ou cantos de uma partícula. O arredondamento depende muito da resistência à abrasão da rocha-mãe e das ações de desgaste a que a partícula foi submetida.

Uma classificação prática de arredondamento, às vezes utilizada nos Estados Unidos (NEVILLE, 1997) é a que se segue:

- Bem arredondado: nenhuma face permanece original;
- Arredondado: muito pouco das faces originais;
- Subarredondado: muito desgaste, faces originais com área reduzida;
- Subanguloso: pouco desgaste, faces originais inalteradas;
- Anguloso: pequena evidência de desgaste.

Mais abrangente é a classificação da BS 812: Parte 1: 1975, exposta no Quadro 2 também citada por Neville:

Classificação	Descrição	Exemplos
Arredondado	Completamente erodido pela água ou pelo atrito	Seixo de rio ou de praia; areia de rio ou deserto
Irregular	Naturalmente irregular ou parcialmente desgastado por atrito, com cantos arredondados	Outros seixos; opalas
Lamelar	Material em que a espessura é pequena em relação às outras dimensões	Rochas laminadas
Anguloso	Possuem arestas bem definidas formadas pela interseção de faces, relativamente planas	Pedras britadas em geral
Alongado	Geralmente anguloso, em que o comprimento é bem maior do que as outras dimensões	
Discóide	Comprimento muito maior do que a largura e largura muito maior que a espessura	

**Quadro 2** - Classificação da forma de partículas  
**Fonte:** Neville (1997).

Pode-se também entender a esfericidade, como sendo a relação entre o diâmetro do círculo com uma área igual à projeção da partícula e o diâmetro do menor círculo circunscrito à partícula, esta relação varia de 0 a 1 - respectivamente alongada ou esférica (ARAÚJO *et. al.*, 2003; *apud* SILVA *et. al.*, 2005).

Porém, esta definição considera apenas o aspecto bidimensional da partícula, podendo levar a conclusões errôneas. Silva *et. al.*, (2005) destaca que uma partícula achatada cuja projeção aproximar-se de um círculo será considerada esférica, visto que o resultado irá se aproximar de 1, quando na realidade ela é achatada.

Esta proposta de definir a esfericidade quantificando geometricamente as partículas é imprecisa, visto que não leva em conta a sua configuração tridimensional. Mais viável e precisa é a classificação da forma das partículas, através da análise comparativa com características geométricas previamente definidas.

A textura superficial é definida pelo grau com que a superfície do agregado é lisa ou áspera, e esta classificação baseia-se em uma análise visual (METHA; MONTEIRO, 2008). Segundo os autores, as areias e pedregulhos são lisas em seu estado natural, enquanto rochas britadas como granito, basalto e calcário apresentam textura áspera.

### 2.1.3 Agregados Miúdos de Britagem de Rochas

Os agregados miúdos provenientes da britagem de rochas já são amplamente utilizados nos países mais desenvolvidos há mais de 30 anos, destacando-se como uma das alternativas mais viáveis e promissoras para a substituição da areia extraída dos leitos dos rios.

O agregado miúdo é denominado de areia de britagem, quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha (NBR 9935:05).

Atualmente há uma forte tendência de utilização das areias de britagem e da sua produção em larga escala.

De acordo com Almeida (2005), as vantagens dessa substituição são inúmeras, e dentre elas destacam-se as seguintes:

- Redução do impacto ambiental decorrente da extração da areia do leito dos rios;
- As jazidas de origem basáltica são fartas em várias regiões do sul do Brasil (Planalto Serra Geral), ao contrário a areia de extração é um recurso natural que esta se tornando a cada dia mais escasso;
- Maior proximidade entre produção e utilização final dos agregados miúdos;
- Redução dos custos da construção civil;
- Obtenção de areia com características constantes;
- Baixo teor de umidade.

Porém existem diferenças importantes nas características destes agregados:

Na produção de areia de britagem há uma elevada proporção de partículas menores que 0,075 mm (tipicamente entre 10 e 25%) – Almeida (2004). Enquanto a especificação granulométrica da NBR 7211:05 (agregados para concretos) impõe um limite de no máximo 5%.

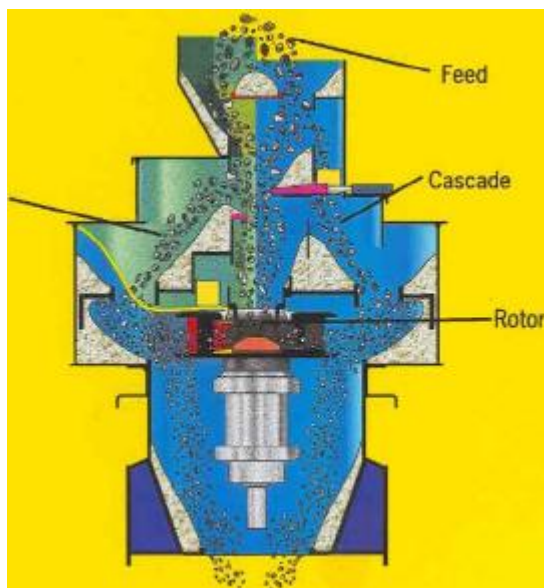
Contudo, estudos realizados na University of Texas (EUA), têm demonstrado a viabilidade de se produzir argamassas e concretos de alta resistência com a utilização de areia de britagem, sem que seja necessária a remoção de finos (AHN, 2000). Isso é possível devido à capacidade dos finos preencherem os vazios deixados entre as partículas grossas da areia, o que confere ao produto maior resistência mecânica, sem a necessidade do aumento significativo do consumo de água (ALMEIDA *et. al.*, 2005).

Segundo Silva e Campitelli (2005) as partículas da areia de britagem em comparação com a areia natural são mais angulosas, portanto menos esféricas, influenciando negativamente na trabalhabilidade da argamassa, sendo esta uma das dificuldades na sua utilização.

Sendo assim, torna-se necessário a adequação deste produto para que possa ser utilizado na confecção de argamassas.

Para fazer frente a esta configuração indesejável das partículas das areias de britagem, atualmente os britadores de impacto de eixo vertical (Vertical Shaft Impactor – V. S. I.), conferem ao agregado uma forma mais arredondada adequando o mesmo para o uso em argamassas (ALMEIDA; BISPO, 2003).

Essa característica é conferida ao produto final devido ao impacto entre as partículas arremessadas umas contra as outras (Figura 1).



**Figura 1-** Esquema de funcionamento do V.S.I.  
**Fonte:** Manual Técnico do Britador V.S.I. (2009).

É possível, alterando a posição das haletas e o produto de alimentação do britador, aperfeiçoar a granulometria e a forma das partículas (ALMEIDA *et. al.*, 2005).

Já os aumentos da abertura do cascadeador e da taxa de alimentação levam a um aumento na produção de finos.

Ainda segundo o mesmo autor o melhor resultado foi obtido com as haletas na posição de 30°.

De acordo com Metha e Monteiro (2008) a escolha do equipamento de britagem pode determinar a forma das partículas.

A seleção adequada do processo de britagem/peneiramento pode determinar o sucesso da geração de um produto que atenda as especificações necessárias. Com efeito, muito embora algumas das características da areia de britagem estejam relacionadas à composição da rocha mãe, tais como: dureza, absorção de água, presença de contaminantes; outras podem ser controladas durante o processo de produção: distribuição granulométrica, forma e o módulo de elasticidade (ALMEIDA *et. al.*, 2005).

Segundo Bern (1997) o melhor formato das partículas é obtido com ajuda de britadores de impacto e cones.

De acordo com Faganello (2006), o formato das partículas é determinado pelo material que a constitui, pelas máquinas que a particularizam e pelo fluxograma de produção utilizado pela empresa, ou seja, a seqüência de britamento e peneiramento.

De acordo com Metha e Monteiro (2008) a procedência das rochas ígneas podem também conferir características diferentes nos produtos produzidos. As rochas ígneas se formam pelo resfriamento do magma (material rochoso fundido) acima, abaixo ou próximo da superfície terrestre.

O magma em grandes profundidades se resfria lentamente, já as rochas formadas mais perto da superfície da terra têm um resfriamento mais rápido. O grau de cristalinidade e a granulação das rochas ígneas variam conforme a taxa de resfriamento do magma.

Segundo os mesmos autores rochas com a mesma composição química, mas com diferentes granulações podem diferir no comportamento sob as mesmas condições de exposição.

Desta forma, as rochas encontradas em diferentes regiões, possuem características particulares, que influenciarão decisivamente no processo de produção que deverá ser adotado para a obtenção de um produto que atenda a finalidade desejada.

#### 2.1.4 Influência dos Agregados nas Propriedades das Argamassas

De acordo com Margon (2002), a influência da distribuição granulométrica do agregado pode ser observada a partir das propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido. Sendo a argamassa composta por aglomerantes e agregados, suas propriedades decorrem de uma interação desses constituintes, podendo ser diferenciadas conforme a distribuição granulométrica do agregado.

A contribuição dos aglomerantes advém do seu contato com a água e aditivos (quando utilizados), as propriedades que são influenciadas pelas características desta pasta evoluem no decorrer do tempo através de reações químicas.

A atuação dos agregados é de natureza física, contribuindo de forma ativa para o desempenho das argamassas nos estados fresco e endurecido, quando são misturados à pasta aglomerante por processo manual ou mecânico.

Segundo Tristão (1995), diferentes composições granulométricas da areia influenciam as propriedades das argamassas e através do seu trabalho procurou quantificar a influência deste parâmetro em algumas propriedades das argamassas, o resultado foi apresentado no Quadro 3.

Propriedades da argamassa	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de elasticidade	Quanto mais descontínua for a areia	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Pior	Melhor
Resilência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Aumenta	Aumenta	Variável
Aderência	Variável	Pior	Variável
Resistência Mecânica	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

**Quadro 3** - Influência da areia nas argamassas

**Fonte:** Tristão (1995).

De acordo com Paes *et. al.*, (1999), os materiais finos, sejam eles provenientes dos aglomerantes, dos argilosminerais ou de outros materiais inertes têm em função de sua alta área específica, papel de plastificante das argamassas. A medida que se aumentam os finos inertes nas argamassas ganha-se em trabalhabilidade e perde-se pelo aumento da pulverulência e da fissuração dos revestimentos.

Os resultados dos estudos realizados pelos autores citados indicaram que o aumento do teor de pó calcário e, conseqüentemente, o teor de finos adicionados à mistura não leva necessariamente ao aumento da água de amassamento para obter a trabalhabilidade desejada.

O efeito plastificante proporcionado pelo aumento do teor de finos, compensa a necessidade de mais água para umedecer o acréscimo da área específica das partículas do agregado.

No entanto, no que se refere a finos de natureza argilosa, o teor destes materiais resulta no aumento da água necessária para a obtenção da trabalhabilidade adequada.

De acordo com Winnefield e Bottger (2006), o principal efeito da presença da argila no agregado é o aumento da demanda de água para um índice de consistência constante. Como conseqüência, ocorre uma forte diminuição da qualidade da argamassa no que diz respeito às propriedades mecânicas e de durabilidade. Através de estudos realizados em laboratório, concluíram também que os minerais contidos na argila têm o potencial de agir de forma expansiva. No

entanto, um teor de argila inferior a 3% é considerado não nocivo para o desempenho da argamassa.

Silva (2005), ao realizar estudos para determinar a influência dos finos e da forma das partículas em argamassas, verificou que a areia natural com partículas subarredondadas e mais esféricas, produziu argamassas com menor exigência de água, menor retenção de água, maior retenção de consistência, menor teor de ar aprisionado, menor absorção de água por capilaridade, menor densidade de massa aparente e menores resistências à compressão e tração na flexão que argamassas com areia britada que apresentam partículas angulosas e menos esféricas, na proporção 1 : 1 : 6 em volume.

As argamassas produzidas com areia britada de rocha calcária com 6,0% de finos apresentaram menor teor de ar aprisionado, menor densidade de massa aparente, melhorando o empacotamento da mistura agregado/aglomerante, maiores resistências à compressão e tração na flexão que argamassas de areia britada com 0,7% de finos, na proporção 1 : 1 : 6 em volume.

Concluiu que um teor de finos de 6,0% na areia britada melhora o desempenho da argamassa em algumas propriedades. Entretanto, ponderou haver necessidade de outros estudos que possibilitem determinar a dosagem ideal de finos para um bom desempenho das argamassas de revestimento.

Ao conhecer a influência dos agregados miúdos nas propriedades das argamassas é possível racionalizar a sua utilização e o seu consumo, bem como dos outros materiais que constituem as argamassas de revestimento. A obtenção de um bom desempenho irá minimizar as patologias encontradas com frequência nos acabamentos de edifícios. Entretanto uma contribuição essencial é de possibilitar a substituição total ou parcial das areias naturais de extração por areias de britagem, reduzindo o impacto ambiental causado por sua exploração.

#### 2.1.5 Areias Utilizadas em Trabalhos Nacionais, Internacionais e Normas Técnicas

Neste item é apresentada uma revisão das composições e curvas granulométricas das areias de extração e britagem utilizadas em alguns trabalhos



acadêmicos nacionais, internacionais e normas ABNT 7211:09, BS 4551:80, ASTM: C 144-04 e I.S. 2116-98.

#### 2.1.5.1 Trabalhos acadêmicos

No Quadro 4, são listadas as nomenclaturas que caracterizam a areias mencionadas e os trabalhos acadêmicos em que foram utilizadas:

NOMENCLATURA DAS AREIAS	REFERÊNCIAS TÉCNICAS
Areia fina - 1a	PANDOLFO (2005)
Areia média - 2	CALHAU (1999)
Areia natural - 3a	PAES (1999)
Areia do rio típica - 4a	SAMPAIO (2009)
Areia industrial grossa - 1b	PANDOLFO (2005)
Areia 50% A.I. + 50% A.N. média - 1c	PANDOLFO (2005)
Areia de britagem 1 - basalto - 5a	TRISTÃO (2005)
Areia de britagem 2 - basalto - 5b	TRISTÃO (2005)
Pó calcário - 3b	PAES (1999)
Areia fina de britagem de rocha gnaisse - 4b	SAMPAIO (2009)
Areias preparadas com frações da areia IPT - 6 (Tipos, 1, 2, 3, 4 e 5)	BONIN (1999)

**Quadro 4** – Nomenclatura das areias mencionadas

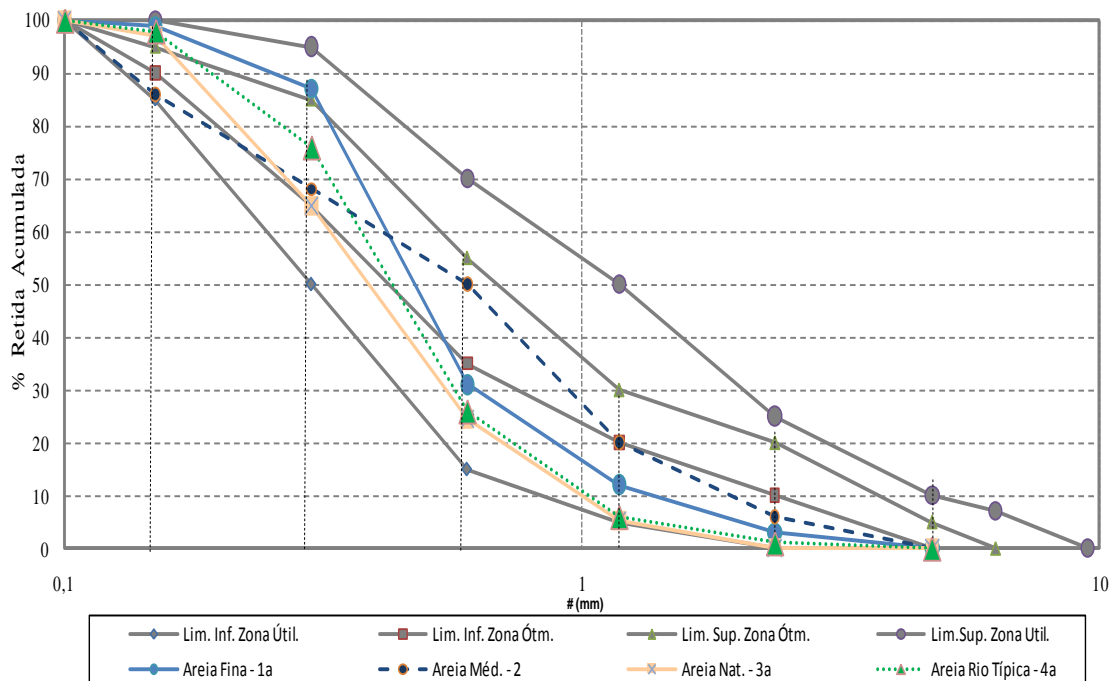
Destaca-se que a nomenclatura usada segue a mesma contextualização empregada pelos autores, para designar as areias utilizadas em seus trabalhos.

As areias de extração, que fazem parte destes trabalhos, têm suas composições e curvas granulométricas apresentadas na Tabela 1 e Figura 2 a seguir:

**Tabela 1** – Composições Granulométricas de Areias de Extração

# (mm)	% RETIDA ACUMULADA			
	(1a)	(2)	(3a)	(4a)
4,8	0	0	0	0
2,4	3	6	0,1	1
1,2	12	20	5,16	6
0,6	31	50	24,4	26
0,3	87	68	64,9	76
0,15	99	86	97,2	98
FUNDO	100	100	100	100
D.M.	(2,4)	(4,8)	2,4	(2,4)
M.F.	(2,32)	2,3	1,91	(2,07)

Fonte: Adaptado pelo autor (2009).

**Figura 2** – Curvas Granulométricas de Areias de Extração

As areias de extração mencionadas nos trabalhos que constam na Tabela 1 e que têm as suas curvas granulométricas exibidas na Figura 2, possuem como característica comum uma declividade maior no trecho compreendido entre as peneiras de malhas 0,6 e 0,3 mm, embora a Areia Natural – 3a continue com quase a mesma inclinação no segmento seguinte, entre as peneiras de malhas 0,3 e 0,15

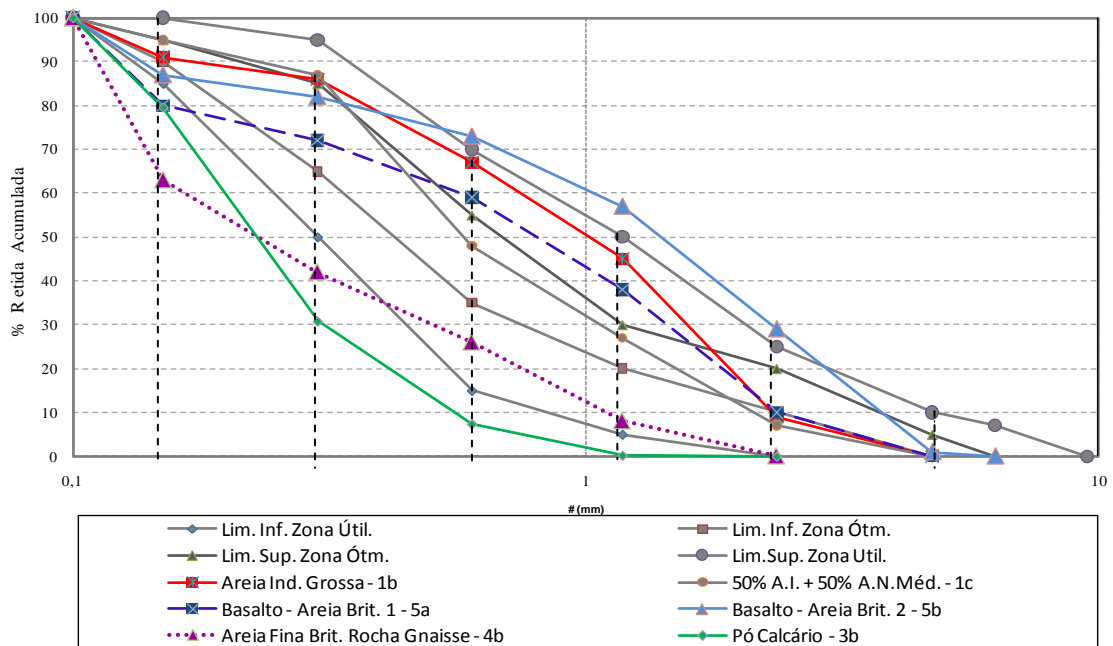
mm. A curva granulométrica da Areia Média – 2 é uma exceção, visto que sua maior declividade encontra-se entre as peneiras de malhas 1,2 e 0,6 mm.

Ressalte-se que esta maior declividade, tem o significado de que ocorre uma concentração mais elevada em massa, das partículas retidas na peneira de malha com dimensão inferior.

Na Tabela 2 e Figura 3, apresentam-se algumas composições e curvas granulométricas de areias de britagem e de areia composta (produzida com parcelas de areia de britagem e areia de extração). Estas também foram utilizadas nos estudos que constam no Quadro 4.

**Tabela 2 – Composições Granulométricas de Areias de Britagem e Compostas**

# (mm)	AREIAS DE BRITAGEM E COMPOSTAS - % RETIDA ACUMULADA					
	(1b)	(1c)	(5a)	(5b)	(3b)	(4b)
4,8	0	0	0	1	0	0
2,4	9	7	10	29	0	0
1,2	45	27	38	57	0,2	8
0,6	67	48	59	73	7,4	26
0,3	86	87	72	82	30,8	42
0,15	91	95	80	87	79,6	63
FUNDO	100	100	100	100	100	100
D.M.	(4,8)	(4,8)	4,8	4,8	1,2	(2,4)
M.F.	(2,98)	(2,64)	2,59	3,29	1,18	(1,39)



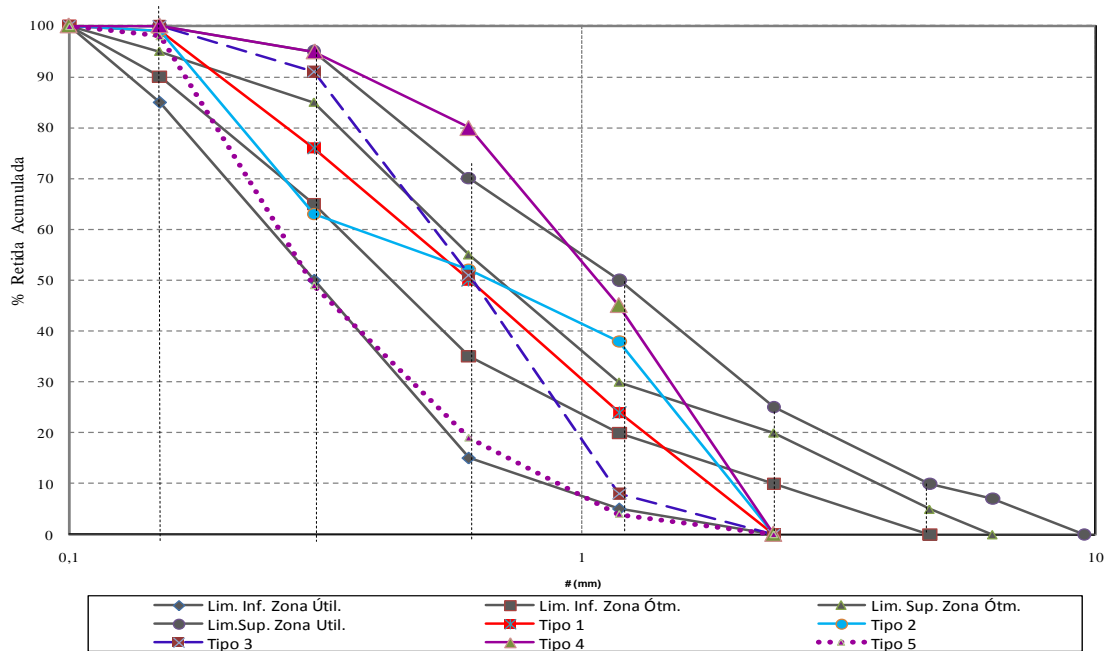
**Figura 3 – Curvas Granulométricas de Areias de Britagem e Compostas**

As curvas das areias de britagem de rochas basálticas 1 – 5a e 2 – 5b, têm a mesma conformação, sendo que em ambas, as maiores inclinações ocorrem nos trechos compreendidos entre as peneiras de malhas 2,4 - 1,2 mm e 1,2 – 0,6 mm, a partir da peneira 0,6 mm há uma tendência a perda de declividade, embora no segmento 0,15 mm – fundo ocorra novamente uma maior inclinação.

Na Tabela 3 e Figura 4, são apresentadas areias preparadas com frações da areia do IPT:

**Tabela 3 – Composições Granulométricas das Areias Preparadas (Frações da areia IPT)**

# (mm)	AREIAS PREPARADAS (FRAÇÕES DE AREIA IPT)				
	% RETIDA ACUMULADA				
	1 (6)	2 (6)	3 (6)	4 (6)	5 (6)
4,8	0	0	0	0	0
2,4	0	0	0	0	0
1,2	24	38	8	45	4
0,6	50	52	51	80	19
0,3	76	63	91	95	49
0,15	99	99	100	100	98
FUNDO	100	100	-----	-----	100
D.M.	2,4	2,4	2,4	2,4	1,2
M.F.	2,49	2,52	2,50	3,20	1,70



**Figura 4** – Curvas Granulométricas de Areias Preparadas – Frações da Areia IPT

As areias preparadas com a areia do IPT são mais contínuas e apresentam uma configuração mais linear, se comparadas as areias apresentadas na Tabela 1 - Figura 2 e Tabela 2 – Figura 3, com exceção da areia tipo 3 que apresenta uma ligeira descontinuidade nas peneiras 0,6 e 0,3; sendo esta a que mais se assemelha de uma areia natural de extração.

Na Tabela 4 e Figura 5, são expostos agregados utilizadas no trabalho de (LANAS; ALVAREZ, 2002).

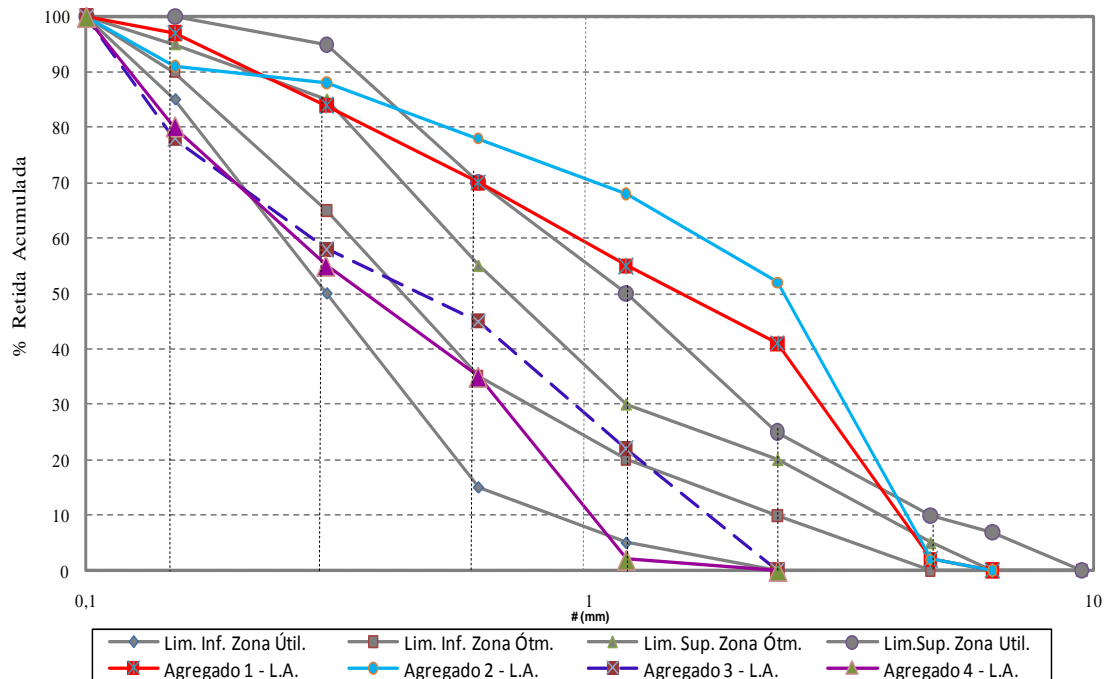
**Tabela 4** – Composição granulométrica de areias

PENEIRA # (mm)	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA			
	AGREGADO 1	AGREGADO 2	AGREGADO 3	AGREGADO 4
4,8	2	2	0	0
2,4	41	52	0	0
1,2	55	68	22	2
0,6	70	78	45	35
0,3	84	88	58	55
0,15	97	91	78	80
Fundo	100	100	100	100

**Fonte:** Adaptado de Lanás e Alvarez (2002).

De acordo com os autores, estes agregados apresentados na Tabela 4, são comerciais com granulometria controlada.

Os agregados 1 e 2, são de origem quartzosa. O agregado 1 é composto de seixos com formas arredondadas e o agregado 2 de pedras britadas com bordas angulares. Os agregados 3 e 4 são calcíticos, eles vêm do calcário puro e possuem diferentes distribuições dos tamanhos de grãos.



**Figura 5** – Agregados utilizados por Lanas e Alvarez

Ao analisar a Figura 5, observa-se que os agregados 1 e 2, têm curvas que se assemelham com as areias de britagem utilizadas em trabalhos nacionais (ver Figura 3) porém com uma descontinuidade na peneira de malha 2,4 mm, esta descontinuidade é decorrente de um acréscimo acentuado na quantidade de grãos retidos.

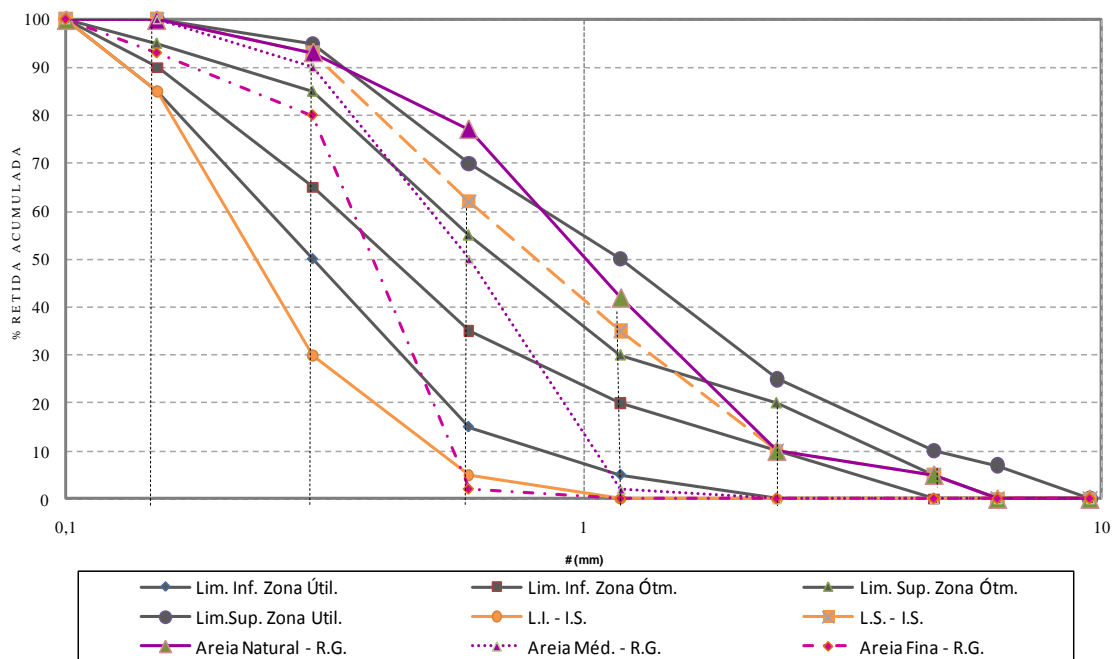
Verifica-se para alguns pontos das curvas destes agregados, uma não conformidade com a zona utilizável superior, da norma brasileira NBR 7211:09 (para concretos), nas dimensões de 2,4 e 1,2 mm no agregado 1 e nas dimensões de 2,4 – 1,2 e 0,6 mm no agregado 2.

Os agregados 3 e 4 têm curvas que se assemelham com as areias de extração utilizadas em trabalhos nacionais (ver Figura 2), porém sem a descontinuidade geralmente encontrada na peneira de malha 0,3 mm. Ocorre apenas um aumento discreto na quantidade de grãos retidos na peneira de malha 0,6 mm.

O agregado 3 tem uma curva que coincide com o limite inferior da zona utilizável nas dimensões de 4,8 e 2,4 mm, após permanece na zona ótima nas dimensões de 1,2 e 0,6 mm e na malha 0,3 mm retorna a zona utilizável inferior. A curva granulométrica do agregado 4, praticamente coincide com o limite inferior da zona utilizável para as dimensões de 4,8 – 2,4 e 1,2 mm, permanece na zona utilizável inferior nas malhas 0,6 e 0,3 mm. Na malha 0,15 mm, os agregados 3 e 4, têm % r. a. (porcentagem retida acumulada) quase iguais e logo abaixo da zona utilizável.

De um modo geral, o que diferencia os agregados 3 e 4, são as porcentagens retidas acumuladas de partículas nas dimensões 1,2 e 0,6 mm.

Na Figura 6, são expostos agregados utilizadas no trabalho de (REDDY; GUPTA, 2007) e limites das Normas ABNT NBR-7211:09 e I.S. 2116:80.



**Figura 6** – Areias utilizadas no trabalho de Reddy e Gupta, 2007, limites das normas ABNT e I.S.

A areia natural de rio utilizada no trabalho indiano apresenta uma elevada descontinuidade que se inicia na peneira de malha 2,4 mm e se prolonga até a malha 0,3 mm. As areias média e fina, que os autores denominam de areias reconstituídas, não contem as partículas de dimensões maiores, porém a descontinuidade é ainda mais elevada entre as dimensões 0,6 e 0,3 mm para a areia fina e 1,2 – 0,6 e 0,3 mm para a areia média.

2.1.5.2 Normas técnicas: ABNT NBR 7211:09 (p/ concretos), ASTM C-144:04, BS 4551:80 e I.S. 2116:98.

Neste item será apresentada uma revisão das composições granulométricas que fazem parte de normas técnicas referentes a alguns países.

Na Tabela 5, são expostas as composições granulométricas especificadas pelas normas técnicas citadas.

**Tabela 5** – Composições granulométricas, especificadas pelas normas NBR 7211:09, ASTM C-144:04, B.S. 4551:80 e I.S. 2116:98.

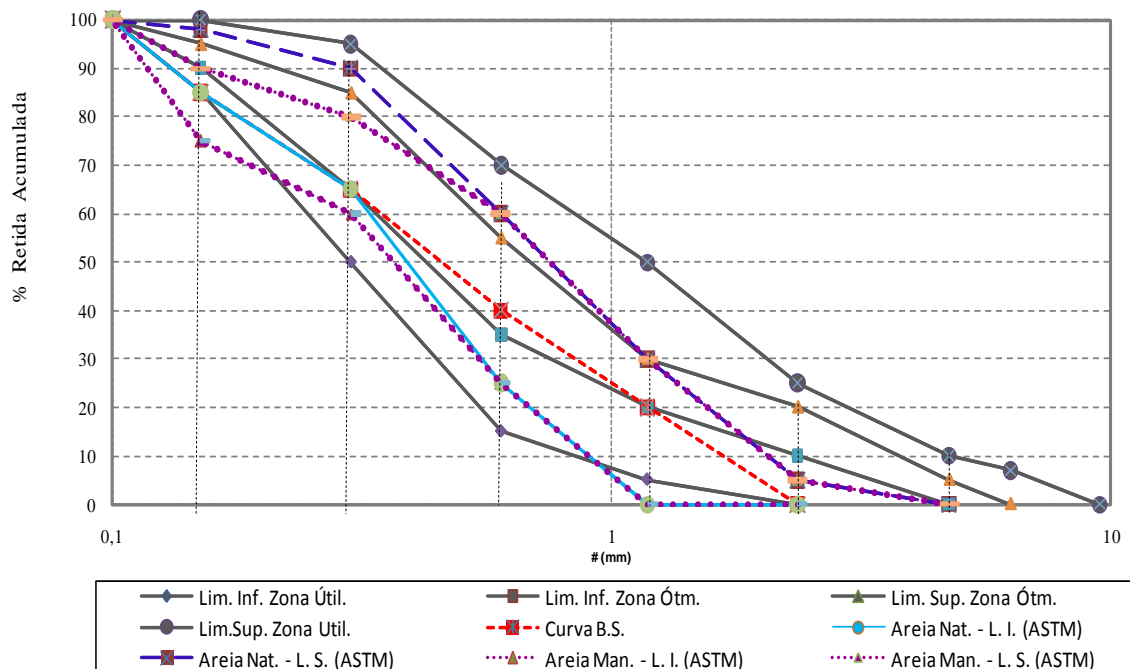
PENEIRAS	NORMAS TÉCNICAS										
	ABNT - NBR 7211:09 (p/ concretos)				ASTM C-144:04				B.S. 4551:80	I.S. 2116:98	
Malha	Lim. Inf. Zona Util.	Lim. Inf. Zona Ótima	Lim. Sup. Zona Ótima	Lim. Sup. Zona Util.	Areia Natural L. I.	Areia Natural L. S.	Areia Manuf. L. I.	Areia Manuf. L. S.	Standard Sands	L.I.	L.S.
# mm	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.	% r. a.
6,3	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
4,75	0	0	5	10	0	0	0	0	0	0	5
2,36	0	10	20	25	0	5	0	5	0	0	10
1,18	5	20	30	50	0	30	0	30	20	0	35
0,6	15	35	55	70	25	60	25	60	40	5	62
0,3	50	65	85	95	65	90	60	80	65	30	93
0,15	85	90	95	100	85	98	75	90	85	85	100
0,075	x	x	x	x	x	x	90	100	x	100	x
Fundo	100	100	100	100	100	100	100	x	100	x	x

**Fonte:** Adaptado pelo autor (2009).

Obs: % r. a., é abreviatura de porcentagem retida acumulada.

Na Figura 7 são apresentadas as curvas granulométricas referentes as composições especificadas pelas normas ABNT, ASTM e B.S.





**Figura 7** – Curvas granulométricas de areias – Normas Técnicas: ABNT, ASTM e B.S.

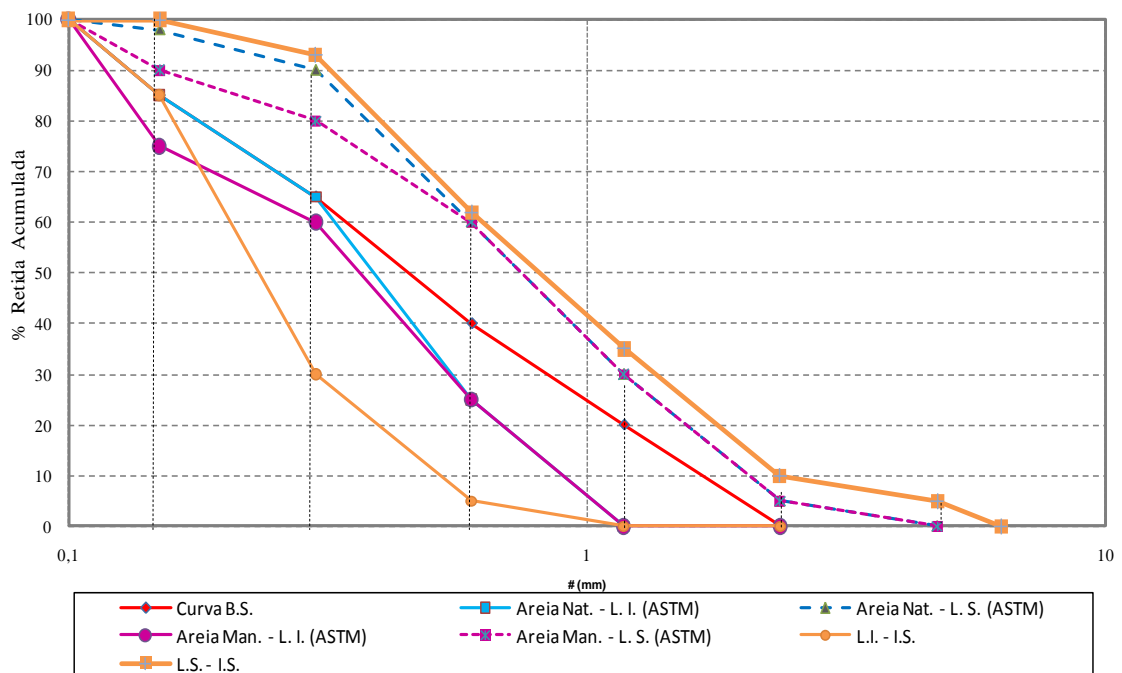
Ao observar a Figura 7, verifica-se que a curva da areia padrão da norma B.S. 4551:80 coincide com a curva da Areia Nat. – Limite Inferior da norma ASTM C-144:04 nas peneiras de malhas: 4,8 e 2,4 (nulas), 0,3 e 0,15 mm (mesmo valor), entretanto ocorrem diferenças nas peneiras de malhas: 1,2 e 0,6 mm; porém nestas duas últimas aberturas de malhas, a curva da areia padrão da B.S. está inserida dentro dos limites inferior e superior das Areias Naturais e Manufaturadas da norma ASTM. Observa-se também que a curva da B.S. apresenta uma continuidade acentuada.

A norma NBR 7211:09 apresenta um limite superior utilizável muito acima das outras normas citadas, visto que se destina exclusivamente ao preparo de concretos.

Embora os limites da zona ótima da norma NBR 7211:09 estejam em parte entre os limites da Areia Natural da ASTM, como exceção para o limite superior nas peneiras de malha 4,8 e 2,4 mm e o limite inferior na malha 2,4 mm, é possível observar que o limite inferior da zona ótima é muito restritivo quando se diz respeito a areias utilizadas em argamassas.

Portanto, verifica-se a necessidade, de uma norma destinada exclusivamente a especificar os requisitos dos agregados miúdos utilizados no preparo de argamassas.

Na Figura 8 são apresentadas as curvas granulométricas referentes as composições de areia para utilização em argamassas, especificadas pelas normas B.S., ASTM e I.S.



**Figura 8** - Curvas granulométricas de areias – Normas Técnicas: B.S, ASTM e I.S.

Ao analisar as curvas expostas na Figura 8, pode-se observar que o limite superior da Norma Indiana I.S. acompanha de forma aproximada o limite superior das areias naturais da norma ASTM.

Os limites inferiores das Normas I.S. e ASTM têm valores nulos nas peneiras de malhas de dimensões maiores. Porém nas peneiras de malhas 0,6 e 0,3 mm ocorre um distanciamento considerável. Na peneira 0,15 mm o limite inferior da I.S. coincide com o limite inferior para as areias naturais da ASTM.

Pode-se dizer que a areia padrão na norma britânica B.S. está entre os limites das normas ASTM e I.S., ou coincide com os seus limites inferiores.

## 2.2 CIMENTO

Na produção de argamassas mistas é utilizado como um dos aglomerantes o cimento Portland.

Os cimentos Portland são cimentos hidráulicos, ou seja, tem a característica de endurecer em contato com a água, reagindo quimicamente com esse elemento.

### 2.2.1 Matérias Primas e Adições Mineraias Utilizadas no Cimento Portland

O processo de obtenção do cimento proposto por Aspdin, que registrou a patente do Cimento Portland em 1824, é basicamente o mesmo utilizado até hoje e consiste na mistura e queima de materiais calcários e argilosos que em seguida são moídos até se tornar um pó bem fino.

Segundo a ABCP (2002), estas matérias primas, ou seja, o calcário e a argila são extraídos em jazidas próximas as fábricas de cimento. O calcário moído é misturado à argila em proporções adequadas e esta mistura após atravessar um forno giratório com temperatura de até 1450 °C é transformada em clínquer. Na saída do forno o clínquer após ser resfriado bruscamente é moído e transforma-se em pó bem fino.

Na moagem do clínquer é adicionado gipsita em uma quantidade pequena, cerca de 3% em massa. O gesso é uma adição presente em todos os tipos de cimento e tem como função básica controlar o tempo de pega.

Na atualidade algumas substâncias são também adicionadas ao cimento Portland, com a finalidade de melhorar sua qualidade e reduzir custos. As escórias de alto-forno ou os materiais pozolânicos se destacam por proporcionar ao cimento propriedades vantajosas ao seu desempenho e o seu emprego é consagrado em todo o mundo (ISAIA, 2005).

As adições de materiais não reativos finamente moídos, como é o caso do filler calcário também contribuem ao corrigir a curva granulométrica do

cimento, porém se limitam a aumentar a trabalhabilidade e a retenção de água (ISAIA, 2007).

Segundo o mesmo autor, para os casos citados é semelhante o resultado: a adição interage química e fisicamente com os produtos da hidratação do clínquer ou do cimento Portland, modificando a microestrutura da pasta.

Segundo a ABCP (2002), a escória de alto-forno, que é um material obtido durante a produção de ferro-gusa tem características de ligante hidráulico muito resistente, e adicionado a moagem do clínquer com gesso produz um tipo de cimento que apresenta melhoria de algumas propriedades, tais como durabilidade e maior resistência final.

Da mesma forma que no caso das escórias de alto-forno, as pesquisas indicaram que os materiais pozolânicos também apresentam a propriedade de ligante hidráulico, embora seja necessário para que ocorram as reações químicas que os tornam pastosos e posteriormente endurecidos, que estejam na presença de outra substância além da água. O clínquer é uma dessas substâncias, pois durante o processo de hidratação libera cal que reage com a pozolana. O tipo de cimento obtido com a adição de materiais pozolânicos, confere maior impermeabilidade às argamassas e ao concreto.

As escórias de alto-forno e as pozolanas têm uma velocidade de hidratação menor que a do clínquer e em razão disso, os cimentos obtidos com a adição desses materiais podem apresentar uma resistência inicial inferior, muito embora em outras idades superem os valores mínimos exigidos pelas normas técnicas.

Outra consequência que pode ser vantajosa em alguns casos é a diminuição do calor de hidratação que decorre de uma velocidade de hidratação reduzida.

### 2.2.2 Tipos de Cimento Utilizados No Preparo de Argamassas

A hidratação do cimento sofre influência das características físicas do material, assim como de sua composição química, de modo que existem no

mercado, diversos tipos de cimento Portland, com características específicas para cada aplicação (KLEIN, 2008).

De acordo com (ISAIA, 2005) os tipos de cimento mais indicados para a confecção de argamassas são:

Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático – filler – NBR 11578:91). Além de servir para aplicações gerais, o Cimento Portland Composto CP II-F pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento e revestimento.

Cimento Portland de Alto Forno CP III (Com escória – NBR 5735:91). O Cimento Portland de Alto Forno CP III apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. Pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento e revestimento dentre outras.

Cimento Portland Pozolânico CP IV (Com pozolana – NBR 5736:91) Para obras correntes, sob a forma de argamassa e de concretos, especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e a ambientes agressivos.

De modo geral, na produção de argamassas podem-se utilizar vários tipos de cimento, no entanto, na região de Londrina habitualmente utiliza-se o cimento Portland CP-II F e o CP-II Z.

## 2.3 A CAL

A cal é tradicionalmente utilizada como um dos constituintes das argamassas e influi de forma significativa para o seu desempenho e durabilidade.

### 2.3.1 A Cal nas Argamassas

De acordo com Guimarães (2002), no princípio do século XX, logo após o advento do cimento, as propriedades deste novo material, prioritariamente a

pega rápida e a alta resistência provocaram uma exaltação e predileção exagerada pelo produto.

Contudo em decorrência de estudos realizados na década de 30, evidenciou-se que a resistência e a pega não eram as únicas propriedades desejáveis para o perfeito desempenho das argamassas, e até mesmo esclareceu-se que para as argamassas cumprirem seu papel não são necessários altos valores de resistência.

Com efeito, a resistência à compressão que é um predicado essencial para os concretos, tem apenas um valor secundário para avaliar a qualidade das argamassas, na maioria dos casos.

Ainda, de acordo com o mesmo autor a argamassa deve possuir várias propriedades e não é prudente analisar o seu comportamento sob um enfoque isolado, citando como exemplo a plasticidade e a resistência a compressão.

Mesmo a aderência não deve ser considerada de forma isolada para avaliar a durabilidade de um revestimento de argamassa. Para John (2008), a longevidade dos revestimentos não é determinada apenas pela aderência inicial ao substrato, mas sobretudo pela velocidade com que ele perde a aderência, sendo esta velocidade da perda de aderência uma função do módulo de elasticidade.

Segundo o mesmo autor os ciclos de molhagem e secagem, bem como os ciclos de expansão no verão e contração no inverno, provocados pelas variações climáticas induzem a uma movimentação do revestimento em relação ao substrato. Surge em razão disso uma tensão de interface entre a camada de revestimento e a base, causando no decorrer dos anos a perda de aderência.

Em consequência da perda gradativa de aderência, ocorrem microfissuras que separam a argamassa de revestimento do substrato. Desta forma conclui-se que é necessário ter um módulo de elasticidade baixo para reduzir estas tensões de interface.

As argamassas mistas de cimento e cal têm um módulo de elasticidade mais baixo e absorvem as deformações que decorrem das variações climáticas e das acomodações das estruturas, possuindo portanto maior resistência ao surgimento de fissuras que comprometem a longevidade das alvenarias e revestimentos.

### 2.3.2 Conseqüências Favoráveis do Uso da Cal

A adição de cal nas argamassas induz ao surgimento de outras conseqüências favoráveis, dentre as quais se destacam (GUIMARÃES, 2002):

- Melhor trabalhabilidade;
- Maior retenção de água;
- Reconstituição autógena das fissuras;
- Resistência à compressão e tração adequadas;
- Maior resistência a penetração de água.

Também segundo Cincotto, Marques e Helene (1985), a cal confere à argamassa, no estado fresco, maior plasticidade exercendo influencia direta e de forma positiva na trabalhabilidade e produtividade. Possibilita ainda a retenção de água, impedindo a sucção excessiva de água pelo substrato.

A primeira propriedade é justificada por serem as partículas da cal muito finas e em contato com a água agem como lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia. A retenção de água é proporcionada a argamassa pela capacidade que a cal tem de reter água entorno de suas partículas e acrescente-se a isso que ao reagirem com o  $\text{CO}_2$  liberam a água retida, contribuindo com a cura do cimento (CARNEIRO *et. al.*, 2003).

De acordo com Cincotto, Marques e Helene (1985), a principal característica proporcionada pela cal à argamassa no estado endurecido é a capacidade de absorver deformações por possuir um módulo de deformação baixo. Também diminui a retração e sendo lento o seu processo de carbonatação possibilita a reconstituição de fissuras ocorridas no processo de endurecimento.

Para os autores citados Cincotto, Marques e Helene (1985) e Carneiro *et. al.*, (2003), tradicionalmente a cal é utilizada como um dos constituintes das argamassas, muito embora hoje em dia esteja muito difundido o uso de aditivos químicos. Porém os efeitos favoráveis da cal no desempenho das argamassas tanto

no estado fresco como endurecido são amplamente conhecidos e confirmados pela experiência.

Segundo Lanas e Alvarez (2002), muitas são as vantagens observadas nas argamassas produzidas com cal: são mais deformáveis e são capazes de acomodar o movimento em estruturas de alvenaria.

Pelas razões elencadas, o presente trabalho será focado em argamassas mistas, compostas de cimento Portland, cal hidratada, agregado miúdo e água.

#### 2.4 AS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO, SUAS FUNÇÕES E PROPRIEDADES

De acordo com Martinelli e Helene (1991), em razão da diversidade das funções das argamassas se torna necessário diferenciar o enfoque do seu estudo, muito embora exista uma tendência em tratá-las como se as exigências fossem as mesmas do concreto.

Segundo Sabbatini (1984), as funções exigidas dos revestimentos são:

- Proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por conseqüência, evitar a degradação precoce das mesmas, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;
- Auxiliar as vedações a cumprir com as suas funções, tais como: isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo;
- Funções estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

De acordo com Cincotto, Silva e Carasek (1995):



Para efeito de estabelecimento das propriedades da argamassa que confirmam ao conjunto revestimento + base, o desempenho adequado, é preciso distinguir três etapas que influenciam as características da argamassa: o seu preparo e o período em que se encontra no estado fresco, o período após a aplicação sobre a base, em que a argamassa encontra-se em endurecimento, e o período de uso da edificação em que o revestimento sofre os efeitos provenientes da ação dos usuários e das condições de exposição.

Roberto de Souza citado por Martinelli (1991) torna claro o sentido do termo desempenho ao afirmar que o bom desempenho decorre da avaliação favorável de uma série de exigências dos usuários, essa avaliação se dá via requisitos, que são condições qualitativas que devem ser alcançadas e mantidas dentro de critérios, ou seja, condições quantitativas ao longo do tempo.

#### 2.4.1 Propriedades no Estado Fresco

##### 2.4.1.1 Propriedades que abrangem o comportamento reológico das argamassas: trabalhabilidade, consistência e plasticidade

Segundo Cincotto e Carneiro (1999) quando se estudam as propriedades das argamassas no estado fresco, remete-se ao estudo da reologia da argamassa, empiricamente conhecida como trabalhabilidade. O comportamento reológico da argamassa, que pode ser considerada como uma dispersão de agregados em uma matriz de partículas finas (preferencialmente pasta de aglomerantes) está intimamente ligado ao agregado (dimensão, forma e distribuição granulométrica), à pasta (características químicas, físicas, quantidades de materiais constituintes e teor de água) e a interação pasta – agregado.

A trabalhabilidade em termos práticos significa facilidade de manuseio, por parte do operário, que prepara a argamassa e a aplica. Desta forma a trabalhabilidade não se constitui em uma propriedade, pois depende do julgamento subjetivo do operário (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

De acordo com Carneiro *et. al.*, (2003), apesar do consenso no meio técnico sobre a importância desta propriedade, ainda é difícil a sua quantificação, devido a complexidade apresentada pela influência conjunta de diversas variáveis, tais como a relação água/aglomerante, a relação aglomerante/agregado miúdo, forma dos grãos e distribuição granulométrica do agregado e teor de ar incorporado, além da natureza e qualidade dos aglomerantes.

De acordo com Sabbatini (1986), a argamassa é trabalhável, quando ela distribui-se facilmente ao ser assentada, não gruda na ferramenta quando esta sendo aplicada, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absorptivas e permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada.

Segundo Carneiro *et. al.*, (2002), é erro comum adotar os termos trabalhabilidade, plasticidade e consistência como sinônimos. E observa que a consistência e a plasticidade servem para caracterizar a trabalhabilidade de uma argamassa.

Ainda o mesmo autor esclarece que a consistência é um indicador da trabalhabilidade, servindo na prática como parâmetro para determinar a quantidade de água necessária à mistura, a fim de que a argamassa alcance a trabalhabilidade desejável.

Consistência é a propriedade apresentada pela argamassa no estado fresco de resistir à deformação (CINCOTTO; SILVA, CARASEK, 1995).

Segundo Gomes (2008) a consistência é resultante das ações de forças internas, como a coesão, ângulo de atrito interno e viscosidade, que condicionam a mudança de forma da mistura. Desta forma, o teor de água, a forma e a textura dos grãos dos agregados, assim como a granulometria afetam a consistência.

Vários autores mencionam que a situação em que se encontra a película da pasta que envolve os grãos do agregado é que determina a classificação da argamassa em secas, plásticas e fluídas:

- Nas argamassas secas os vazios entre os grãos são preenchidos pela pasta, porém estes permanecem em contato;

- As argamassas plásticas apresentam uma fina película de pasta que atua como lubrificante entre os grãos do agregado;
- E nas fluídas os grãos do agregado estão imersos na pasta.

O método mais utilizado para a determinação da consistência é o preconizado pela NBR 13176:2005 (Ensaio da mesa de consistência manual – flow table), servindo de parâmetro para determinar a quantidade de água necessária à mistura.

Segundo Silva (2006), este método apesar de ser muito utilizado é um dos mais criticados, pois vários autores comentam que não tem sensibilidade para aferir a reologia da argamassa.

De acordo com o mesmo autor, o método Squeeze Flow se destaca entre os métodos utilizados atualmente, por ser sensível às variações do comportamento reológico da argamassa.

O Squeeze Flow é uma técnica que consiste na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas (CARDOSO, 2006).

Segundo Pileggi *et. al.*, (2000) este método visa simular a aplicação e/ou espalhamento de argamassa de revestimento, onde a mesma sofre um esforço de compressão aplicado pelo pedreiro.

A versatilidade apresentada por este ensaio pela adequação da sua programação de carga, deslocamento e tempo, permite simular situações encontradas na prática de solicitação do material no estado fresco (COSTA, 2006).

A variável que interfere diretamente no grau de consistência é o conteúdo de água. Entretanto, em alguns trabalhos acadêmicos conclui-se que esta propriedade também é função dos seguintes fatores: teor de aglomerante/agregado, relação água/aglomerante, teor de cal, teor de finos e forma das partículas (TEBALDI *et. al.*, 2001; ASSUNÇÃO *et. al.*, 2007; SILVA *et. al.*, 2005; CARNEIRO, 2002).

De acordo com Cincotto, Silva e Carasek, (1995), plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação, sendo que esta propriedade

é influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas.

As argamassas com plasticidade adequada apresentam segregação de água reduzida de acordo com estudos realizados por Vargas e Comba (1984), *apud* Cincotto, Silva e Carasek (1995).

#### 2.4.1.2 Coesão e tixotropia

De acordo com Cincotto, Silva e Carasek (1995), a coesão refere-se as forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante.

Segundo os autores a estabilidade plástica das argamassas origina-se da coesão interna, como também da influência benéfica da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade.

Tixotropia é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas reversíveis, do estado sólido para o estado gel. O estado gel, no caso das argamassas, diz respeito à massa coesiva de aglomerante na pasta, mais densa após a hidratação (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

#### 2.4.1.3 Exsudação de água

A adição de água pode aumentar a plasticidade, mas quando a mistura se torna muito úmida, há uma tendência à separação das partículas (perda de coesão), produzindo-se a segregação. Quando a argamassa nessas condições é armazenada pelos pedreiros nas masseiras, perde-se parcela significativa do material fino, inclusive do aglomerante, o que afetará a qualidade do revestimento executado com esta argamassa. Esta saída de água da mistura se dá por um processo particular de segregação, denominado de exsudação (GOMES, 2008).

Esta propriedade exige que a argamassa seja misturada com frequência para manter a homogeneidade e desta forma também interfere na trabalhabilidade.

Para minimizar os efeitos da exsudação, segundo o mesmo autor, pode-se aumentar o teor de finos, diminuir o teor de água, introduzir um aditivo incorporador de ar ou usar materiais retentores de água, como é o caso da cal.

#### 2.4.1.4 Adesão inicial

De acordo com Cincotto, Silva e Carasek, (1995) a adesão inicial, ou aderência da argamassa fresca a base, é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro do conjunto base-revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência.

Gomes (2008) esclarece que a argamassa ao ser lançada fresca sobre a alvenaria que se pretende revestir deve ficar aderida à base, sem se desprender. Esta aderência inicial irá refletir no desempenho da ligação que se dá entre a base e o revestimento, quando a argamassa estiver endurecida.

Para Cincotto, Silva e Carasek (1995) não são convergentes as análises dos autores sobre a forma que ocorre esta aderência inicial: Rosello (1976) atribui à adesão inicial às características reológicas da pasta aglomerante, sendo a baixa tensão superficial da pasta a responsável pela adesão física ao substrato e aos grãos do agregado; e Addleson (1986) considera como causa a ancoragem mecânica da pasta e da argamassa aos poros e irregularidades da base.

A mesma autora conclui ser esta propriedade função tanto da natureza da argamassa, como das características de porosidade e rugosidade, e das condições de limpeza da base.

## 2.4.2 Propriedades no Estado Endurecido

A argamassa ao ser preparada encontra-se no estado plástico, conservando a sua consistência constante por um curto período (GOMES, 2008), porem em decorrência das reações de hidratação e da perda de água por evaporação a massa plástica passa para o estado semi-sólido, com o aumento da consistência (fase da pega). A argamassa passa então para o estado sólido, que é caracterizado pelo crescimento da resistência.

O mesmo autor alerta que a manipulação da argamassa durante a fase da pega por operários que inclusive adicionam água para amolecê-la, e que de modo geral, desconhecem os mecanismos que conduzem a solidificação afeta a qualidade do revestimento executado, pois os cristais já formados em decorrência das reações químicas da pasta de cimento são rompidos em decorrência desta operação.

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995) as propriedades da argamassa no estado endurecido apresentam-se intimamente relacionadas aos componentes da base e à forma como ocorre a ligação entre a argamassa e os componentes da base.

### 2.4.2.1 Aderência

Conceitua-se aderência como a propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base (SABBATINI, 1986).

Segundo o mesmo autor, o mecanismo de aderência se desenvolve, principalmente, pela ancoragem da pasta aglomerante nos poros da base e por efeito de ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas da superfície a ser revestida.

Vários autores admitem que podem ocorrer interações resultantes de fenômenos químicos ou físico-químicos, que também favorecem a aderência (CARASEK, 1996; GOMES, 2008).

De acordo com Cincotto, Silva e Carasek (1995), a aderência é influenciada pelos seguintes fatores:

- Condições da base, como a porosidade e absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução do assentamento de componentes da base;
- Natureza do aglomerante (argamassas de cal dolomítica apresentam maior resistência que as de cal cálcica);
- Capacidade de retenção de água, da consistência e do conteúdo de ar da argamassa;
- A granulometria fina do agregado influencia favoravelmente a aderência.

É relevante ainda citar que Sabbatini (1986) considera a extensão efetiva da superfície de contato com a base de extrema importância, e que a mesma depende dos seguintes fatores:

- Trabalhabilidade da argamassa e técnica de execução do revestimento: tendo trabalhabilidade adequada, a argamassa poderá apresentar contato mais extenso com a base através de um melhor espalhamento;
- Natureza e características da base: o diâmetro, natureza e distribuição dos poros determinam a textura superficial e a capacidade de absorção da base, que podem ampliar ou não a extensão de aderência e ancoragem do revestimento;
- Condições de limpeza da superfície de aplicação: a extensão de aderência é comprometida pela existência de partículas soltas ou de grãos de areia, poeira, fungos, concentração de sais na superfície (eflorescências), camadas superficiais de desmoldante

ou graxa, que se constituem em barreiras para ancoragem do revestimento à base.

A resistência de aderência à tração avalia a capacidade das argamassas não sucumbirem aos esforços normais de tração. Geralmente, os resultados desse tipo de ensaio são variáveis, em razão de que a resistência ao arrancamento é medida da interação argamassa/substrato, dependendo, portanto, das características de ambos (ASSUNÇÃO *et. al.*, 2007).

#### 2.4.2.2 Resistência mecânica

O revestimento pode estar sujeito a tensões de tração, compressão, cisalhamento e também ao desgaste superficial. A resistência mecânica diz respeito à capacidade das argamassas de resistirem a estes esforços (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Segundo os mesmos autores estes esforços decorrem de fenômenos térmicos ou climáticos, os quais dependem das condições de exposição das superfícies e do uso da edificação.

A resistência à compressão nas argamassas destinadas a revestimento não é considerada primordial, podendo ser tratada sem maiores preocupações (GOMES, 2008).

Segundo o mesmo autor, a obtenção da resistência à tração em corpos de prova de argamassa tem sido utilizada quando se pretende correlacioná-la a outras propriedades.

A norma B.S. 5262:76, citada por Martinelli e Helene (1991) prescreve como características ideais para as argamassas de revestimento:

- A resistência mecânica do revestimento deve ser compatível com a do substrato;
- As resistências devem ser decrescentes das camadas internas para as externas;



- A deformidade do revestimento deve ser compatível ao substrato utilizado.

#### 2.4.2.3 Elasticidade ou capacidade de absorver deformações

A elasticidade é a capacidade que a argamassa apresenta em se deformar sem que ocorra ruptura, retornando às suas dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhes são impostas (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

De acordo com Sabbatini (1994), a capacidade de absorver deformações é uma propriedade equacionada pela resistência à tração e módulo de deformação do revestimento. Esta propriedade permite ao revestimento deformar-se sem ruptura ou através de microfissuras imperceptíveis, quando os esforços atuantes ultrapassam o limite de resistência à tração do material.

Elasticidade é, portanto, uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade e sua durabilidade (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Em estudos realizados, Gomes (2008), observou que argamassas ricas em cimento produzem revestimentos extremamente rígidos, sendo bastante vulneráveis à fissuração. O aumento do teor de cimento ocasionará um revestimento sem a necessária elasticidade, gerando acúmulo de tensões decorrentes das deformações da base, podendo ocorrer ruptura com o aparecimento de microfissuras. Ainda, segundo o mesmo autor, as fissuras resultantes desse processo agravam o problema da permeabilidade, por serem caminhos abertos e localizados para a penetração de água e outros agentes agressivos.

Segundo Sabbatini (1994), a perda de umidade da argamassa nas primeiras idades do revestimento, que ocorre por efeito de sucção da base, também pela perda de umidade para o meio ambiente em função das condições de vento, temperatura e umidade relativa, desencadeia um movimento de retração, gerando

tensões internas de tração. O revestimento pode ou não ter capacidade de resistir a essas movimentações, o que regula o grau de fissuração nas primeiras idades.

De acordo com Cultrone *et. al.*, (2005), quanto mais forte é a argamassa, menos capacidade de resistir a um certo grau de movimentação da alvenaria esta possui. Em termos de propriedades mecânicas as argamassas simples à base de cal são capazes de absorver estas deformações, porém o seu processo de carbonatação é muito lento, sendo este um dos principais fatores para o declínio na sua utilização. Para os autores, a carbonatação é de fundamental importância para tornar as argamassas mais duráveis, no entanto este processo depende de muitos fatores, incluindo umidade relativa, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> e envolve o aumento de massa causado pela transformação de portlandita em calcita.

Arandigoyen e Alvarez (2005), esclarecem que as argamassas calcimento podem reduzir as desvantagens apresentadas pelas argamassas simples constituídas com apenas um aglomerante (cal ou cimento). Ao avaliarem a resistência mecânica versus a deformação, os autores concluíram que as argamassas mistas com uma elevada proporção de cal apresentam uma maior zona plástica de deformação o que pode ser útil tendo em vista a durabilidade do revestimento.

Estudos realizados por Silva e Campitelli (2005), concluíram que as argamassas produzidas com areia britada possuem maiores módulos de elasticidade que as argamassas com areia natural de extração, este fato explica o maior número de fissuras nos revestimentos de areia britada, com relação aos revestimentos de areia natural que foram produzidos com o mesmo proporcionamento de materiais.

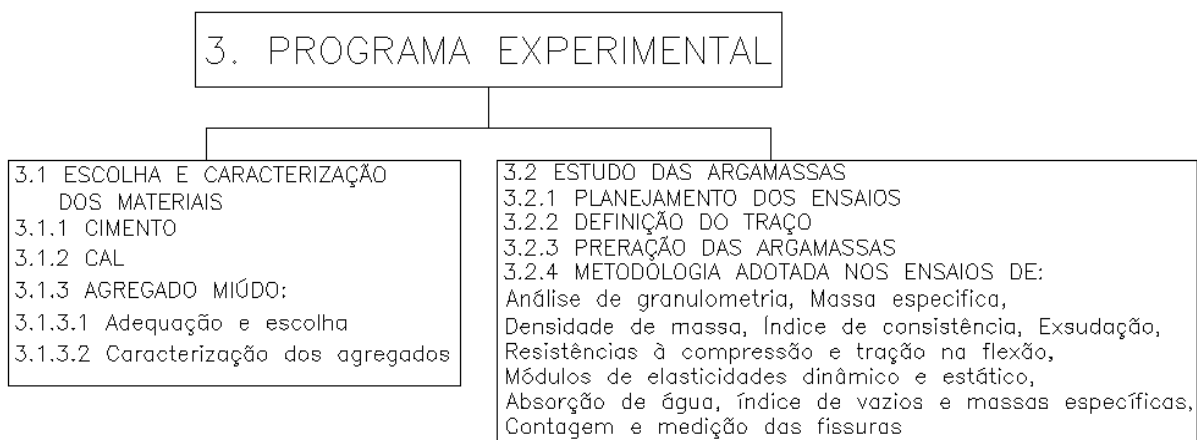
O módulo de elasticidade pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. O ensaio para determinação do módulo de elasticidade pelo método dinâmico, utilizando aparelhos de medição de ondas ultra-sônicas, além de rápido, é de fácil execução e não destrutivo (SILVA, 2006).

Segundo o mesmo autor o módulo de elasticidade, bem como o tempo (ou velocidade) de propagação da onda ultra-sônica, são variáveis importantes que podem ser utilizadas para monitorar o desempenho de um revestimento de argamassa quanto às resistências mecânicas e quanto ao

surgimento de fissuras. Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo descreve-se a escolha e caracterização dos materiais, a dosagem adotada, assim como se especifica os métodos de ensaios para as argamassas no estado fresco e endurecido e na fase de uso, as normas técnicas e os procedimentos envolvidos. Na Figura 9 é apresentado o fluxograma adotado para o programa experimental.



**Figura 9 – Fluxograma do Programa Experimental**

#### 3.1 ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para o desenvolvimento do programa experimental, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP II Z 32;
- Cal hidratada CH-III;
- Areia natural de extração proveniente do município de Nova Londrina, distante 300 Km de Londrina;
- Areia britada de rocha basáltica, proveniente da pedreira Guaravera, situada no município de Guaravera, distante 40 km de Londrina;
- Água da rede

### 3.1.1 Cimento

O cimento Portland CP II Z 32 foi escolhido por ser muito utilizado na região de Londrina e as suas características estão apresentadas no Quadro 5.

ENSAIOS QUÍMICOS CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO						
ENSAIOS QUÍMICOS - RX - MÉTODO DE ENSAIO NBR 14656/01	NBR N.	UNID.	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	ESPECIFIC. NORMA
Perda ao Fogo - PF	NM 18/04	%	5,40	5,86	4,57	≤ 6,5
Óxido de Magnésio - MgO	NM 14/04	%	5,96	6,27	5,57	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico - SO <sub>2</sub>	NM 16/04	%	3,10	3,53	2,76	≤ 4,0
Anidrido Carbônico - CO <sub>2</sub>	NM20/04	%	4,36	4,98	3,61	≤ 5,0
Resíduo Insolúvel - RI	NM22/05	%	8,3	14,12	5,14	≤ 16,0
Equivalente Alcalino em Na <sub>2</sub> O			0,69			não aplicável

ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS						
ENSAIO	NBR N.	UNID.	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	ESPECIFIC. NORMA
Área Específica (Blaine)	NM 76/98	m <sup>2</sup> /Kg	361	395	338	≤ 260
Massa Específica	NM 23/01	g/cm <sup>3</sup>	2,96	x	x	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075 mm (# 200)	11579/91	%	4,3	5,00	3,60	≤ 12,0
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044 mm (# 325)	12826/93	%	13,9	16,00	11,60	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal	NM43/02	%	26,1	26,40	25,60	não aplicável
Início de Pega	NM65/03	min	244	265	230	≥ 60 min
Fim de Pega	NM65/03	min	320	345	305	≤ 480 min
Expansibilidade de Le Chatelier	1158/91	mm	0,86	1,50	0,50	≤ 5,0

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Mpa)				ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 7215/69	
Idade (Dias)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	
1				não aplicável	
3	23,7	25,8	25,1	0,6	≥10
7	28,1	31,7	29,4	1,1	≥20
28	34,6	37,8	36,0	1,0	≥32

**Quadro 5** – Características químicas e físicas do cimento CP II Z 32

Fonte: Do fabricante (2009).

### 3.1.2 Cal

A cal hidratada CH-III foi utilizada na realização do programa experimental por simplificar o manuseio na obra e tornar o transporte e armazenamento mais funcional. Nos Quadros 6 e 7 apresentam-se suas características físicas e químicas.

Ensaio Físicos	Unid.	Valor	Limites
			CH III
Retenção na Peneira ABNT-030 (0,600 mm)	%	0,00	≤ 0,5
Retenção na Peneira ABNT-200 (0,075 mm)	%	14,36	≤ 15,0
Umidade	%	0,00	x

**Quadro 6** – Características físicas da cal CH-III

**Fonte:** Do fabricante (2009).

Ensaio Químicos	Unid.	Valor	Limites
			CH III
Perda ao fogo (PF)	%	25,64	x
Sílica + resíduo insolúvel (SiO <sub>2</sub> + RI)	%	7,81	x
Óxido de cálcio (CaO)	%	38,75	x
Óxido de magnésio (MgO)	%	27,01	x
Soma dos óxidos na base não voláteis (CaO + MgO)	%	88,43	> 88,0
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	%	9,07	≤ 13,0
Óxidos totais não hidratados	%	9,51	≤ 15,0
Óxido de cálcio não hidratado	%	0,00	x

**Quadro 7** – Características químicas da cal CH-III

**Fonte:** Do fabricante (2009).

### 3.1.3 Agregado Miúdo

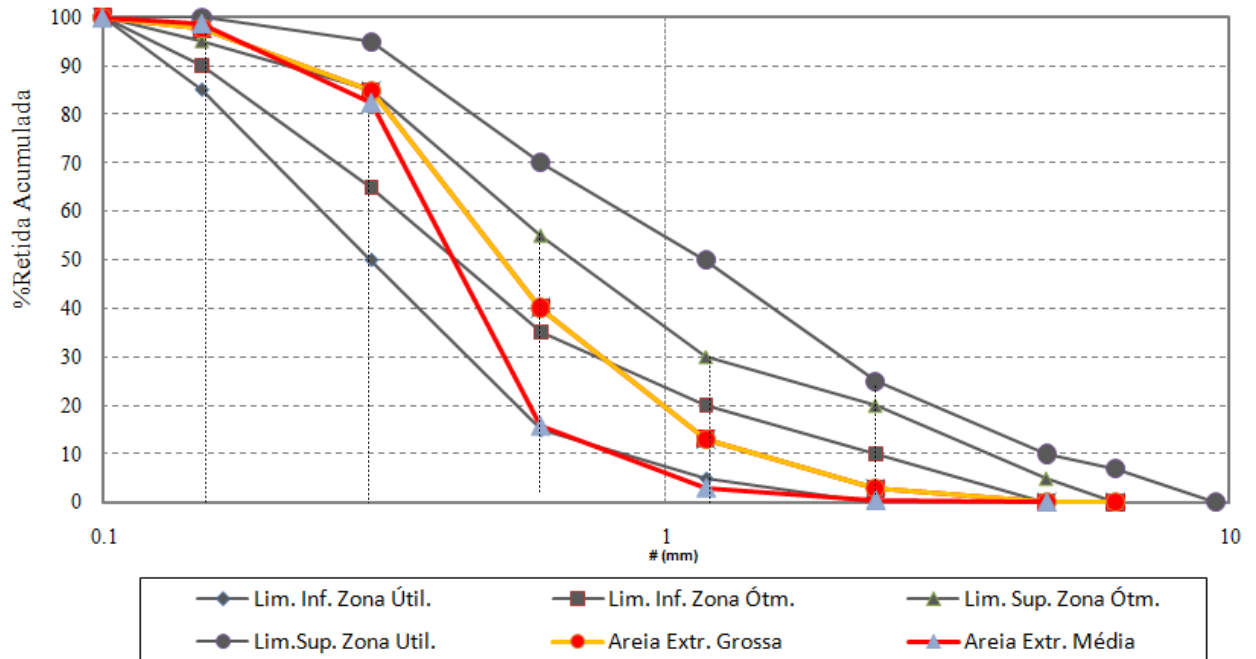
A areia natural de extração utilizada é proveniente do município de Nova Londrina, situado às margens do rio Paraná. Inicialmente foram ensaiadas as areias naturais quartzosas comercializadas na região de Londrina como média e grossa, porém verificou-se, após o ensaio, que são areias finas e médias respectivamente.

Quanto às areias de britagem, foi realizado um estudo nas pedreiras locais e duas usinas de britagem de rochas aceitaram participar desta pesquisa, fornecendo o material necessário, sendo uma delas situada no município de Londrina e a outra no município de Guaravera distante 40 km da cidade de Londrina.

As areias de extração média e grossa, utilizadas na pesquisa, têm suas composições e curvas granulométricas apresentadas Tabela 6 e na Figura 10.

**Tabela 6** - Composições Granulométricas das Areias Naturais de Extração – Média e Grossa

PENEIRA		AREIA MÉDIA			AREIA GROSSA		
		PESO	PORC.	PORC.	PESO	PORC.	PORC.
		RETIDO	RETIDA	RETIDA	RETIDO	RETIDA	RETIDA
Malha	#			ACUM.			ACUM.
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
4	4,8	-	-	-	0,36	0,04	0,04
8	2,4	3,83	0,38	0,38	28,18	2,82	2,86
16	1,2	25,55	2,56	2,94	102,24	10,23	13,09
30	0,6	127,51	12,76	15,70	269,94	27,02	40,11
50	0,3	667,26	66,78	82,48	445,83	44,63	84,74
100	0,15	163,28	16,34	98,82	129,20	12,93	97,67
200	0,075	10,61	1,06	99,89	20,53	2,06	99,73
fundo	Fundo	1,14	0,11	100	2,75	0,27	100
	Total	999,19	100		999,02	100	
	Dmax	1,20			2,40		
	MF	2,00			2,39		



**Figura 10** - Curvas Granulométricas das Areias Naturais de Extração – Média e Grossa

Observa-se que as curvas granulométricas das areias média e grossa (Figura 10), encontram-se dentro da zona utilizável especificada pela NBR 7211:09. Também se pode notar que a areia média possui uma pequena quantidade de grãos de dimensão superior a 0,6 mm – 15,70%, no entanto a porcentagem retida acumulada na peneira 0,3 é 82,48% e na peneira 0,15 é 98,82%.

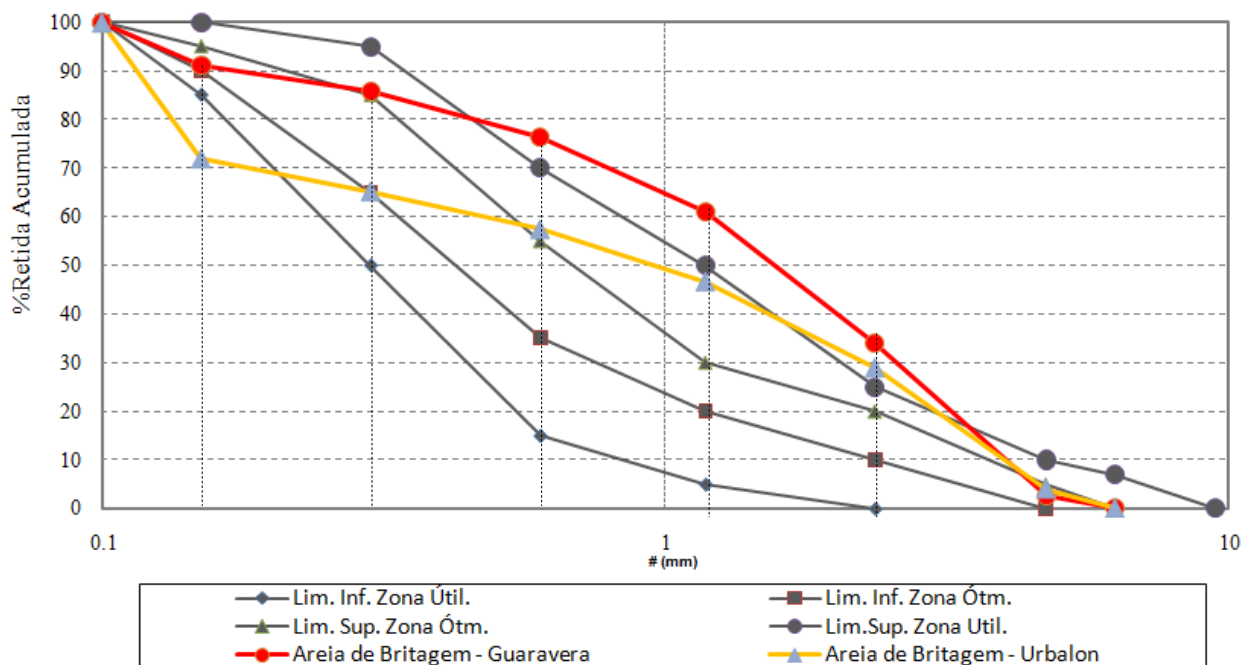
O módulo de finura das areias comercializadas como média e grossa são respectivamente 2,0 e 2,39 e pode-se então dizer que a primeira poderia ser classificada como areia média para fina estando inclusa na zona utilizável inferior conforme a NBR 7211:09, a última poderia ser classificada como areia média e está inclusa quase que totalmente na zona ótima.

As areias de britagem obtidas nas pedreiras Guaravera e Ubalon têm suas composições e curvas granulométricas apresentadas na Tabela 7 e Figura 11.



**Tabela 7 – Composições Granulométricas das Areias de Britagem das Pedreiras Guaravera e Urbalon**

PENEIRA		AREIA DE BRIT. GUARAVERA			AREIA DE BRIT. URBALON		
		PESO	PORC.	PORC.	PESO	PORC.	PORC.
		RETIDO	RETIDA	RETIDA	RETIDO	RETIDA	RETIDA
Malha	#			ACUM.			ACUM.
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
4	4,8	25,12	2,51	2,51	39,76	3,98	3,98
8	2,4	314,63	31,49	34,00	249,28	24,93	28,91
16	1,2	270,67	27,09	61,09	177,55	17,76	46,66
30	0,6	153,76	15,39	76,48	107,57	10,76	57,42
50	0,3	92,83	9,29	85,77	78,03	7,80	65,23
100	0,15	52,66	5,27	91,04	67,41	6,74	71,97
200	0,075	32,25	3,23	94,26	115,41	11,54	83,51
fundo	Fundo	57,31	5,74	100	164,86	16,49	100
	Total	999,23	100		999,87	100	
	Dmax	4,80			4,80		
	MF	3,51			2,74		



**Figura 11 – Curvas Granulométricas das Areias de Britagem das Pedreiras Urbalon e Guaravera**

A análise da Figura 11 permite verificar que nenhuma das areias de britagem tem sua curva granulométrica, inteiramente, dentro da zona utilizável especificada pela NBR 7211:09.

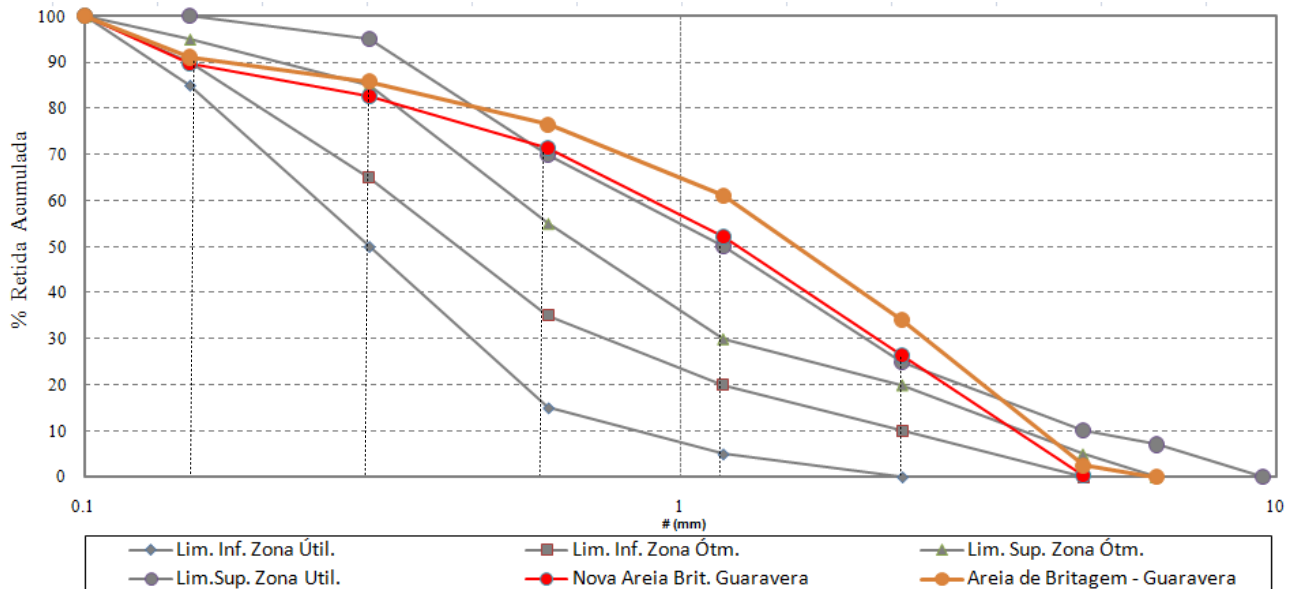
A areia proveniente da pedreira Guaravera, tem as porcentagens retidas acumuladas nas peneiras 2,4 mm; 1,2 mm e 0,6 mm acima do limite superior da zona utilizável, os materiais finos somam 8,97%.

A areia proveniente da pedreira Ubalon, tem a porcentagem retida acumulada na peneira 2,4 mm acima do limite superior da zona utilizável, os materiais finos somam 28,03%.

A pedreira Guaravera em função do resultado do ensaio visto na Tabela 7 alterou o fluxograma de produção, visando enquadrar a areia produzida dentro das faixas estabelecidas pela norma NBR 7211:09 e obter um agregado melhor graduado, como também com quantidade menor de finos. Esta alteração resultou em um produto que será denominado neste trabalho de “nova areia de britagem” (NAB) e sua composição granulométrica está apresentada na Tabela 8 e Figura 12.

**Tabela 8 - Composição Granulométrica da NAB**

PENEIRA		PESO	PORC.	PORC.
		RETIDO	RETIDA	RETIDA
Malha	#			ACUM.
	(mm)	(g)	(%)	(%)
4	4,8	3.00	0.30	0.30
8	2,4	261.57	26.17	26.47
16	1,2	257.43	25.76	52.23
30	0,6	190.30	19.04	71.28
50	0,3	113.80	11.39	82.67
100	0,15	69.93	7.00	89.66
200	0,075	44.37	4.44	94.10
Fundo	0	58.93	5.90	100.00
Total		999.33	100.00	
Dmax =	4,80			
MF =	3.23			



**Figura 12** - Curva Granulométrica da Nova Areia de Britagem x Areia Antiga Pedreira Guaravera

A análise da Tabela 8 e Figura 12 permite a verificação de que para a NAB, nas peneiras 4,8; 0,3 e 0,15 os valores das porcentagens retidas acumuladas estão na zona considerada ótima pela NBR 7211:09, e para as peneiras 2,4; 1,2 e 0,6 os valores das porcentagens retidas acumuladas praticamente coincidem com o limite superior da zona utilizável, os materiais finos somam 10,34%.

A areia NAB ainda possui as seguintes características:

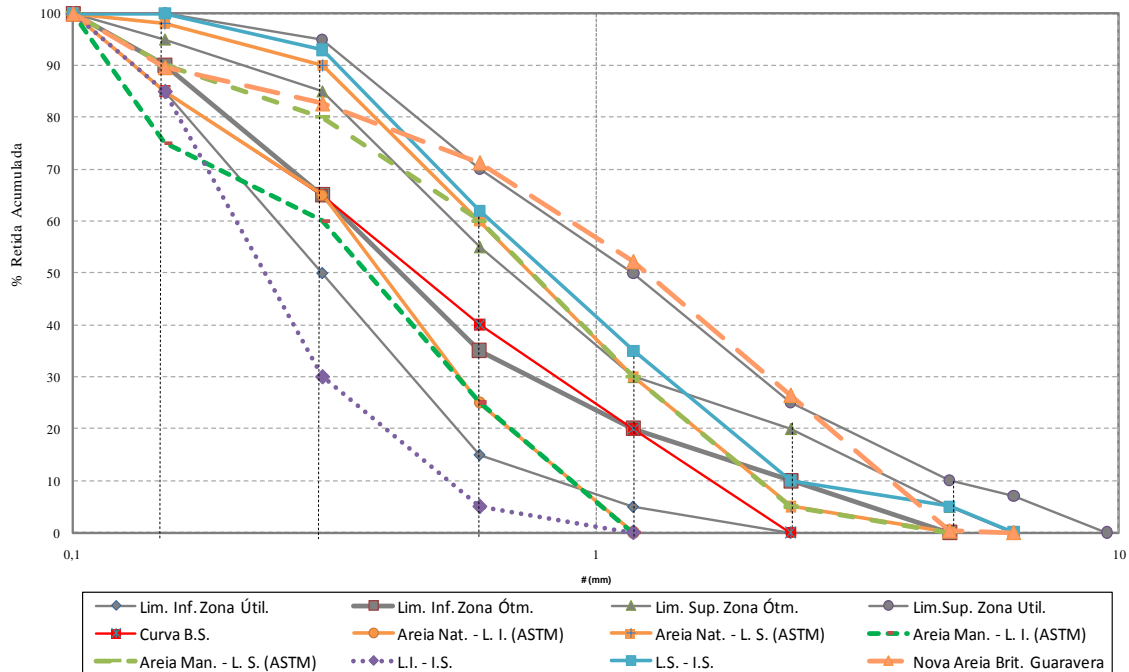
O valor de 3,23 do módulo de finura está enquadrado na zona utilizável superior de acordo com a NBR 7211:09, portanto este agregado é uma areia grossa; o diâmetro máximo característico é 4,8 e os grãos maiores que 2,4 mm somam 26,47%.

Estes dados podem ser confrontados com a areia natural de extração média, que por serem tradicionalmente utilizadas na confecção de argamassas de revestimento são consideradas como referenciais neste estudo.

A areia de extração média de Nova Londrina tem as seguintes características:

O módulo de finura tem o valor de 2,00 e está enquadrado na zona utilizável inferior de acordo com a NBR 7211:09, portanto pode ser considerada uma areia fina; o diâmetro máximo característico é 1,2 e os grãos maiores que 2,4 mm somam 0,38%.

Pode-se também comparar a curva da distribuição granulométrica da Areia NAB com as curvas referentes as composições especificadas pelas normas: NBR, ASTM, B.S. e I.S. Estas curvas granulométricas são apresentadas na Figura 13.



**Figura 13**– Curva Granulométrica da Areia NAB e Curvas de composições especificadas pelas normas: NBR, ASTM, B.S. e I.S.

Verifica-se na Figura 13, que a Areia NAB tem valores de porcentagem retida acumulada acima das curvas especificadas pelas normas técnicas referentes a agregados miúdos utilizados em argamassas, nas peneiras de malhas 2,4; 1,2 e 0,6 mm.

Estas comparações permitem inferir que esta areia natural de britagem, por ser uma areia grossa, ainda não é própria para ser utilizada como matéria prima na produção de argamassas de revestimento.

Sendo assim ainda é necessária a adequação da Nova Areia de Britagem - Guaravera, para que possa ser utilizada na confecção de argamassas de revestimento.

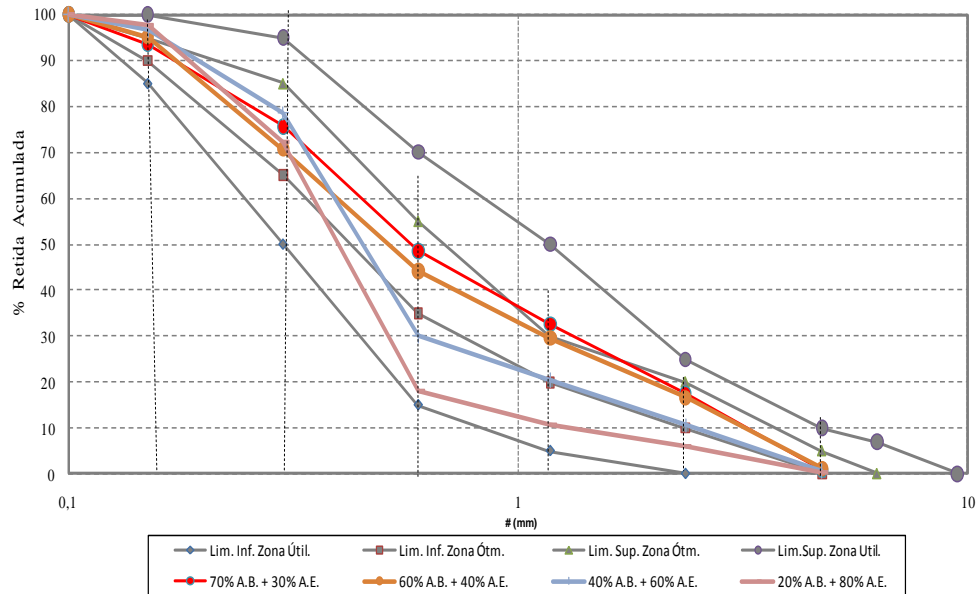
### 3.1.3.1 Adequação e escolha do agregado miúdo

Os procedimentos acerca da adequação e escolha dos agregados miúdos, que serão utilizados na composição das argamassas a serem ensaiadas são apresentados a seguir:

Em um primeiro momento, com o objetivo de aproximar a curva granulométrica obtida com a nova areia de britagem – NAB, da zona ótima e da zona utilizável inferior preconizada pela NBR 7211:09 e diminuir o módulo de finura, decidiu-se compor este agregado miúdo com areia natural de extração em diferentes proporções. A areia de extração escolhida para fazer parte desta composição foi a areia média. Os resultados destes ensaios são mostrados na Tabela 9 e Figura 14.

**Tabela 9 – Composição Granulométrica das Areias Compostas - Sem Peneirar**

PENEIRA		70% A.B. + 30% A.E.			60% A.B. + 40% A.E.			40% A.B. + 60% A.E.			20% A.B. + 80% A.E.		
		PESO RETIDO	PORC. RETIDA	PORC. RETIDA ACUM.	PESO RETIDO	PORC. RETIDA	PORC. RETIDA ACUM.	PESO RETIDO	PORC. RETIDA	PORC. RETIDA ACUM.	PESO RETIDO	PORC. RETIDA	PORC. RETIDA ACUM.
Malha	#	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
4	4,8	9,10	0,92	0,92	12,10	1,21	1,21	7,10	0,71	0,71	3,70	0,37	0,37
8	2,4	163,60	16,56	17,48	154,00	15,40	16,61	98,90	9,89	10,60	57,20	5,73	6,10
16	1,2	150,20	15,20	32,68	129,60	12,96	29,57	98,10	9,81	20,41	46,00	4,60	10,70
30	0,6	156,60	15,85	48,53	145,60	14,56	44,13	96,40	9,64	30,05	72,40	7,25	17,95
50	0,3	268,10	27,14	75,67	265,50	26,55	70,68	485,20	48,52	78,57	544,20	54,47	72,42
100	0,15	176,30	17,84	93,51	245,10	24,51	95,19	181,30	18,13	96,70	253,80	25,40	97,82
200	0,075	27,40	2,77	96,29	24,90	2,49	97,68	16,60	1,66	98,36	11,20	1,12	98,94
Fundo	Fundo	36,70	3,71	100,00	23,20	2,32	100,00	16,40	1,64	100,00	10,60	1,06	100,00
	Total	988,00	100,00		1.000	100,00		1.000	100,00		999,10	100,00	



**Figura 14** – Curvas Granulométricas das Areias Compostas – Sem Peneirar

Observa-se pela Figura 14, que as curvas granulométricas das areias compostas nas seguintes proporções: 70% A.B. + 30% A.E.; 60% A.B. + 40% A.E.; 40% A.B. + 60% A.E., estão enquadradas dentro da zona ótima, com exceção da # 1,2 mm para a areia composta 70% A.B. + 30% A.E. que está pouco acima do limite superior da zona ótima, e da # 0,6 mm para a areia composta 40% AB + 60 AE que está pouco abaixo do limite inferior da zona ótima. A areia composta na proporção 20% A.B. + 80% A.E., está enquadrada entre o limite inferior da zona ótima e o limite inferior da zona utilizável.

Após a análise dos resultados dos ensaios de granulometria e através de avaliação visual das diferentes composições de areia, decidiu-se peneirar a areia NAB proveniente da pedreira Guavera, utilizando a peneira # 2,4 mm, com o objetivo de eliminar os grãos mais grossos e em decorrência disso diminuir a dimensão máxima característica que era 4,8 mm para todas as composições.

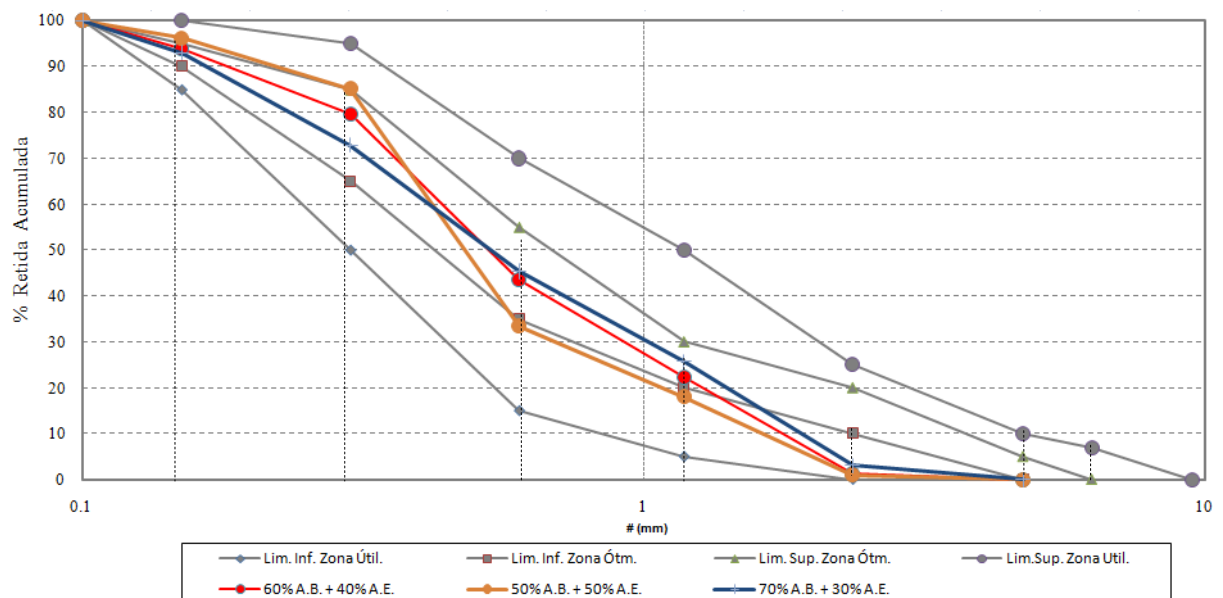
Este procedimento visou obter um agregado mais apropriado para produzir uma argamassa de revestimento que resulte em um melhor acabamento final, pois a areia de extração média, que é considerada areia de referência possui um dimensão máxima característica de 1,2 e a porcentagem retida acumulada na peneira 2,4 soma apenas 0,38%. Vale ressaltar que esta tendência em possuir uma porcentagem retida acumula de valor mais baixo na peneira 2,4 mm se repete nas outras areias de extração apresentadas no item 2.1.5 – Revisão bibliográfica das areias utilizadas em trabalhos nacionais (Tabela 1).

A curva padrão da norma BS. tem na peneira de malha 2,4 mm uma porcentagem retida acumulada nula. A norma ASTM especifica uma variação de 0 a 5% e a norma I.S. uma variação de 0 a 10% no valor retido acumulado na peneira 2,4 mm.

Na Tabela 10 e Figura 15, apresentadas a seguir se pode visualizar o resultado obtido para algumas composições de areia.

**Tabela 10** - Composição Granulométrica das Areias Compostas – Areia de Britagem Peneirada na # 2,4mm

PENEIRA	Malha # (mm)	70% A.B. + 30% A.E.			60% A.B. + 40% A.E.			50% A.B. + 50% A.E.		
		PESO	PORC.	PORC.	PESO	PORC.	PORC.	PESO	PORC.	PORC.
		RETIDO	RETIDA	RETIDA	RETIDO	RETIDA	RETIDA	RETIDO	RETIDA	RETIDA
			ACUM.			ACUM.			ACUM.	
		(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
4	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2,4	30,7	3,08	3,08	12,1	1,21	1,21	10,2	1,02	1,02
16	1,2	226	22,64	25,71	210,5	21,06	22,27	170,5	17,05	18,07
30	0,6	196,5	19,68	45,4	213,2	21,33	43,61	153,8	15,38	33,45
50	0,3	273,7	27,42	72,81	359,3	35,95	79,56	517,1	51,7	85,15
100	0,15	201,8	20,21	93,03	142,8	14,29	93,85	110,3	11,03	96,18
200	0,075	51,4	5,15	98,18	29,5	2,95	96,8	27,9	2,79	98,97
fundo	Fundo	18,2	1,82	100	32	3,2	100	10,3	1,03	100
	Total	998,3	100		999,4	100		1.000,10	100	



**Figura 15** – Curvas Granulométricas das Areias Compostas – Areia de Britagem Peneirada na # 2,4mm

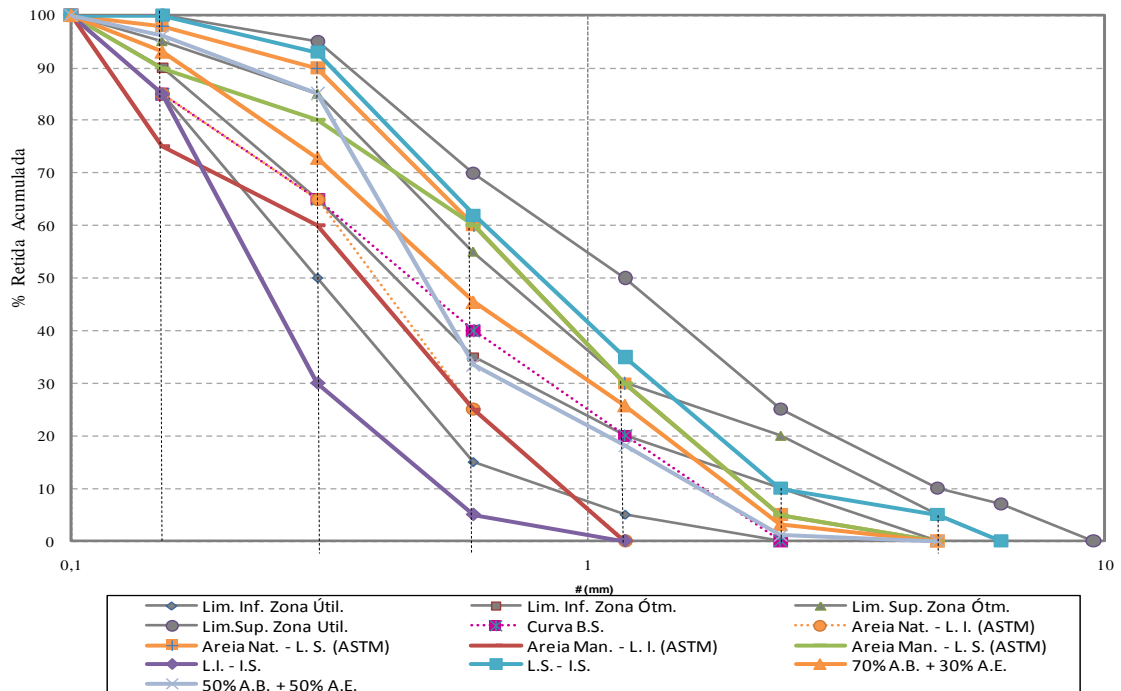
Na Figura 15 verifica-se que ao aumentar a proporção de areia natural de extração, a porcentagem acumulada na peneira # 0,3 cresce sensivelmente, isto se deve a característica da areia média comercializada na região de Londrina, que conforme Tabela 6 apresentam 66,78% de grãos retidos na peneira # 0,3.

Ao analisar os resultados mostrados pela Figura 15 é possível notar que as composições 70% AB + 30% AE e 60 % AB + 40% AE estão enquadradas dentro da zona considerada ótima para a produção de concretos pela NBR-7211:09, exceto na # 2,4 mm onde os valores estão abaixo do limite inferior da zona ótima, o que era esperado, pois a areia de britagem foi peneirada na # 2,4 mm para propiciar um melhor acabamento final da camada de revestimento.

As opções escolhidas para a produção das argamassas a serem ensaiadas foram as proporções: 70% AB + 30% AE e 50% AB + 50% AE. A proporção 70% de areia de britagem de rochas basálticas e 30% de areia de extração média tem uma semelhança muito aproximada com a composição 60% A.B. + 40% A.E., e foi escolhida entre as duas por apresentar uma menor adição de areia natural de extração. A areia composta de 50% de areia de britagem de rochas basáltica e 50% de areia de extração média foi também selecionada por diferenciar-se das outras, e desta forma possibilitar a comparação dos resultados.

Na Figura 16, são apresentadas as curvas granulométricas das areias compostas 70% AB + 30% AE e 50%AB + 50% AE, juntamente com a areia padrão da norma BS e os limites especificados pela ASTM e I.S.





**Figura 16** – Curvas das areias 70% AB + 30% AE; 50% AB + 50% AE e especificações das normas ASTM, BS e IS.

Ao observar a Figura 16, verifica-se que a curva da areia 70% AB + 30% AE na peneira de malha 0,15 mm está pouco acima do L.S. das Areias Manufaturadas da norma ASTM e que a curva da areia 50% AB + 50% AE encontra-se também acima do L.S. – Areia Manufaturada nas peneiras 0,30 e 0,15 mm. Porém ambas encontram-se dentro dos limites da norma IS. e dos limites para areia natural da ASTM.

### 3.1.3.2 Caracterização dos agregados a serem utilizados

As massas unitárias, específicas e a porcentagem de material pulverulento das areias a serem utilizadas no preparo das argamassas são apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 11 - Massa unitária no estado solto, massa específica e material pulverulento**

Material	Massa Unitária (g/dm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/dm <sup>3</sup> )	Material Pulverulento % retida
Areia de extração - média	1492,00	2595,00	0,11
50% AB + 50% AE	1607,50	2712,30	2,95
70% AB + 30% AE	1631,66	2761,00	5,15
Areia de britagem – NAB.	1665,22	2820,00	5,90

A dimensão máxima característica, módulo de finura e % de partículas maiores que 2,4 mm, das areias a serem utilizadas no preparo das argamassas são apresentadas na Tabela 12.

**Tabela 12 – DMC, MF e % de partículas maiores que 2,4 mm**

Material	DMC.	MF.	% Partículas maiores que 2,4 mm
Areia de extração - média	1,2	2,00	0,38
50% AB + 50% AE	2,4	2,34	1,02
70% AB + 30% AE	2,4	2,40	3,08
Areia de britagem – NAB.	4,8	3,23	26,47

### 3.2 ESTUDO DAS ARGAMASSAS

Neste item descreve-se o planejamento dos ensaios, a definição do traço, a preparação das argamassas, a programação e a metodologia adotada para a realização dos ensaios.

#### 3.2.1 Planejamento dos Ensaios

No estado anidro, foi feito ensaio de peneiramento, para determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos utilizados neste

estudo e a determinação das massas unitárias e específicas dos componentes utilizados no preparo das argamassas mistas, ou seja: cimento, cal e agregados.

Nas argamassas no estado fresco e endurecido, foram realizados os ensaios que estão apresentados na Tabela 13, onde também são expostas as normas utilizadas como referência.

**Tabela 13 – Ensaio nos estados fresco e endurecido**

Ensaio no estado fresco	Densidade de massa (NBR 13278:2005)
	Teor de ar incorporado (NBR 13278:2005)
	Índice de consistência ( NBR 13276:2005)
	Exsudação (MR-6 RILEM)
Ensaio no estado endurecido	Resistência à compressão (NBR 13279:2005)
	Resistência à tração na flexão (DIN EN 1015- Part. 11)
	Módulo de elasticidade dinâmico (NBR 15630)
	Módulo de elasticidade estático (NBR 8522:08)
	Absorção de água, índice de vazios e massa específica (NBR 9778:05)
	Contagem e medição de fissuras

### 3.2.2 Definição do Traço

Os ingleses para garantir o desempenho às argamassas utilizam tradicionalmente a proporção em volume 1:3 (cimento + cal : areia), sendo esta uma relação entre aglomerantes e agregado miúdo já consagrada pela prática.

Foi adotado como traço único no presente estudo a proporção em volume 1:1:6 (cimento: cal: areia), e assim procurou-se concentrar o foco dos trabalhos no agregado miúdo, nas suas características essenciais e composições mais adequadas para a obtenção de uma argamassa de revestimento de boa qualidade.

### 3.2.3 Preparação das Argamassas

Utilizou-se uma betoneira de eixo inclinado de capacidade de 120 litros (Figura 17) para fazer a mistura do cimento, cal, areia e água, obtendo-se as argamassas mistas.



**Figura 17** – Betoneira de eixo inclinado

No Quadro 8 estão apresentadas as argamassas que serão estudadas: a nomenclatura, a composição das areias, a relação aglomerante/areia e a proporção dos materiais constituintes em volume.

Nomenclatura	Composição da areia	Relação aglomerante/areia	Proporção (Traço) em volume
AR	100% areia de extração	1 : 3	1 : 1 : 6
AB1	70% areia de britagem + 30% areia de extração	1 : 3	1 : 1 : 6
AB2	50% areia de britagem + 50% areia de extração	1 : 3	1 : 1 : 6
AB3	100% areia de britagem	1 : 3	1 : 1 : 6

**Quadro 8** – Nomenclaturas e composições das argamassas

As diferentes composições de areia foram obtidas adicionando-se em massa as parcelas referentes a areia de extração e areia de britagem.

As massas unitárias no estado solto dos materiais constituintes das argamassas são expostas na Tabela 14.

**Tabela 14** - Massa unitária no estado solto dos materiais constituintes

Material	Massa unitária (g/dm <sup>3</sup> )
Cimento	1130,00
Cal hidratada	658,00
Areia de extração - média	1492,00
AB1 (70% AB + 30% AE)	1631,66
AB2 (50% AB + 50% AE)	1607,50
Areia de britagem	1665,22

As proporções dos materiais foram definidas em massa utilizando-se os dados da Tabela 14. Os traços em massa são apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15** - Proporção dos constituintes (traços) em massa

Argamassa	Proporção (Traço)	
	em volume	em massa
Arg. Ref.	1 : 1 : 6	1 : 0,582 : 7,92
AB1	1 : 1 : 6	1 : 0,582 : 8,66
AB2	1 : 1 : 6	1 : 0,582 : 8,53
AB3	1 : 1 : 6	1 : 0,582 : 8,84

Inicialmente foi introduzida na betoneira uma parcela da água de amassamento, seguido do agregado miúdo, o cimento e a cal.

A seguir foi adicionada água até a obtenção de um Índice de Consistência – IC = (250 ± 10) mm. Para a homogeneização total da mistura manteve-se a betoneira em movimento por mais três minutos, após a adição total da água.

A moldagem dos corpos de prova foi manual, e de acordo com a norma brasileira NBR 7215:96 feita imediatamente após o amassamento. Consistiu em colocar a argamassa no molde em quatro camadas, recebendo cada camada 30 golpes uniformes e bem distribuídos. Após o preenchimento total do molde, foi

terminada a operação com o acabamento do topo do corpo de prova, por meio de uma régua metálica.

Os corpos de prova após a moldagem foram cobertos por placas de vidro, tendo sido desmoldados após 48 horas, permanecendo no laboratório, a uma temperatura constante de  $\pm 23^{\circ}$  C até a idade de ensaio.

A programação dos ensaios para cada tipo de argamassa, as idades e quantidades de corpos de prova ensaiados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Programação dos ensaios

Traço	Areia Composta	Código	Mínimo de C.P. necessários	C.P. extras	Total de C.P	Idades/quantidades de C.P. e ensaios a serem realizados			
						7 dias	28 dias	43 dias	56 dias
1:1:6	100% A.E.	A. Ref.	46	5	51	5 C.P. Res. Compr.	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 5 C. P. Densidade	3 C.P. Res. Tração na Flexão (4 x 4 x 16 cm)	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 3 Absorção, Índice e Massa
1:1:6	70% A.B. + 30% A.E.	A. B. 1	46	5	51	5 C.P. Res. Compr.	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 5 C. P. Densidade	3 C.P. Res. Tração na Flexão (4 x 4 x 16 cm)	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 3 Absorção, Índice e Massa
1:1:6	50% A.B. + 50% A.E.	A. B. 2	46	5	51	5 C.P. Res. Compr.	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 5 C. P. Densidade	3 C.P. Res. Tração na Flexão (4 x 4 x 16 cm)	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 3 Absorção, Índice e Massa
1:1:6	100% A.B.	A. B. 3	46	5	51	5 C.P. Res. Compr.	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 5 C. P. Densidade	3 C.P. Res. Tração na Flexão (4 x 4 x 16 cm)	5 C.P. Res. Compr. 10 C.P. Elasticidade 3 Absorção, Índice e Massa
Totais			184	20	204	20	80	12	72

### 3.2.4 Metodologia Adotada nos Ensaio

#### 3.2.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada utilizando as peneiras da série normal: 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600  $\mu\text{m}$ ; 300  $\mu\text{m}$ ; 150  $\mu\text{m}$ ; 75 $\mu\text{m}$  e o fundo. As peneiras foram dispostas de cima para baixo em ordem decrescente de tamanho da malha.

Uma amostra com 1 Kg de agregado miúdo foi depositada na peneira de maior dimensão (4,75 mm) que na seqüência foi tampada, e todo o conjunto sofreu agitação mecânica, proporcionada por equipamento vibratório durante um intervalo de 2 minutos.

Em seguida cada peneira com tampa e acoplada na peneira de malha imediatamente inferior, foi agitada manualmente e o material retido pesado. Calculou-se então a porcentagem das partículas retidas de mesma dimensão, em relação à massa total da amostra.

#### 3.2.4.2 Massa específica

A massa específica do agregado miúdo foi determinada com o auxílio do frasco de Chapman, sendo este preenchido com 200  $\text{cm}^3$  de água e posteriormente por 500g de agregado. Em seguida é feita a leitura do nível de água L ( $\text{cm}^3$ ). A massa específica é calculada pela equação 1 a seguir:

$$\gamma = 500/L - 200 \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \text{Eq. 1}$$



### 3.2.4.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Este ensaio se resume na pesagem da argamassa no estado fresco introduzida em um recipiente cilíndrico de PVC calibrado, seguindo o procedimento padrão descrito pela norma brasileira NBR 13278:05.

A densidade de massa (A) é calculada pela equação 2:

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \text{Eq. 2}$$

onde:  $M_c$  = Massa do recipiente + argamassa, em g

$M_v$  = Massa do recipiente vazio, em g

$V_r$  = Volume do recipiente, em  $\text{cm}^3$

O teor de ar incorporado na argamassa é expresso em porcentagem, sendo calculado pela equação 3:

$$AI = 100 \times (1 - A/B) \text{ (\%)} \quad \text{Eq. 3}$$

onde: AI = Teor de ar incorporado (%)

A = Densidade de massa medida ( $\text{g/cm}^3$ ), obtida pela Eq. 2

B = Densidade de massa teórica da argamassa ( $\text{g/cm}^3$ ), dada pela equação 4.

$$B = \frac{\sum M_i}{\sum \frac{M_i}{\gamma_i}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \text{Eq. 4}$$

onde:  $M_i$  = Massa seca de cada componente da argamassa, inclusive a água;

$\gamma_i$  = Densidade de massa de cada componente da argamassa.

#### 3.2.4.4 Índice de consistência

Este ensaio é descrito pela norma brasileira NBR – 13276:05 e consiste em preencher com argamassa um molde metálico tronco-cônico, anteriormente umedecido, posicionado no centro da mesa de consistência também umedecida. O preenchimento do molde se faz em três camadas de alturas iguais, em cada camada são aplicados com o auxílio de soquete metálico 15, 10 e 5 golpes uniformes, nas primeira, segunda e terceira camadas respectivamente.

A superfície superior do molde é então rasada com movimentos de vai-e-vem de uma régua metálica inclinada 45° em relação a horizontal.

A manivela da mesa de consistência é acionada aplicando à argamassa 30 quedas em um período de 30 segundos. Logo após são realizadas três medições do diâmetro da argamassa ensaiada. O índice de consistência será a média das medidas efetuadas.

#### 3.2.4.5 Exsudação

Para o ensaio de exsudação utilizou-se como referência o MR-6 da RILEM.

Foram preenchidos com o mesmo tipo de argamassa seis beakers de vidro de 600 ml, onde as amostras de 500 ml da argamassa ensaiada permaneceram em repouso e isentas de vibrações. Para evitar a evaporação, os beakers são cobertos com vidro.

Nos tempos de 15 min., 30 min. e 60 min. foram feitas leituras das medidas de água que afloraram na superfície em duas amostras com ajuda de uma pipeta graduada. O resultado do ensaio é a porcentagem da média das duas leituras feitas em cada tempo, em relação a água de amassamento.

O procedimento adotado apresenta algumas alterações em relação ao prescrito pelo método MR-6 da RILEM, visto que este prevê a utilização de apenas uma amostra para cada tempo e também leituras aos 120 e 240 min.

A utilização de uma segunda amostra tem o objetivo de confirmar a primeira leitura realizada, visto que na época da realização dos ensaios de exsudação o clima estava seco e com temperatura elevada.

Conforme observou Tristão (1999) a exsudação de água da argamassa apresenta uma curva linear até os 60 min., logo após a curva em geral diminui sua inclinação e entre 120 e 240 min. há uma redução da porcentagem de exsudação. Segundo o autor, isto se deve ao enrijecimento da argamassa em função das reações de hidratação dos aglomerantes presentes. Nas conclusões do seu trabalho, sugere ainda que seja adotada como referência a porcentagem de água exsudada aos 60 minutos, visto que pelos resultados obtidos este se apresentou como o ponto de inflexão da curva de exsudação. Tendo em conta estas observações, adotou-se como procedimento realizar leituras até os 60 min.

#### 3.2.4.6 Resistência à compressão

Os resultados para cada tipo de argamassa foram obtidos da média de cinco repetições utilizando corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. O topo dos corpos de prova foi regularizado com capeamento de enxofre.

O equipamento utilizado nos ensaios de compressão foi um prensa manual com capacidade de 20 Ton. A Figura 18 mostra a execução do ensaio.



**Figura 18** – Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão de cada corpo de prova foi obtida, em MPa, dividindo a carga de ruptura pela área da secção transversal do corpo de prova.

A resistência à compressão embora não seja uma propriedade prioritária nas argamassas pode indiretamente oferecer informações sobre a sua capacidade de resistir às ações externas (GOMES, 2008).

#### 3.2.4.7 Resistência à tração na flexão

Foram confeccionados três corpos de prova de 4 x 4 x 16 (cm) para cada argamassa, sendo mantidos ao ar do laboratório até a idade de ensaio, a desmoldagem ocorreu após 24 horas.

Os corpos de prova foram ensaiados com a idade de 43 dias, com a utilização de uma prensa manual com capacidade de 20 Ton. O ensaio consistiu em aplicar uma carga perpendicular à superfície do corpo de prova bi-apoiado. A Figura 19 mostra o ensaio sendo executado.



**Figura 19** – Ensaio de tração na flexão

A resistência a tração na flexão foi obtida através da equação:

$$R_f = \frac{1,5 PL}{bh^2} \quad (\text{MPa}) \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

$R_f$  = resistência à tração na flexão (MPa)

$P$  = carga aplicada no centro do corpo de prova até a ruptura (N)

$L$  = distância entre os apoios (100 mm)

$h$  = altura do corpo de prova (mm)

Foi utilizada como referência a norma DIN EM 1015 – Part 11 (1999)

#### 3.2.4.8 Módulo de elasticidade dinâmico

Para determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi utilizado aparelho de ultra-som PUNDIT (Portable Ultrasonic Non- destructive Digital Indicating Tester). Este equipamento fornece o tempo em  $\mu\text{s}$  que a onda ultra-sônica que parte

da sonda de emissão, demora para percorrer o corpo de prova e alcançar a sonda de recepção. A Figura 20 mostra a execução do ensaio.



**Figura 20** – Ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico.

Os procedimentos adotados foram os descritos na NBR 15630 : 08, que consistem em:

- Inicialmente regular o equipamento utilizando a barra de referência;
- Verificar se as superfícies dos corpos de prova (base e topo) estão lisas, limpas e livres de grãos soltos;
- Determinar a densidade de massa aparente dos corpos de prova;
- Aplicar camada de gel de contato na superfície dos transdutores, de forma que ocorra extra-rasamento ao comprimi-los contra as faces dos corpos de prova. O gel utilizado para a realização dos ensaios foi a vaselina, vale ressaltar que foram obtidos resultados mais confiáveis utilizando um produto mais viscoso, que possibilitou uma melhor acoplagem e regularização entre as duas superfícies.

A equação 6, fornecida pela norma NBR 15630:08 permite calcular o módulo de elasticidade dinâmico:

$$E_d = v^2 \rho \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad (\text{GPa}) \quad \text{Eq. 6}$$

onde:  $E_d$  é o módulo de elasticidade dinâmico

$V$  é a velocidade de propagação da onda (mm/ $\mu$ s)

$\rho$  é a densidade de massa aparente (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  é a relação de Poisson, este valor foi presumido constante para os diferentes tipos de argamassas, e igual a 0,20.

#### 3.2.4.9 Módulo de elasticidade estático

O módulo de elasticidade estático foi calculado utilizando como referência a norma brasileira NBR 8522:03 para concretos, na qual foi feita adaptação visando sua aplicação em ensaios com argamassas. O equipamento utilizado foi uma prensa hidráulica EMIC, modelo DC 30000, com capacidade de 300 KN. A Figura 21 mostra a realização do ensaio e o equipamento utilizado.



**Figura 21** – Preparação do ensaio de módulo de elasticidade estático.

Inicialmente determinou-se a resistência à compressão em pelo menos dois corpos de prova provenientes da mesma betonada, preparados e curados sob as mesmas condições. O valor médio obtido estabeleceu os níveis de carregamento a serem aplicados.

Para a determinação do módulo de elasticidade foram ensaiados cinco corpos de prova.

A aplicação da carga foi realizada de acordo com a norma NBR 8522:03, porém foi utilizada como tensão básica  $\sigma_a$  o valor 0,1 MPa, pois o valor 0,5 MPa estabelecido pela norma (destinada à concretos), mostrou ser elevado para utilização em corpos de prova de argamassas.

O procedimento para o ensaio consiste em centralizar o corpo de prova nos pratos da prensa e em seguida aplicar uma seqüência de três ciclos iguais de carregamento e descarregamento, variando a tensão de forma regular, à velocidade de  $(0,25 \pm 0,05)$  MPa/s.

Os ciclos são obtidos aumentando a tensão na velocidade especificada, até alcançar uma tensão aproximada de 30% da resistência à compressão da argamassa ( $\sigma_b$ ). Este nível de tensão é mantido por 60 s.

A seguir a carga é reduzida com a mesma velocidade do carregamento até o nível de tensão básica ( $\sigma_a$ ), que também é mantido por 60 s.

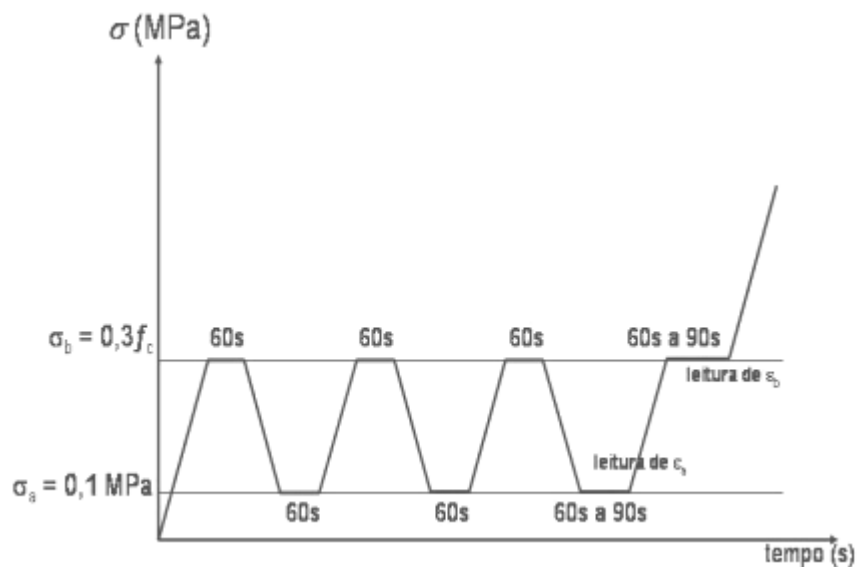


Após realizar os três ciclos de pré-carga obedecendo à mesma velocidade de carregamento/descarregamento e mantido as tensões ( $\sigma_a$  e  $\sigma_b$ ) constantes por um período de 60 s, aplica-se a tensão  $\sigma_a$  por mais um período de 60 s e registram-se as deformações lidas ( $\varepsilon_a$ ), tomadas em 30 s.

O corpo de prova sofre então uma nova carga, à velocidade já citada anteriormente, até atingir a tensão ( $\sigma_b$ ) que é mantida por 60 s e a seguir as deformações ( $\varepsilon_b$ ) são registradas em 30 s.

Efetuada as leituras das deformações é aumentada a tensão até ser atingida 80% da carga de ruptura. Retira-se então o clip gage e o corpo de prova é liberado para a ruptura.

Na Figura 22 apresenta-se a representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade.



**Figura 22** - Representação dos ciclos de carregamento/descarregamento para a determinação do módulo de elasticidade.

#### 3.2.4.10 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

Este ensaio, cujos procedimentos são prescritos pela norma brasileira NBR 9778:05, consistiu em secar 4 amostras em estufa mantida a

temperatura de  $(105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ , por um período de 72 h e registrar a massa (ms) de cada amostra.

Logo após, as amostras são imersas em água à temperatura de  $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  aonde permaneceram por 72 h. Em seguida os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água que foi levada progressivamente à ebulição, que deve começar entre 15 a 30 minutos depois do início do aquecimento. A ebulição foi mantida por um período de 5 h, durante o qual o volume de água foi mantido constante. A seguir deixou-se a água resfriar naturalmente até a temperatura de  $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ , e foi determinada com ajuda de balança hidrostática a massa ( $m_i$ ) das amostras.

Os corpos de prova foram então retirados da água e enxugados com o auxílio de um pano úmido, a seguir determinou-se as suas massas ( $m_{sat}$ ).

O resultado de cada determinação de massa foi considerado como sendo a média obtida nos quatro corpos de prova.

A absorção de água por imersão (A), em porcentagem, foi calculada pela equação:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 (\%) \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

$m_{sat}$  = massa da amostra saturada em água após imersão e fervura

$m_s$  = massa da amostra seca na estufa.

O índice de vazios, em porcentagem, foi calculado pela equação:

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 (\%) \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:  $m_i$  = massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

A massa específica da amostra seca ( $\gamma_s$ ) foi calculada pela equação:

$$\gamma_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \text{Eq. 9}$$

A massa específica da amostra saturada após fervura ( $\gamma_{sat}$ ) foi calculada pela equação:

$$\gamma_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \text{Eq. 10}$$

A massa específica real ( $\gamma_r$ ) foi calculada pela equação:

$$\gamma_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \text{Eq. 11}$$

#### 3.2.4.11 Contagem e medição das fissuras

Foram construídas quatro paredes no pátio externo, no entorno do laboratório do C.T.U., com as faces voltadas para o sentido norte-sul, conforme croqui apresentado na Figura 23.

As paredes foram umedecidas e a seguir foi aplicado um chapisco de cimento e agregado miúdo na proporção 1:3 em volume.

Ambas as faces de cada parede foram revestidas com um dos tipos de argamassa: Argamassa de Referência, AB1, AB2 e AB3, a espessura adotada foi 30 milímetros conforme especificado na norma NBR 13749: 96.

Aos 31 dias foram contadas as fissuras visíveis em cada face do painel e determinado o seu comprimento linear total. O período do ano que

correspondeu a realização do ensaio foram os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro.

A identificação das fissuras foi feita molhando-se a superfície do revestimento e marcando-se o caminhamento das mesmas com auxílio de um giz de cera.

O comprimento linear foi determinado com a utilização de barbante, o valor da soma dos comprimentos das fissuras dividido pela área do painel foi considerado como sendo a intensidade da fissuração expressa em  $m/m^2$ .

A intensidade de fissuração foi classificada utilizando-se o critério adotado por Silva e Bauer (2008):

- Alta: Intensidade de fissuração  $\geq 0,90 m/m^2$ ;
- Média:  $0,30 m/m^2 < \text{Intensidade de fissuração} < 0,90 m/m^2$ ;
- Baixa: Intensidade de fissuração  $\leq 0,30 m/m^2$ .

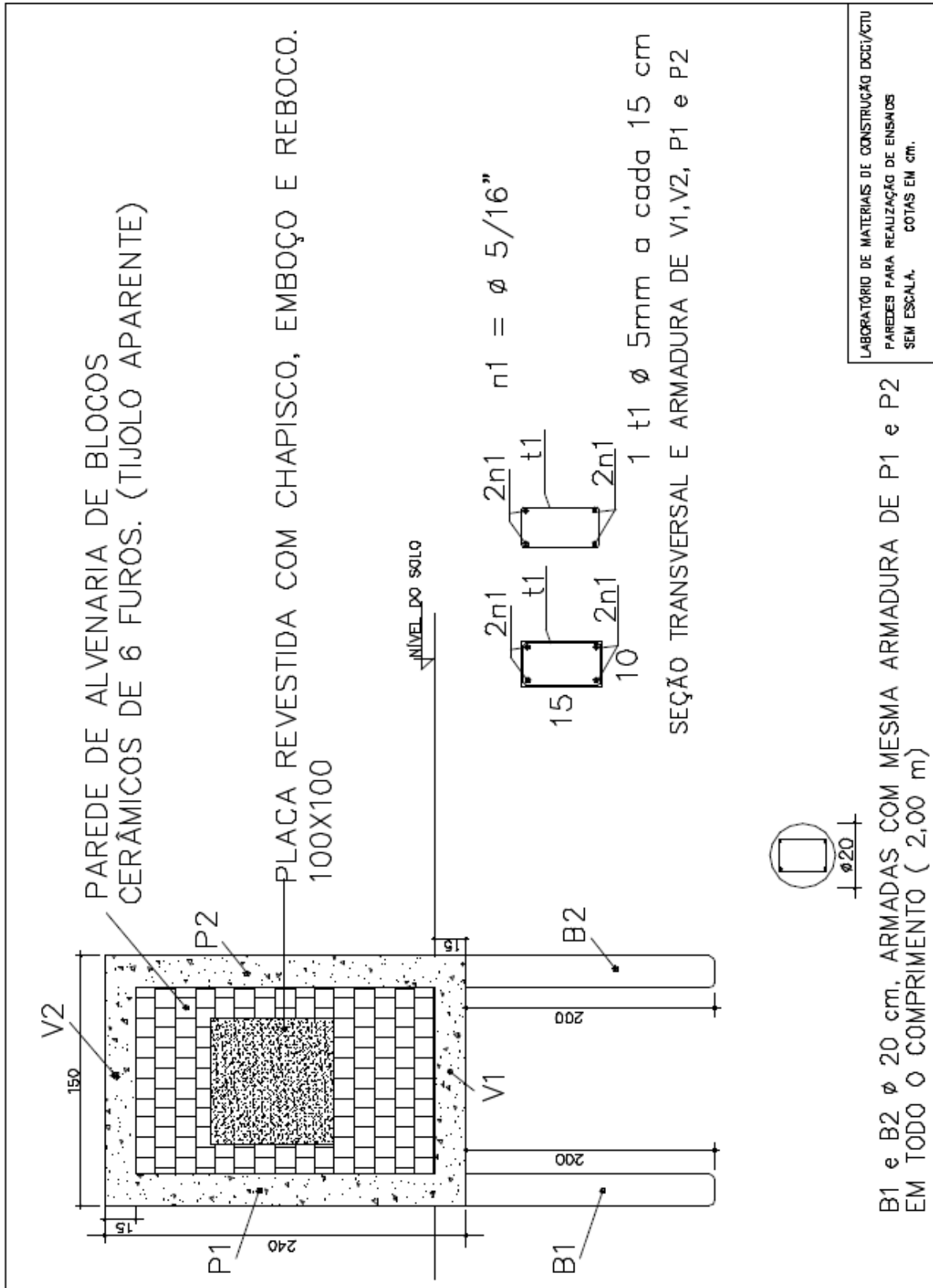


Figura 23 – Croqui das paredes para a realização de ensaios

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo apresentam-se as modificações ocorridas no fluxograma de produção da pedreira Guaravera, também são apresentados os resultados obtidos quando da realização dos ensaios definidos no programa experimental, bem como as análises acerca desses resultados, com base na literatura existente.

### 4.1 MUDANÇAS OCORRIDAS NA PEDREIRA GUARAVERA

Nas pedreiras Ubalon e Guaravera eram utilizados um britador primário de mandíbula e um britador secundário tipo cone, após o produto era encaminhado a um britador de eixo vertical (V.S.I.), para a produção de areia de britagem. A pedreira Ubalon possui uma jazida de rochas basálticas pouco fragmentadas (Figura 24), pois em razão de estar situada em um relevo topográfico baixo (próximo ao córrego) o resfriamento do magma ocorreu de forma lenta. O produto de desmanche provocado pela explosão resulta em matacões (pedras de grandes dimensões), sendo que as mais avantajadas precisam ainda passar por um processo de fragmentação mecânico no local, antes de serem transportadas para a usina de britagem.



**Figura 24** – Jazida de rochas basálticas da pedreira Ubalon  
**Fonte:** Do autor (2009).

A pedreira Guaravera por estar situada em um altiplano do município de Guaravera, tem uma jazida de rochas bastante fragmentada (Figuras 25 e 26), visto que o magma que a originou foi resfriado rapidamente. Na Figura 27 é possível observar que o produto do desmanche é um material de dimensões reduzidas. Por possuir esta característica, pôde ser evitada a etapa da britagem primária e o fluxograma de produção adotado pela empresa, passou a ser conforme Figura 28.



**Figura 25** – Jazida da pedreira Guaravera  
**Fonte:** Do autor (2009).



**Figura 26** – Rochas basálticas fragmentadas, jazida da pedreira Guaravera  
**Fonte:** Do autor (2009).



**Figura 27** – Produto do desmanche  
**Fonte:** Do autor (2009).

O processo de produção adotado pela usina de britagem possui as seguintes etapas:

- 1) A matéria prima originada pelo desmanche na jazida é depositada, pelo caminhão basculante, no silo de descarga que dispõe de alimentador hidráulico.
- 2) Antes de alimentar o britador cônico 120 S, passa por uma peneira de malha # 1", aonde é retirado o material mais fino, pois este material com freqüência comata nas paredes do britador, impedindo o seu funcionamento.
- 3) Na seqüência o produto gerado pelo britador é encaminhado a uma peneira de malha # 1 1/8", aonde o material retido na peneira, retorna ao processo de britagem primária e o passante fica estocado em um local apropriado.
- 4) A calha vibratória "succiona" o produto da britagem primária que é conduzido ao processo de britagem secundária realizado por um britador V.S.I. Este britador de eixo vertical tem um poder de redução menor que o britador cônico, contudo formata melhor as partículas conferindo as mesmas uma forma mais arredondada.
- 5) Após a britagem secundária o material é conduzido a um conjunto de peneiras, as partículas retidas na malha de # 19 mm retornam ao britador. O produto passante é selecionado com a utilização de outras duas malhas como brita 1, brita 1/2" e areia de britagem.



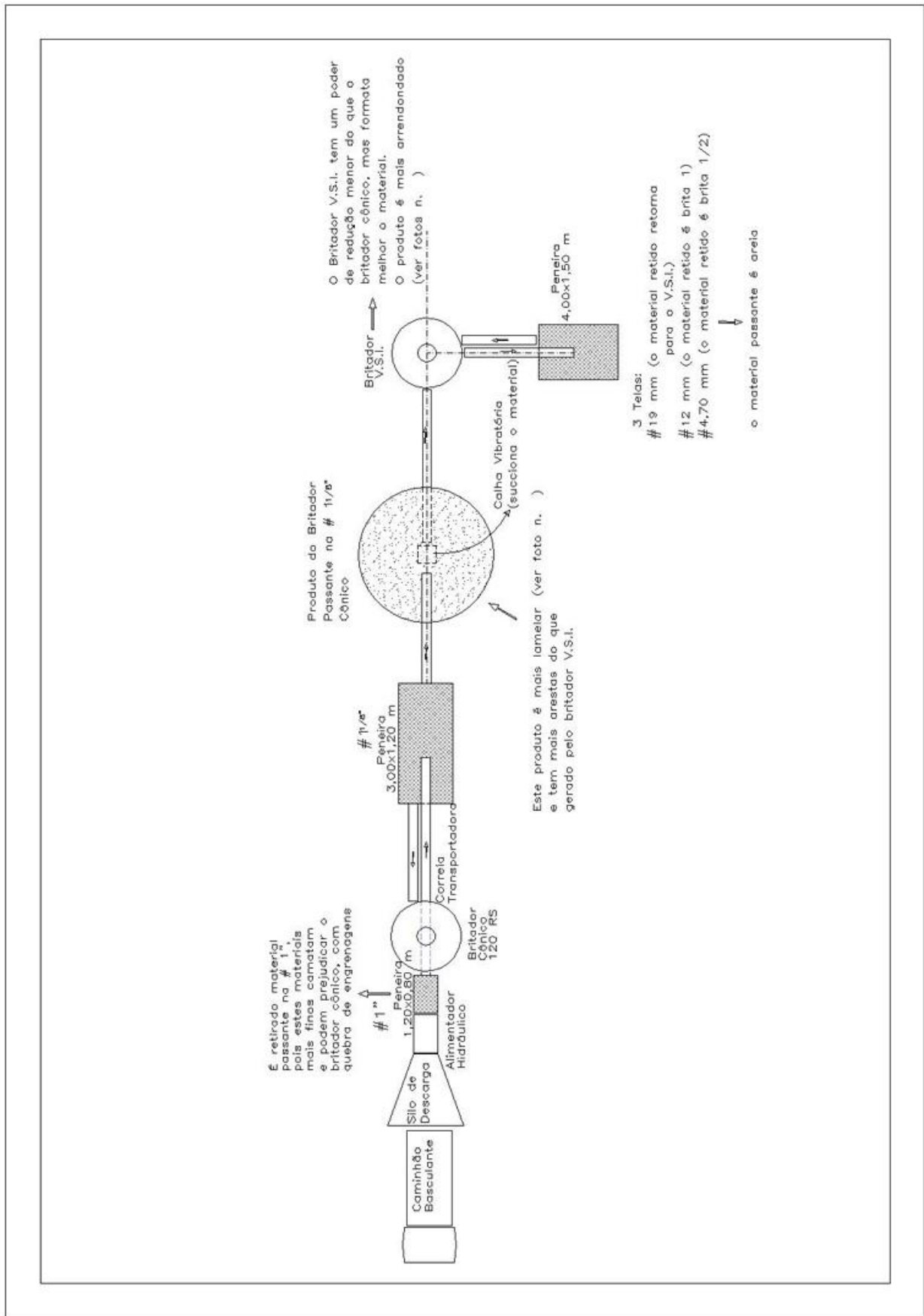


Figura 28 – Fluxograma de produção

Na Figura 29 é possível observar o britador de eixo vertical (V.S.I.) da pedreira Guaravera, no momento da manutenção.



**Figura 29** – Britador V. S. I. desmontado para manutenção  
**Fonte:** Do autor (2009).

O esquema produtivo adotado possibilitou a obtenção de uma composição granulométrica mais adequada, visto que aproximou a curva granulométrica da zona utilizável superior, além de contribuir para melhorar a formatação das partículas. A jazida de rochas basálticas já fragmentadas encontrada na pedreira Guaravera, tem também a vantagem de no seu processo produtivo gerar menor quantidade de material pulverulento se comparada a pedreira Urbalon, como se pode verificar na Tabela 17.

**Tabela 17** – Quantidade de material pulverulento das areias estudadas

AREIA	MATERIAL PULVERULENTO	
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA
Areia Britagem - Urbalon	164,86	16,49
Nova Areia Britagem - Guaravera	58,93	5,90
Areia de extração grossa	2,75	0,27
Areia de extração média	1,14	0,11

Nas Figuras 30 e 31 estão apresentadas a linha produtiva em operação e uma vista aérea da pedreira Guaravera (nas duas figuras é possível observar a altitude em que esta se localiza).

Como conseqüência desta altitude mais elevada, o magma resfriou mais rapidamente, dando origem a uma jazida de rochas bem fragmentadas.



**Figura 30** – Usina de britagem em operação – pedreira Guaravera  
**Fonte:** Do autor (2009).



**Figura 31** – Vista aérea da pedreira Guaravera  
**Fonte:** Arquivo da empresa mineradora (2009).

## 4.2 ENSAIOS NAS ARGAMASSAS

Os resultados e a análise, dos ensaios realizados com as argamassas nos estados fresco e endurecido, são apresentados a seguir.

### 4.2.1 Relação Água/Cimento e Água/Materiais Secos

A quantidade de água necessária para o preparo das argamassas com um índice de consistência igual a  $250 \pm 10$  mm foi registrada e a seguir calculada a relação água/cimento e água/materiais secos. Os resultados podem ser verificados na Tabela 18.

**Tabela 18** - Relação água/cimento e água/materiais secos

ARGAMASSAS	COMPOSIÇÃO DA AREIA	RELAÇÃO ÁGUA/ CIMENTO	RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS
AR.	100% areia de extração	1,77	0,186
AB2	50% areia de britagem e 50% areia de extração	1,70	0,165
AB1	70% areia de britagem e 30% areia de extração	1,67	0,165
AB3	100% areia de britagem	1.66	0,160

Obs: Traço fixo e consistência mantida constante em  $250 \pm 10$  mm

A análise da Tabela 18 demonstra redução nos valores da relação água/cimento e da relação água/materiais secos com o aumento da substituição da areia de extração pela areia de britagem. O material pulverulento presente na areia de britagem, cuja proporção foi aumentando gradualmente, pode ter agido como lubrificante, pois as partículas finas facilitam a rolagem. Desta forma ocorreu uma compensação para a necessidade de mais água, devido o aumento da superfície específica dos materiais constituintes da argamassa.

Em pesquisas realizadas por Paes *et. al.* (1999) os autores concluíram que os resultados dos ensaios indicam que à medida que se aumenta o teor de finos de origem calcária adicionados à mistura, não ocorre necessariamente

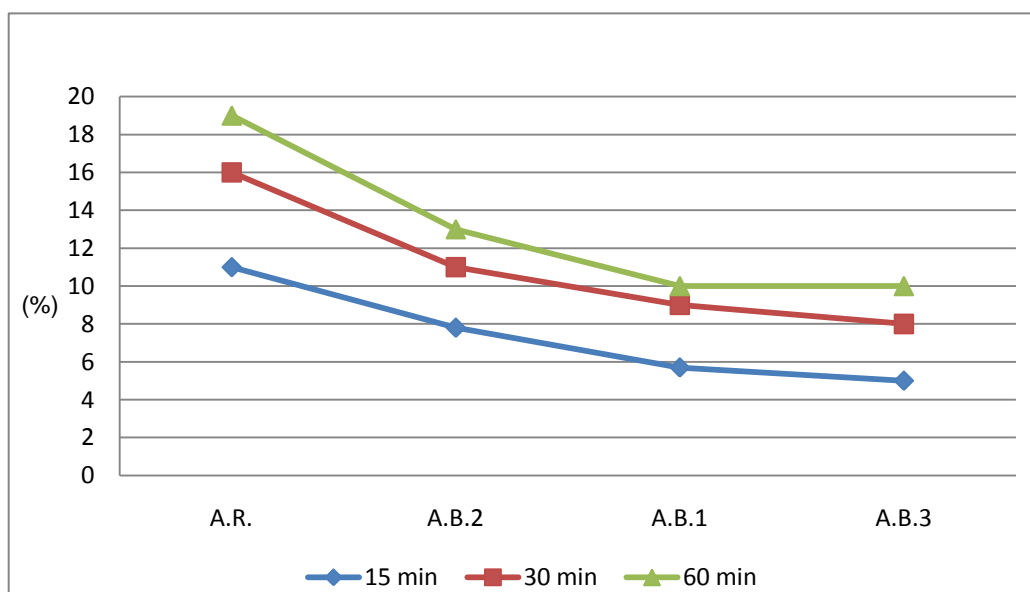
o aumento da água unitária para a obtenção da trabalhabilidade ideal, entretanto maiores quantidades de finos adicionados à argamassa ocasionam uma maior fissuração. A informação fornecida sobre o teor de finos calcários e sua influência na quantidade da água unitária, de certa forma é coincidente com os resultados obtidos para os agregados de origem basáltica estudados no presente trabalho.

#### 4.2.2 Exsudação

A Tabela 19 e Figura 32 apresentam os resultados dos ensaios de exsudação, realizados tendo como referência o método MR- 6 da RILEM.

**Tabela 19 - Exsudação de água**

TEMPO (Min.)	VOLUME DE ÁGUA EXSUDADA EM RELAÇÃO A ÁGUA DE AMASSAMENTO (%)			
	ARG. REF. (100% A.E.)	A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	A.B. 3 (100% A.B.)
15	0,011	0,0078	0,007	0,005
30	0,016	0,011	0,009	0,008
60	0,019	0,013	0,008	0,01



**Figura 32 - Exsudação de água (% em relação a água de amassamento)**

A substituição da areia de extração pela areia de britagem ocasionou uma redução da exsudação, como pode ser observado na Figura 32. Tal fato pode ser explicado pelo aumento da superfície específica em decorrência do acréscimo gradual das partículas finas nas misturas do agregado miúdo.

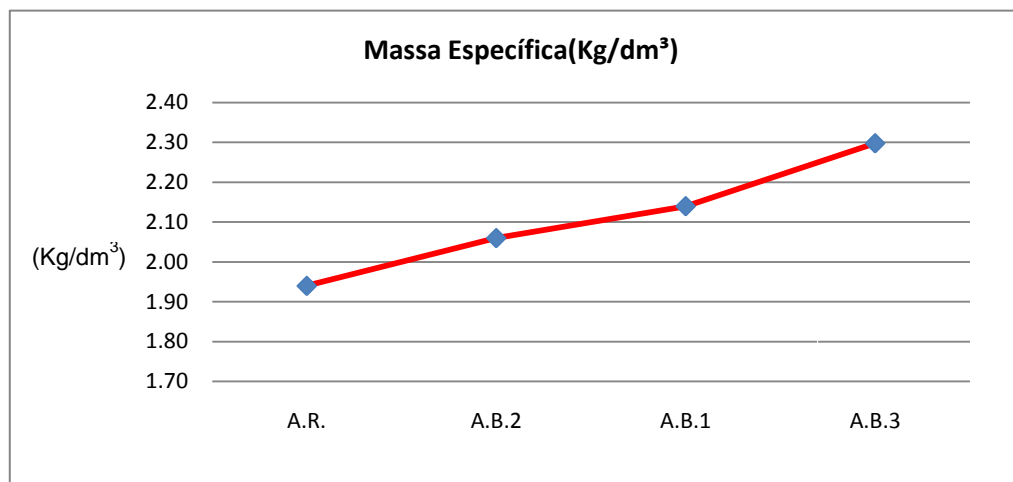
Em estudos realizados por Margon (2002), verificou-se que a quantidade de água inicial exerce influência significativa na exsudação. A relação água/materiais secos diminuiu ao se aumentar a proporção da areia de britagem na composição do agregado miúdo, sendo que este fato também justifica a diminuição da água exsudada.

#### 4.2.3 Massa Específica da argamassa fresca

A Massa específica da argamassa fresca foi determinada conforme requisitos da NBR 13278:05 e os resultados são apresentados na Tabela 20 e Figura 33.

**Tabela 20** – Massa específica da argamassa fresca

ARGAMASSA	DENSIDADE DE MASSA (kg/dm <sup>3</sup> )
AR. (100% AE.)	1,94
AB2 (50% AB. e 50% AE.)	2,06
AB1 (70% AB. e 30% AE.)	2,14
AB3 (100% AB.)	2,3



**Figura 33** – Massa específica da argamassa fresca

Ao observar os resultados da Tabela 20 pode-se notar que o aumento da densidade de massa da argamassa AB1 para a argamassa AB2 é pequeno, da ordem de 0,08 Kg/dm<sup>3</sup>. Já os aumentos da argamassa AB2 para a AR e da argamassa AB3 para a AB1 são da ordem de 0,12 Kg/dm<sup>3</sup> e 0,16 Kg/dm<sup>3</sup> respectivamente.

A aceitação por parte do profissional responsável pela execução do revestimento, de uma argamassa que difere da que usualmente utiliza, será influenciada de forma decisiva pela comparação que certamente será feita pelo mesmo, do aumento de “peso” do novo produto, e de como este acréscimo dificultará ou não o seu trabalho.

De acordo com a tabela 5 da NBR 13281:05, a argamassa de referência pertence a classe D5 e todas as outras argamassas estudadas fazem parte da classe D6.

#### 4.2.4 Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido

Na Tabela 21 são apresentados os resultados dos ensaios de densidade de massa aparente no estado endurecido, realizados aos 28 dias de idade conforme a norma brasileira NBR 13280:05.

A tabela completa, com os resultados individuais para cada corpo de prova, está exposta no Apêndice B.

**Tabela 21 - Densidade de massa aparente no estado endurecido**

ARGAMASSA	DENSIDADE DE MASSA (kg/dm <sup>3</sup> )
AR. (100% AE.)	1,89
AB2 (50% AB. e 50% AE.)	2,00
AB1 (70% AB. e 30% AE.)	2,10
AB3 (100% AB.)	2,13

É possível observar na Tabela 21 que ao aumentar a proporção da areia de britagem de rocha basáltica na mistura do agregado miúdo, utilizado para a

produção das argamassas, têm-se como consequência uma maior densidade de massa no estado endurecido.

A substituição total (100% de areia de britagem – argamassa AB3) resultou em uma argamassa de revestimento com uma densidade de massa aparente  $0,24 \text{ Kg/dm}^3$  maior do que a argamassa de referência, ou seja, um acréscimo de 12,70%.

A areia de britagem possui uma massa específica maior que a areia de extração, e também um maior teor de material pulverulento que preenche os vazios do agregado, a conjugação destes dois fatores pode explicar o resultado apresentado.

Resultados de análise de variância, com nível de significância menor que 0,1%, mostraram que apenas as argamassas AB1 e AB3 não diferem significativamente entre si.

De acordo com a Tabela 2 da norma NBR 13281:2005, as argamassas Arg. Ref. e AB2 são classificadas como M5 e as argamassas AB1 e AB3 são da classe M6.

#### 4.2.5 Resistência à Compressão

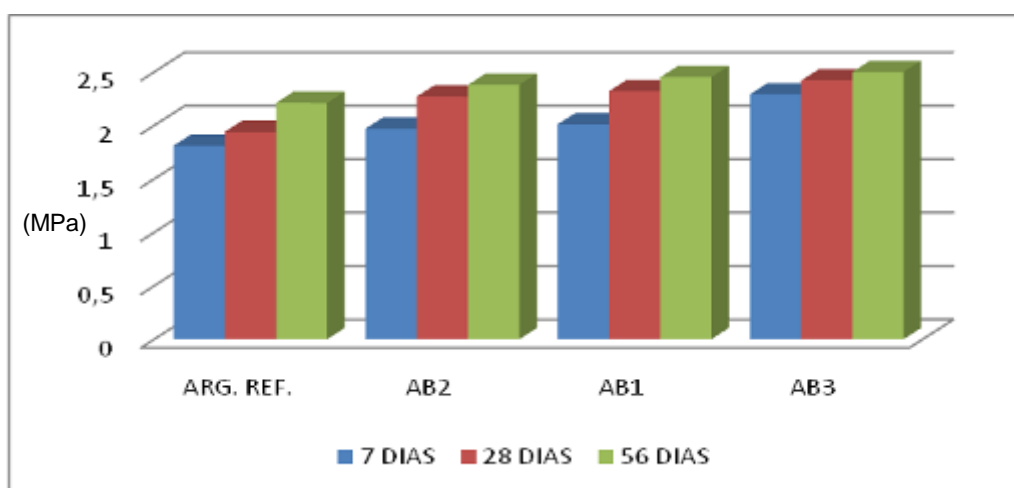
Os ensaios de resistência à compressão foram realizados nas idades de 7, 28 e 56 dias, com a utilização de corpos de prova de  $50 \times 100 \text{ mm}$ , de acordo com a norma brasileira NBR 13279:05. Os resultados são apresentados na Tabela 22 e nas Figuras 34 e 35.

As tabelas completas, com os resultados individuais para cada corpo de prova, estão expostas no Apêndice C.

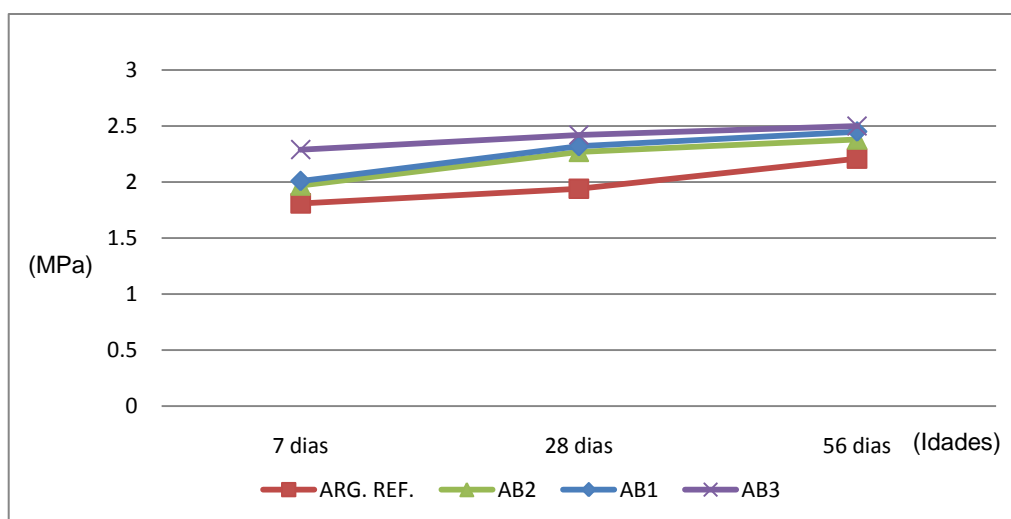


**Tabela 22** - Resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (NBR 13279:05)

ARGAMASSA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		
	7 DIAS	28 DIAS	56 DIAS
ARG. REF.	1,81	1,94	2,21
AB1	2,01	2,32	2,45
AB2	1,97	2,27	2,38
AB3	2,29	2,42	2,50



**Figura 34** - Resistências à compressão – idade: 7, 28 e 56 dias



**Figura 35** - Resistências à compressão das argamassas estudadas

Ao analisar os resultados mostrados na Figura 35, é possível observar um acréscimo no valor da resistência à compressão, com o aumento da proporção da areia de britagem nas misturas do agregado miúdo utilizado no preparo da argamassa. Provavelmente este fato se deve a um aumento gradual da densidade de massa aparente no estado endurecido, motivado pela maior massa específica e maior teor de material pulverulento apresentados pela areia de britagem que leva a obtenção de um produto compactado mais elevada.

Os resultados obtidos por Silva (2006), para resistência à compressão foram 1,60 MPa, 2,59 MPa e 2,87 MPa, aos 7, 28 e 56 dias de idade com argamassas mistas preparadas com o traço 1 : 1 : 6 em volume, utilizando areia natural de extração. Utilizando areia de britagem de rochas calcárias no preparo de argamassas mistas com o traço 1 : 1 : 6 em volume, os valores obtidos foram 1,51 MPa, 2,61 MPa e 2,82 MPa aos 7, 28 e 56 dias respectivamente.

Os quatro tipos de argamassas que fazem parte deste trabalho podem ser classificadas como da Classe P2, segundo a tabela 1 da NBR 13281:2005.

#### 4.2.6 Módulo de Elasticidade Estático

Para a determinação do módulo de elasticidade estático foram ensaiados corpos de prova 50 x 100 mm. Foi utilizada como referência a norma brasileira NBR 8522:08 destinada a ensaios de corpos de prova de concretos, na qual foi feita adaptação reduzindo a tensão básica aplicada, conforme descrito na metodologia, visando a utilização desta norma em ensaios com argamassas.

O equipamento utilizado foi uma prensa hidráulica EMIC, modelo DC 30000, com capacidade de 300 KN.

Os resultados do módulo de elasticidade estático aos 28 dias são apresentados na Tabela 23.

As tabelas completas, com os resultados individuais para cada corpo de prova, estão expostas no Apêndice D.

**Tabela 23** - Resultados dos ensaios para determinação do módulo de elasticidade estático – 28 dias

ARGAMASSA	MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO MÉDIO (GPa)	DESVIO PADRÃO (GPa)	C.V. (%)
ARG.REF. (AREIA EXTRAÇÃO)	4	0,79	19,75
A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	5,5	0,53	9,62
A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	5,7	0,10	1,72
A.B. 3 (100% A.B.)	6,35	1,02	16,06

Os resultados do módulo de elasticidade estático aos 56 dias são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24** - Resultados dos ensaios para determinação do módulo de elasticidade estático – 56 dias

ARGAMASSA	MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO MÉDIO (GPa)	DESVIO PADRÃO (GPa)	C.V. (%)
ARG.REF. (AREIA EXTRAÇÃO)	5,25	0,31	5,9
A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	5,77	0,6	10,45
A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	5,67	0,38	6,68
A.B. 3 (100% A.B.)	6,20	0,83	13,39

A análise das Tabelas 23 e 24, relativas as idades de 28 e 56 dias demonstra que o módulo de elasticidade estático tem seus valores relacionados à variação da resistência à compressão e a densidade de massa aparente no estado endurecido. A argamassa de referência possui o menor módulo de elasticidade estático e a argamassa AB3 o maior valor, entre as quatro argamassas estudadas.

Resultados de análise de variância mostraram que a única diferença significativa foi entre argamassa de referência e a argamassa AB3.

#### 4.2.7 Módulo de elasticidade dinâmico

Os procedimentos adotados para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico são os descritos na norma NBR 15630:08. Foram utilizados cinco corpos de prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm, e o tempo de percurso da onda ultra-sônica pelo corpo de prova pôde ser determinado com o auxílio de um aparelho de ultrassom PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester). Os resultados individuais para cada corpo de prova estão expostos no Apêndice E.

Os resultados aos 28 e 56 dias são apresentados nas Tabelas 25 e 26.

**Tabela 25 – Módulo de elasticidade dinâmico -28 dias**

ARGAMASSA	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO MÉDIO (GPa)	DESVIO PADRÃO (GPa)	C.V. (%)
ARG.REF. (AREIA EXTRAÇÃO)	8.68	0.35	4.00
A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	10.13	0.30	2.95
A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	9.51	0.31	3.27
A.B. 3 (100% A.B.)	11.57	0.65	5,69

**Tabela 26 - Módulo de elasticidade dinâmico – 56 dias**

ARGAMASSA	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO MÉDIO (GPa)	DESVIO PADRÃO (GPa)	C. V. (%)
ARG. REF.	10.36	0.70	6.78
AB1	11.52	1.27	11.05
AB2	11.41	0.69	6.05
AB3	13.00	0.34	2.65

Com relação aos resultados do módulo de elasticidade dinâmico, são válidas as mesmas observações relativas ao módulo de elasticidade estático, ou seja:

O módulo de elasticidade dinâmico tem seus valores relacionados à variação da resistência à compressão e a densidade de massa aparente no estado endurecido.

Resultados de análise de variância mostraram que apenas as argamassas AB1 e AB2 não diferem significativamente entre si (p-valor > 5%).

#### 4.2.8 Correlação entre o módulo de elasticidade estático, módulo de elasticidade dinâmico e estimativas teóricas da NBR 6118:03 e CEB 90.

A determinação do módulo de elasticidade foi feita por meio do método dinâmico com a utilização de aparelho de ultrassom, pelo método estático utilizando clip gages e pelas estimativas teóricas através das equações da NBR 6118:03, CEB 90 apresentadas nas equações 12 e 13.

$$E_c = 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad \text{Eq. 12}$$

$$E_c = 2,15 \times 10^4 \sqrt[3]{f_{c28/10}} \quad (\text{MPa}) \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

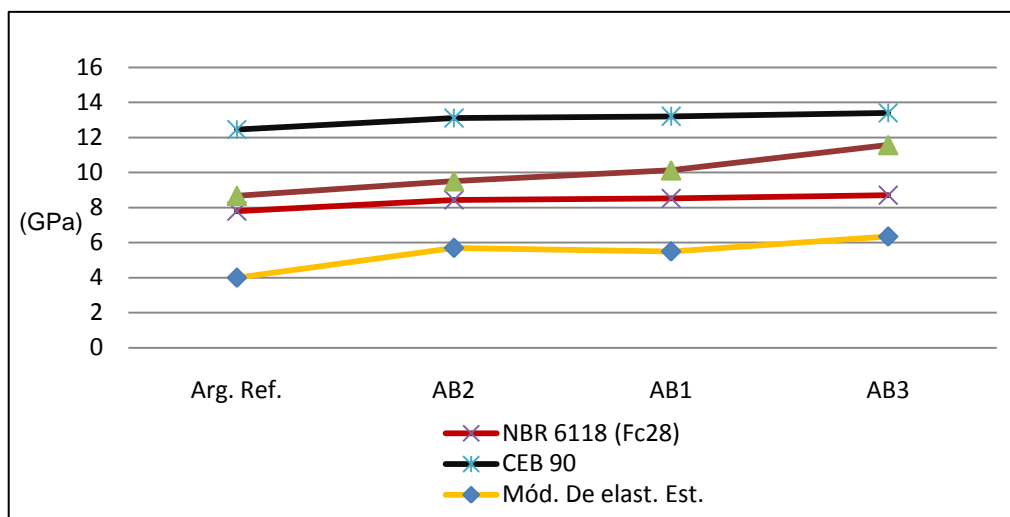
f<sub>ck</sub> = Resistência característica a compressão em MPa, f<sub>ck</sub> = f<sub>c28</sub>, por simplificação;

f<sub>c28</sub> = Resistência média aos 28 dias em MPa.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 27 e Figura 36.

**Tabela 27** – Módulos estático, dinâmico e estimativas teóricas (GPa)

ARGAMASSAS	MÓDULO DINÂMICO 28 DIAS	MÓDULO ESTÁTICO 28 DIAS	NBR 6168	CEB 90
AR	8,68	4,00	7,80	12,45
AB2	9,51	5,70	8,44	13,11
AB1	10,13	5,50	8,53	13,21
AB3	11,57	6,35	8,71	13,40



**Figura 36** – Módulos estático e dinâmico aos 28 dias, e equações NBR 6118, CEB

Ao observar a Figura 36, verifica-se que os valores do módulo de elasticidade dinâmico estão contidos entre os obtidos pelas estimativas teóricas da NBR e CEB, se aproximando com mais precisão da equação da norma brasileira. No entanto vale lembrar que as normas NBR 6118 e CEB 90 são destinadas ao projeto e execução de obras de concreto.

Os valores do módulo de elasticidade estático estão estabelecidos abaixo dos obtidos pela equação da norma brasileira.

Pode-se também verificar que as curvas do módulo de elasticidade estático e do módulo de elasticidade dinâmico apresentam uma configuração muito parecida entre si, assim como os valores teóricos da NBR 6118 e CEB 90.

Na Tabela 28, são apresentados os resultados dos Módulos de Elasticidade Dinâmico (MED) e Estático (MEE) aos 28 dias e a diferença em porcentagem entre o MED e o MEE, para cada tipo de argamassa.

**Tabela 28** – Valores de MED E MEE

ARGAMASSAS	MED	MEE	MED/MEE (%)
AR. (100% AE)	8,68	4	53,92%
AB2(50% AB + 50% AE)	9,51	5,70	40,06%
AB1(70% AB + 30% AE)	10,13	5,50	45,71%
AB3 (100 % AB)	11,57	6,35	45,12%

Em experimentos realizados por Barros et. al. (2009), em argamassas simples de cimento e areia de quartzo fina na proporção em massa 1:3, com adição de polímeros na proporção polímero/cimento variando de 0,10 a 0,15 (em massa), os valores obtidos na idade de 28 dias, para os Módulos de Elasticidade Estáticos foram de 13 a 28 GPa. Os valores dos Módulos de Elasticidade Dinâmicos foram de 17 a 27 GPa e a diferença em porcentagem entre o M.E.E. e o M.E.D. alternaram entre 4% e 35%.

Silva (2006), utilizando argamassas mistas com a proporção em volume de 1 : 1 : 6, obteve em ensaios realizados aos 371 dias o Módulo de Elasticidade Dinâmico com o valor de 4,28 GPa para argamassas preparadas com areia de extração e 4,08 GPa para argamassas com areia de britagem de rochas calcárias.

#### 4.3 Absorção de Água, Índice de Vazios, Massa Específica Seca, Saturada e Real

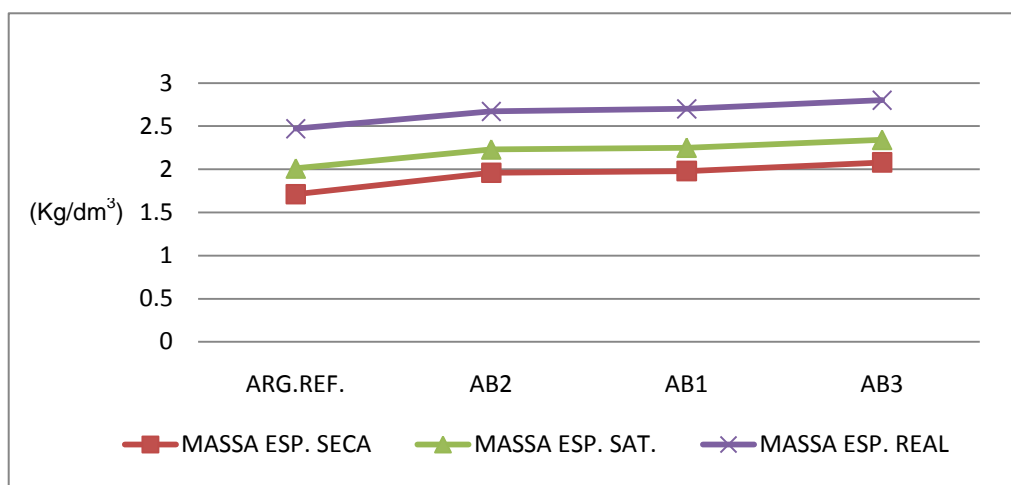
Os procedimentos adotados para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa são os descritos na norma NBR 9778:05 e foram utilizados cinco corpos de prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm. Os resultados constam na Tabela 29.

As tabelas completas, com os resultados individuais para cada corpo de prova, estão expostas no Apêndice A.

**Tabela 29** – Resultado dos ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica

ENSAIOS	ARGAMASSAS			
	AR	AB2	AB1	AB3
ABSORÇÃO	17,92	12,06	13,36	12,52
ÍNDICE DE VAZIOS	30,49	26,47	26,51	26,08
MASSA ESP. SECA	1,71	1,96	1,98	2,08
MASSA ESP. SAT.	2,01	2,23	2,25	2,34
MASSA ESP. REAL	2,47	2,67	2,7	2,8

Na Figura 37, estão representados em gráfico os valores das massas específicas seca, saturada e real, para as argamassas estudadas.



**Figura 37** – Massa específica seca, saturada e real

Ao observar o gráfico da Figura 37, pode-se verificar que as curvas das massas específicas seca, saturada e real, têm exatamente a mesma configuração. Na Tabela 29 verifica-se que os valores das massas específicas de um modo geral são inversamente proporcionais ao do Índice de vazios.

A absorção de água é diretamente proporcional ao índice de vazios, o que também pode ser observado na Tabela 29.

As diferenças significativas para as massas específicas seca, saturada e real (níveis de significância variando de 0,1% a 5%) estão entre a argamassa de referência e as demais misturas, e, entre AB3 e as demais misturas. A mistura AB1 não difere significativamente de AB2.

Relativo à Absorção, as diferenças significativas (nível de significância de 1%, aproximadamente) estão entre a argamassa de referência e as demais misturas. As argamassas AB1, AB2 e AB3 não diferem significativamente entre si.

Não existe diferença significativa, entre os níveis de argamassa, para a variável índices de vazios, (p-valor > 10%).



#### 4.4 Medições das fissuras dos revestimentos das argamassas

A medição das fissuras foi realizada na idade de 31 dias. O comprimento linear total foi determinado para cada face da parede e para cada tipo de argamassa. Os quadros de revestimentos têm as dimensões de 1,00m de altura e 1,00 m de largura.

Na Tabela 30, estão apresentados os resultados.

**Tabela 30** – Contagem das fissuras

Argamassa	Composição do agregado miúdo	Comprimento linear/área (m/m <sup>2</sup> )		Intensidade da Fissuração
		Face Norte	Face Sul	
AR	100% AE.	0	0	Baixa
AB2	50% AB E 50% AE	0,52	0,79	Média
AB1	70% AB. E 30% AE.	1,34	3,42	Alta
AB3	100%	2,93	1,11	Alta

Ao observar os resultados da Tabela 30, verifica-se que ocorre um comprimento linear de fissuras mais elevado para as argamassas preparadas com agregados miúdos que apresentam maior quantidade de areia de britagem. Tal fato pode ser explicado pela presença de um teor de partículas finas mais elevado.

A maior quantidade de material pulverulento presente na areia de britagem ocasiona um aumento das partículas finas na mistura do agregado miúdo, conforme pode ser observado na Tabela 31.

**Tabela 31** – Material pulverulento nas areias

Material	Material Pulverulento % retida
Areia de extração - média	0,11
AB2 (50% AB + 50% AE)	2,95
AB1 (70% AB + 30% AE)	5,15
Areia de britagem – NAB.	5,90

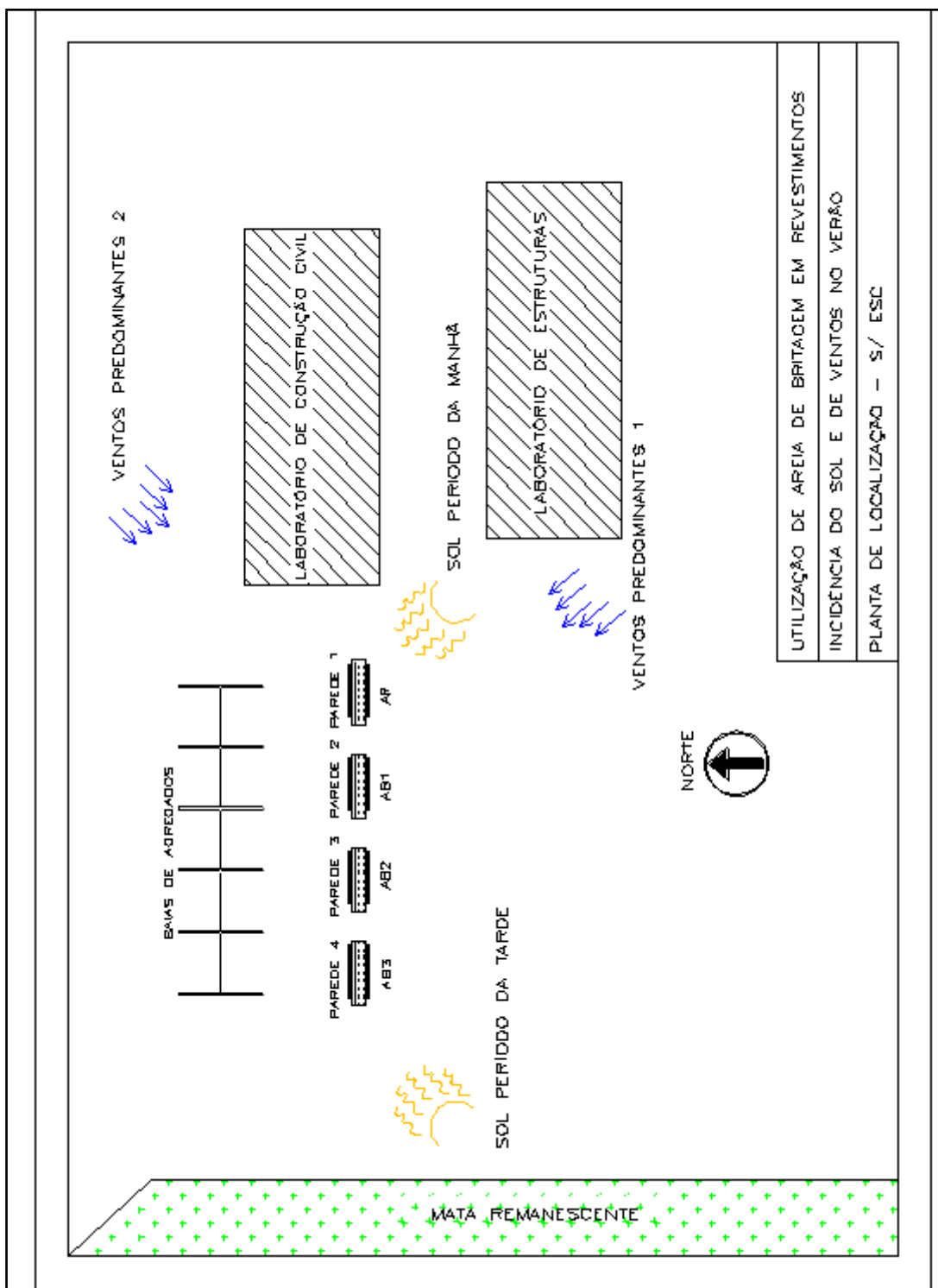
Ensaio realizado por Paes *et. al.* (1999), demonstraram que maiores quantidades de finos adicionados à argamassa, ocasionam uma maior fissuração, embora não ocorra necessariamente o aumento da água unitária para a obtenção da trabalhabilidade ideal.

Valores obtidos por Silva (2006), para o ensaio de fissuração em argamassas utilizando a mesma proporção dos constituintes em volume, foram de 32,5 cm para argamassas preparadas com areia natural de extração e 177,5 cm para argamassas com areia de britagem de rochas calcárias.

No entanto, Silva relata que as paredes para o ensaio de fissuração foram confeccionadas no interior de uma sala do laboratório, sendo que a janela foi vedada para evitar a incidência do sol.

Os meses da realização dos ensaios de fissuração, do presente trabalho, foram novembro, dezembro e janeiro que correspondem ao clima de verão.

A incidência do sol e de ventos na região de Londrina é apresentada na Figura 38.



**Figura 38** – Incidência de Raios Solares e de Ventos no verão

Nas Figuras 39, 40, 41, 42, 43 e 44, são mostradas as paredes nas quais foram realizados os ensaios de fissuração.



**Figura 39** – Face sul das paredes para o ensaio de fissuração



**Figura 40** – Face norte das paredes para o ensaio de fissuração



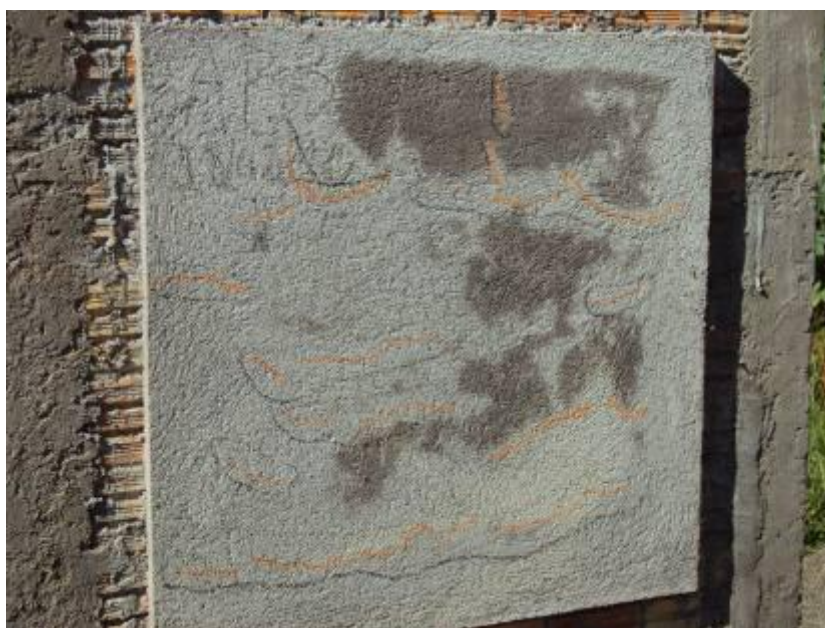
**Figura 41** – Revestimento com a argamassa de referência



**Figura 42** – Revestimento com a argamassa AB1



**Figura 43** - Revestimento com a argamassa AB2



**Figura 44** – Revestimento com a argamassa AB3

#### 4.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os procedimentos adotados para a determinação da resistência à tração na flexão são descritos na norma DIN EM 1015 – Part 11:99, foram utilizados

três corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x100 mm para cada argamassa. Os resultados aos 43 dias de idade constam na Tabela 32.

As tabelas completas, com os resultados individuais para cada corpo de prova, estão expostas no Apêndice F.

**Tabela 32** – Resistências à tração na flexão

ARGAMASSAS	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	C. V. (%)
ARG.REF.(AREIA EXTRAÇÃO)	0,84	0,0593	7,04
A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	1,21	0,1387	11,47
A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	1,19	0,0866	7,28
A.B. 3 (100% A.B.)	1,27	0,0291	2,29

Ao verificar os resultados mostrados na Tabela 32, é possível observar que ocorre acréscimo do valor da resistência à tração na flexão para as argamassas preparadas com maior quantidade de areia de britagem. A exemplo do que acontece com a resistência à compressão, isto se deve a um aumento gradual da densidade de massa aparente no estado endurecido, motivado pela maior massa específica e maior teor de material pulverulento apresentados pela areia de britagem, que leva a obtenção de um produto compactidade mais elevada.

Valores obtidos por Silva (2006), utilizando a mesma proporção em volume dos constituintes da argamassa, foram de 0,78 MPa para argamassa preparada com areia natural de extração e 1,07 MPa para argamassa com areia britada. Porém vale ressaltar que nos seus experimentos Silva utilizou agregados miúdos de origem calcária.

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as conclusões relativas ao estudo da granulometria e aos ensaios das argamassas no estado fresco, estado endurecido ou em fase de uso. Também são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

### Estudo da Granulometria

No decorrer dos estudos relativos a utilização da areia de britagem de rochas basálticas no preparo de argamassas de revestimento, verificou-se a dificuldade em avaliar o agregado miúdo no que se refere a composição granulométrica, visto que não existe até o presente momento uma norma brasileira que estabeleça os requisitos exigíveis para as areias utilizadas em argamassas.

Conforme observado no item 2.1.5.2 a norma brasileira NBR 7211:09 destinada ao preparo de concretos, estabelece limites para a zona ótima e utilizável, que se comparados aos especificados pelas normas estrangeiras mencionadas (ASTM, BS e IS) que determinam os requisitos para os agregados miúdos utilizados exclusivamente em argamassas, demonstram não ser adequados para selecionar a areia a ser empregada com esta finalidade.

Ao iniciar este trabalho, estabeleceu-se como referência para o agregado miúdo a areia média comercializada em Londrina e tradicionalmente utilizada na região como um dos componentes das argamassas de revestimento. Apesar de ser razoável como método empírico, verificou-se a dificuldade no momento de estabelecer comparações ou de adotar ou justificar alguns procedimentos, tais como o de adequar a composição granulométrica da areia de britagem, ou mesmo na ocasião em que se decidiu peneirar a areia de britagem utilizando a malha # 2,4 mm.

Para a facilitação de novos estudos que venham a ser realizados, procurando possibilitar a utilização da areia de britagem, é necessária uma norma específica para agregados miúdos destinados ao preparo de argamassas, a exemplo do que já acontece com o concreto no território nacional, ou com as argamassas em alguns países que já possuem a norma exclusiva para este fim.



### **Argamassa no estado fresco**

O aumento da proporção da areia de britagem nas misturas do agregado miúdo utilizado no preparo da argamassa reduziu a quantidade de água necessária para obter o mesmo índice de consistência.

Ocorreu também a redução nos valores da água exsudada com o aumento da areia de britagem nas misturas, sendo que este resultado pode ser explicado pela presença crescente do material pulverulento contido na areia de britagem e pela redução da água de amassamento.

Os valores da densidade de massa da argamassa fresca crescem com o aumento gradual da presença da areia de britagem na argamassa, sendo menor a variação entre as areias compostas e mais significativas a variação entre a argamassa de referência e areias compostas e entre estas e a areia de britagem.

### **Argamassa no Estado Endurecido**

As resistências aos esforços mecânicos têm valores maiores nas argamassas que são preparadas com a presença de areia de britagem nas misturas de agregado miúdo.

A densidade de massa no estado endurecido aumenta com o acréscimo da proporção de areia de britagem na mistura do agregado miúdo utilizado no preparo das argamassas.

De forma análoga, cresce o módulo de elasticidade, seja obtido através de estimativas teóricas ou dos ensaios estático e dinâmico.

As massas específicas seca, saturada e real apresentam maiores valores com o acréscimo gradual da areia de britagem. Os valores do índice de vazios e absorção de água são inversamente proporcionais aos das massas específicas.

### **Argamassa Aplicada ou em fase de uso**

As argamassas preparadas apenas com areia de britagem ou contendo areia de britagem nas misturas do agregado miúdo, manifestaram a incidência de fissuras.

As argamassas AB3 com 100% de areia de britagem e AB1 com 70% de areia de britagem apresentaram uma alta intensidade de fissuração, ou seja, maior que 0,90 m/m<sup>2</sup>. A argamassa AB2 com 50% de areia de britagem apresentou intensidade de fissuração média, entre 0,30 m/m<sup>2</sup> e 0,90 m/m<sup>2</sup>.

Na argamassa de referência, preparada com areia de extração, não ocorreu fissuração. Além do teor de material pulverulento, outros fatores podem ter influenciado a incidência de fissuras, tais como: a forma e textura das partículas, o módulo de elasticidade, o proporcionamento de materiais adotado, a densidade da argamassa no estado fresco e procedimentos de execução.

### **Desempenho das argamassas**

As argamassas com areia de britagem ou com o agregado miúdo contendo misturas de areia de britagem e areia de extração apresentam melhor desempenho no que se refere ao teor de água de amassamento, resistências mecânicas, exsudação, índice de vazios e absorção de água. Porém mostram um comportamento inferior à argamassa com areia de extração nos seguintes requisitos: densidade de massa no estado fresco e fissuração.

A análise estatística de significância demonstrou que os resultados dos ensaios realizados nas argamassas AB1 (70% de areia de britagem e 30% de areia de extração) e AB2 (50% de areia de britagem e 50% de areia de extração), não diferem significativamente entre si em algumas propriedades estudadas.

Porém foi na incidência de fissuras que a argamassa AB2 apresentou um resultado bem mais favorável em relação a argamassa AB1, o que demonstra a influência expressiva do agregado miúdo no desempenho da argamassa aplicada. Esta influência em sua essência, esta relacionada como o teor de finos e provavelmente com a forma e a textura das partículas.

Os resultados obtidos mostram que é viável a substituição da areia de extração pela areia de britagem de rochas basálticas, para uma proporção de 50% de areia de britagem e 50% de areia de extração.

Sendo necessários estudos para melhorar a granulometria e a forma das partículas da areia de britagem, buscando viabilizar sua utilização sem a necessidade da composição com a areia de extração.

## **Sugestões para trabalhos futuros**

O encarecimento da areia de extração, que tem ocorrido gradualmente em razão da escassez desse produto no mercado consumidor, continuará impulsionando na busca de alternativas que possibilitem a substituição deste produto.

Novos estudos precisam ser realizados para possibilitar o emprego da areia de britagem no preparo de argamassas de revestimento, de forma a conseguir o desempenho adequado na sua aplicação e uso.

As sugestões para futuros trabalhos consistem em melhorar a granulometria da areia de britagem e a forma das partículas, buscando viabilizar a sua utilização sem a necessidade de sua composição com a areia de extração.

Em caráter provisório avaliar o comportamento de argamassas com o agregado miúdo composto com proporções menores de areia de britagem, por exemplo: 30% de areia de britagem e 70% de areia de extração.

Verificar outras composições no preparo de argamassas de revestimento com areia de britagem ou utilização de aditivos, procurando reduzir o módulo de elasticidade.

Estudar as causas da fissuração procurando entender com profundidade qual a influência do teor de finos, do módulo de elasticidade, da forma das partículas e de processos de execução na incidência de fissuras nas argamassas de revestimento.

## REFERÊNCIAS

- AHN, N. S. **An experimental study on the guidelines for using higher contents of aggregate micro fines in portland cement concrete.** Dissertation. The University of Texas at Austin, 2000.
- ADDLESON, L. **Fallos em los edificios.** Madrid: Herman Blume, 1986.
- ALMEIDA, S. L. M.; BISPO, L. H. O. **Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras:** análises de ensaios. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2003. Boletim Técnico.
- ALMEIDA, S. L. M.; CUNHA, E. R.; TAVARES, L. M. M. **Desempenho do classificador pneumático sturtevant na produção de areia artificial.** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. Boletim Técnico.
- ALMEIDA, S. L. M. et al. **Produção de areia manufaturada em usina piloto.** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005.
- ARANDIGOYEN M.; ALVAREZ J. I. Pore struture and mechanical properties of cement-lime mortars. Departamento de Química, Universit of Navarra, Pamplona, **Science Direct, Cemente and Concrete Research**, v. 37, Spain. 2005.
- ARAÚJO, G. A. B. C. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (AL) para revestimentos.** Dissertação (Mestrado) - UFRGS, Porto Alegre, 1995.
- ARAÚJO, G. S; BICALHO, K. V.; TRISTÃO, F. A. **Determinação da forma das areias através da análise de imagens.**São Paulo, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) – Guia de utilização do cimento Portland. **Boletim Técnico**, BT-106, São Paulo, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT : **NBR NM 45:2002** – Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 2002.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 248:2003:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5735:1991:** Cimento Portland de alto forno – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5736:1991:** Cimento Portland pozolânico – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118:2003:** Projeto e execução de obras de concreto simples, armado e protendido – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:2009**: Agregados para o concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215:1996**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251:2008**: Agregados no estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 2008

\_\_\_\_\_. **NBR 8522:2008**: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva de tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 9935:2005**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776:1987**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778:2005**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578:1991**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 13176: 2005**: Ensaio da mesa de consistência manual – Flow Table. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276:2005**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278:2005**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279:2005**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280:2005**: Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281:1995**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 1995..

\_\_\_\_\_. **NBR 13749:1996**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificações. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630:2008**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. **Exata**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 223-230, jul./dez. 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C 144-04. **Standard specification for aggregate for masonry mortar**. USA: American Society for Testing and Materials, 2004.

AZEREDO, Hélio Alves de. **Dosagens das argamassas empregadas na construção de edifícios**. São Paulo, EPUSP, 1978, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – CPGECC/Escola Politécnica da USP.

BALLESTER M. A. B.; LIMON T. G. **Restauracion de edificios monumentales**. Madrid, 1994.

BARBOSA, M. T. G.; COURA, C. V. G.; MENDES L. O. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 51-60, out./dez. 2008.

BARROS, M. M. S. B.; SILVA, F. B.; MONTE R. **Módulo de deformação de argamassas**: Avaliação dos métodos de ensaio e principais fatores intervenientes. Curitiba, 2009.

BERN, RICHARD. Agregados cúbicos: Produção de agregados de alta qualidade com impactadores e britadores cônicos. **Revista Areia e Brita**, São Paulo, n.1, p. 13-20, maio, 1997.

BONIN, L. C.; FEUERHARMEL, C.; CARNEIRO, A. M. P. **Estudo da influência da distribuição granulométrica da areia na trabalhabilidade da argamassa**. Vitória, 1999.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI) – **BS 812**: part 1. Testing aggregates, sampling and size. London, 1975.

BS: 4551. **British standard methods of testing mortars, screeds and plasters**. UK: British Standards Institution, London, 1980.

BS 5262. **External rendered finishes**. British Standards Institution, London, 1976.

CALHAU, E. L.; TRISTÃO, F. A. **Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. Vitória, 1999.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. O saibro nas argamassas de assentamento - Estudo de trabalhabilidade e comportamento no estado endurecido. In: INTERNACIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5th, Florianópolis, 1994. **Proceedings...** Florianópolis, 1994. p. 84 – 93.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação. Tese (Doutorado em engenharia civil) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1996.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. SBTA, Brasília, 2001.

CARDOSO, F. A. et al. **Avaliação da influência de parâmetros experimentais do método “Squeeze flow” aplicado a argamassas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO M. A.; JOHN, VANDERLEY M. A massa unitária como parâmetro de análise das características de argamassa. **Ambiente Construído**, São Paulo, v.1, n.2, p. 37-44, jul/dez. 1997

CARNEIRO, A. M. P. CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. (Boletim Técnico, n. 237).

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades das argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. Tese (Doutorado) – São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999.

CARNEIRO, A. M. P.; MATTOS, L. R. S.; MOLIN, D. C. C. **Caracterização das Argamassas para revestimento externo utilizadas em Belém, PA (Brasil): estudo e comportamento no estado fresco**. Engenharia Civil, n. 15, 2002.

CARNEIRO, A. M. P. et al. **Influência da cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia**. 2003.

CEB, FIP Model Code 1990, Final Draft, Bulletin D'Information, Paris, n. 203-2005, 1990.

CINCOTTO, Maria Alba; MARQUES, João Carlos, HELENE, Paulo Roberto do Lago. Propriedades das argamassas cimento: cal: areia. In: SEMINÁRIO SOBRE ARGAMASSAS, São Paulo, 1985. **Anais...** São Paulo, 1985.

CINCOTTO, M. A.; SILVA M. A. C.; CARASEK H. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. **IPT**, n. 2378, 1995.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. **Discussão dos métodos de determinação da massa unitária da areia para argamassas**. Vitória, 1999.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COWPER A. D. **Lime and lime mortars**, Donhead Ed., 1927, reprinted by Building Research Establishment Ltd. in 1998.

CULTRONE G.; SEBASTIAN E.; HUERTAS M. O. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural changes. Department of Mineralogy and Petrology, University of Granada. **Science Direct, Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 2278-2289, 2005.

DAVISON, J. I. **Masonry mortar**. National Research Council of Canada. Division of Building Research. 1974.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. **Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar**. Berlin, 1999.

FAGNELLO, A. M. P. **Rejeitos de britagem de origem basáltica: caracterização e utilização em solo-cimento na região de Londrina – Pr.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

GOMES, A. de O. **Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas. Comunidade da Construção – UFBA**, 2008. Disponível em: <<http://www.win2pdf.com>>. Acesso em: 12 maio 2010.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil**. São Paulo: Pini, 2002.

I.S. 2116-80 (reaffirmed 1998). **Indian standard specification for sand for masonry mortars**. New Delhi, Índia: Bureau of Indian Standards, 1998.

ISAIA, G. C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, São Paulo: Ippis, 2005.

\_\_\_\_\_. **Materiais de construção civil e princípios de ciência de engenharia dos materiais**. São Paulo, 2007. 2 v.

JOHN, V. **O papel da cal na longevidade das argamassas**. São Paulo: : ABCP, 2008.

KLEIN, N. S. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

LANAS J.; ALVAREZ J. I. **Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior**. Pamplona: University Navarras, 2002.

MARGON, P. V. **Influência do uso das cinzas de carvão mineral de termelétricas em argamassas de revestimento: dosagem por curvas granulométricas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MR-6 RILEM. **International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures**. Tendency of water separate from mortars. France: RILEM, 1982.

MARTINELLI, F. A.; HELENE, P. R. L. Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias. **Boletim técnico da USP**, v. 47, 1991. p. 2-11.

METHA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, , 2008.



METSO MINERALS INC. **Manual de Operação e Manutenção do Impactador V.S.I.** Barmak, 2009.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto.** 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

PAES, I. N. L. et al. **O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento.** Vitória, 1999.

PANDOLFO, L. M. et al. **Propriedades das argamassas de revestimento produzidas com areia natural e areia de basalto.** Florianópolis, 2005.

PILEGGI, R. G. et al. **Influência dos polímeros MHE e EVA na viscosidade elongacional de argamassas colantes avaliados pelo método Squeeze-Flow.** Escola Politécnica da USP e Universidade do Amazonas, 2000.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, v. 233, 1999.

REDDY, B. V. V; GUPTA A. **Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry.** New Delhi: Indian Institute of Science, 2007.

RODRIGUES, E. **Material em Construção.** S.B.E.A., 2004.

ROSELLO, M. T. V. **Morteros de cemento para albañileria.** Madrid, 1976.

SABBATINI, Fernando Henrique. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil, **Boletim Técnico**, São Paulo, v. 2, 1994.

SAMPAIO, R. G.; BASTOS, P. K. X. **Estudo da granulometria de areia de britagem para argamassas de revestimento.** Curitiba, 2009.

SELMO, Sílvia Maria de Souza. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios.** São Paulo, EPUSP, 1989, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – CPGCEC/Escola Politécnica da USP.

SELMO, S. M. S.; BUCHER, H. R. E. O saibro na formulação de argamassas de assentamento e revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 2, São Paulo, 1990. **Anais...** São Paulo, 1990. p. 477 – 496.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELLI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. In: SBTA, 4., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p.11-22.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** Dissertação (Mestrado) - UFPR, Curitiba, 2006.

SILVA, J.; BRITO J. de; VEIGA M. R. Avaliação do comportamento à água de argamassas com incorporação de agregados cerâmicos. **Engenharia Civil**; Lisboa, n. 28, 2007.

SILVA, F. G. S. S.; BAUER E. **Avaliação da fissuração em argamassas**. Curitiba, 2008.

TELBALDI, A. A. et al. **Análise de parâmetros tecnológicos de argamassas industrializadas utilizadas na projeção mecanizada**. Rio de Janeiro: Laboratório de Engenharia Civil; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2001.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades mecânicas das argamassas**. Goiânia, 1995.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado) - UFSC, 1999.

TRISTÃO, F. A. et al. **Uso de areia industrial de basalto em argamassas de revestimento**. Florianópolis, 2005.

VALVERDE, F. M. **Agregados para a construção civil: Balanço Mineral Brasileiro**, São Paulo: Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção, 2001.

VARGAS L. J.; COMBA M. G. J. Estudio teórico y experimental sobre morteros para muros resistentes de fabrica de ladrillo para la actualización de la Norma Básica. Mayo, 201 – 1972. **Materiales de Construcción**, Madrid, v. 34, n. 196, p. 3-41, 1984.

WINNEFELD, F.; BÖTTER K. G. How clayey fines in aggregates influence the properties of lime mortars. **Materials and Structures**, v. 39, p. 433-443, 2006.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

### Resultados dos Ensaio de Absorção de Água, Índice de vazios e Massa – NBR 9778:2005.

Tabela I – Massa da amostra seca em estufa – Idade: 56 dias

ARGAMASSA	CORPO DE PROVA / MASSA DA AMOSTRA SECA (ms)							MÉDIA	DESVIO PADRÃO	C. V. (%)
	1	2	3	4	5	6	7			
ARG. REF.	367,85	361,75	358,11	351,12	349,12	345,78	360,68	356,34	7,90	2,22
AB1	399,11	397,72	396,86	401,47	398,36	x	x	398,70	1,75	0,44
AB2	394,57	377,28	386,66	395,59	398,51	x	x	390,52	8,60	2,20
AB3	412,86	409,14	406,59	409,09	417,36	x	x	411,01	4,20	1,02

Tabela II – Massa da amostra saturada, após imersão e fervura – Idade: 56 dias

ARGAMASSA	CORPO DE PROVA / MASSA DA AMOSTRA SATURADA APÓS FERVURA (msat)							MÉDIA	DESVIO PADRÃO	C. V. (%)
	1	2	3	4	5	6	7			
ARG. REF.	420	410	430	420	420	420	420	420	5,77	1,37
AB1	449,60	451,40	450,40	455,30	452,20	x	x	451,78	2,20	0,49
AB2	448,11	428,21	439,61	448,71	450,81	x	x	443,09	8,36	1,89
AB3	463,60	461,00	459,00	461,10	467,60	x	x	462,46	3,30	0,71

Tabela III – Massa da amostra saturada e imersa em água – Idade: 56 dias

ARGAMASSA	CORPO DE PROVA / MASSA DA AMOSTRA SATURADA E IMERSA (mi)							MÉDIA	DESVIO PADRÃO	C. V. (%)
	1	2	3	4	5	6	7			
ARG. REF.	220	200	220	210	210	210	210	211,43	6,90	3,26
AB1	250,80	251,30	251,40	250,00	251,60	x	x	251,02	0,64	0,26
AB2	247,66	235,39	242,44	247,54	249,37	x	x	244,48	5,70	2,33
AB3	266,20	265,00	262,30	265,20	267,20	x	x	265,18	2,69	1,01

Tabela IV – Resultados dos ensaios de absorção, índice de vazios e massa – Idade: 56 dias.

ARGAMASSA	ENSAIOS	CORPOS DE PROVA / RESULTADOS							MÉDIA
		1	2	3	4	5	6	7	
ARG. REF.	ABSORÇÃO	14,18	13,34	20,07	19,62	20,30	21,46	16,45	17,92
	ÍNDICE DE VAZIOS	26,07	22,98	34,23	32,80	33,75	35,34	28,25	30,49
	MASSA ESP. SECA	1,84	1,72	1,70	1,67	1,66	1,65	1,72	1,71
	MASSA ESP. SATURADA	2,10	1,95	2,05	2,00	2,00	2,00	2,00	2,01
	MASSA ESP. REAL	2,49	2,24	2,59	2,49	2,51	2,56	2,39	2,47
AB1	ABSORÇÃO	12,65	13,50	13,49	13,41	13,77	x	x	13,36
	ÍNDICE DE VAZIOS	25,39	26,83	26,90	26,22	27,20	x	x	26,51
	MASSA ESP. SECA	2,01	1,99	1,99	1,95	1,98	x	x	1,98
	MASSA ESP. SATURADA	2,26	2,26	2,26	2,22	2,25	x	x	2,25
	MASSA ESP. REAL	2,69	2,72	2,73	2,65	2,71	x	x	2,70
AB2	ABSORÇÃO	13,57	13,49	13,69	13,42	13,12	x	x	12,06
	ÍNDICE DE VAZIOS	26,71	26,41	26,85	26,40	25,96	x	x	26,47
	MASSA ESP. SECA	1,97	1,96	1,96	1,97	1,98	x	x	1,96
	MASSA ESP. SATURADA	2,23	2,22	2,23	2,23	2,24	x	x	2,23
	MASSA ESP. REAL	2,69	2,66	2,68	2,67	2,67	x	x	2,67
AB3	ABSORÇÃO	12,29	12,67	12,89	12,71	12,04	x	x	12,52
	ÍNDICE DE VAZIOS	25,70	26,46	26,64	26,55	25,07	x	x	26,08
	MASSA ESP. SECA	2,09	2,09	2,07	2,09	2,08	x	x	2,08
	MASSA ESP. SATURADA	2,35	2,35	2,33	2,35	2,33	x	x	2,34
	MASSA ESP. REAL	2,74	2,84	2,82	2,84	2,78	x	x	2,80

## APÊNDICE B

### Resultados dos Ensaio de Densidade de Massa no estado endurecido – NBR 13280:05

Tabela V – Densidade de Massa – Idade: 28 dias

DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO - NBR 13280:05      IDADE: 28 DIAS									
ARGAMASSA	C.P.	Ø (cm)	H (cm)	VOLUME (cm <sup>3</sup> )	MASSA (g)	DENSIDADE DE MASSA (g/cm <sup>3</sup> )	DENSIDADE MÉDIA	DESVIO PADRÃO	C.V. (%)
Arg. Ref. (100% A.E.)	1	5,00	10,05	197,33	374,19	1,90	1,89	0,02	1,09
	2	5,01	9,95	195,16	371,76	1,90			
	3	5,01	10,00	197,14	366,92	1,86			
	4	5,00	10,10	198,31	374,07	1,89			
	5	5,00	10,00	196,35	372,18	1,89			
A.B.1 (70% A.B. + 30% A.E.)	1	5,00	10,10	198,31	420,13	2,12	2,10	0,01	0,62
	2	5,00	10,05	199,29	417,51	2,09			
	3	5,00	10,05	199,29	416,10	2,09			
	4	5,00	10,00	199,29	419,40	2,10			
	5	5,00	10,00	199,29	417,33	2,09			
A.B.2 (50% A.B. + 50% A.E.)	1	5,00	10,10	198,31	403,06	2,03	2,00	0,03	1,48
	2	5,00	10,05	198,31	396,62	2,00			
	3	5,00	10,05	197,33	397,69	2,01			
	4	5,04	10,05	200,50	398,05	1,98			
	5	5,04	10,00	199,50	390,05	1,95			
A.B.3 (100% A.B.)	1	5,02	10,05	201,50	427,66	2,15	2,13	0,0025	1,17
	2	5,04	10,10	201,50	427,18	2,12			
	3	5,05	10,10	202,30	422,80	2,09			
	4	5,00	10,10	198,31	422,40	2,13			
	5	5,00	10,10	198,31	426,37	2,15			

## APÊNDICE C

### Resultados dos Ensaio de Resistência a Compressão aos 7, 28 e 56 dias – NBR 13279:05

Tabela VI – Resistência à Compressão aos 7 dias

ARGAMASSA	RESISTÊNCIA (MPa.)					MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	C.P. 1	C.P. 2	C.P. 3	C.P. 4	C.P. 5			
ARG.REF. (AREIA EXTRAÇÃO)	1,85	1,85	1,67	1,85	1,82	1,81	0,0783	4,32
A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	1,85	2,20	2,05	1,97	1,97	2,01	0,1289	6,41
A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	1,94	2,09	1,83	1,82	2,15	1,97	0,1498	7,61
A.B. 3 (100% A.B.)	2,13	2,32	2,16	2,41	2,42	2,29	0,1367	5,97

Tabela VII – Resistência à compressão aos 28 dias

ARGAMASSA	RESISTÊNCIA (MPa.)					MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	C.P. 1	C.P. 2	C.P. 3	C.P. 4	C.P. 5			
ARG.REF.(AREIA EXTRAÇÃO)	1,97	2,08	1,96	1,85	1,85	1,94	0,0963	4,96
A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	2,32	2,32	2,32	2,20	2,43	2,32	0,0813	3,51
A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	2,20	2,43	2,43	2,08	2,19	2,27	0,1570	6,92
A.B. 3 (100% A.B.)	2,42	2,51	2,39	2,32	2,43	2,42	0,0548	2,26

Tabela VIII – Resistência à compressão aos 56 dias

ARGAMASSA	RESISTÊNCIA (MPa.)					MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
	C.P. 1	C.P. 2	C.P. 3	C.P. 4	C.P. 5			
ARG. REF. (AREIA EXTRAÇÃO)	2,30	2,08	2,29	2,08	2,32	2,21	0,12	5,56
AB 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	2,55	2,25	2,43	2,48	2,55	2,45	0,25	10,20
AB 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	2,05	2,25	2,16	2,32	2,07	2,38	0,04	1,72
AB 3 (100% A.B.)	2,55	2,43	2,42	2,53	2,55	2,50	0,07	2,80

## APÊNDICE D

### Resultados dos Ensaio de Módulo de Elasticidade Estático aos 28 e 56 dias – NBR 8522:03

Tabela IX – Módulo de elasticidade estático aos 28 dias

ARG.	C. P.	MÓD. ELAST. ESTÁT. (GPa)		DESVIO PADRÃO	C. V. (%)
		UNIT.	MÉDIA		
ARG. REF.	1	3,1	4,00	0,79	19,75
	2	4,3			
	3	4,6			
AB1	1	5,1	5,50	0,53	9,62
	2	5,3			
	3	6,1			
AB2	1	5,5	5,57	0,10	1,72
	2	5,5			
	3	5,7			
	4	5,6			
AB3	1	4,9	6,35	1,02	16,06
	2	6,7			
	3	6,5			
	4	7,3			

Tabela X – Módulo de elasticidade estático aos 56 dias

ARG.	C.P.	MÓDULO ELAST. ESTÁT.(GPa)		DESVIO PADRÃO	C. V. (%)
		UNIT.	MÉDIA		
ARG. REF.	1	5,50	5,25	0,31	5,90
	2	5,40			
	3	5,30			
	4	4,80			
AB1	1	5,70	5,77	0,60	10,45
	2	5,20			
	3	6,40			
AB2	1	5,50	5,67	0,38	6,68
	2	5,40			
	3	6,10			
AB3	1	6,20	6,20	0,83	13,39
	2	5,30			
	3	7,30			
	4	6,00			



## APÊNDICE E

### Resultados dos Ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico aos 28 e 56 dias – NBR 15630:08

Tabela XI – Módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias

ARGAMASSA	CP.	h (cm)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ médio (g/cm <sup>3</sup> )	TEMPO DE PERCURSO ONDA ( $\mu$ s)		VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO (mm/ $\mu$ s)	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE MÉDIO (GPa)	DESVIO PADRÃO	C. V. (%)
					TR	RT					
ARG. REF.	1	10.05	1.90	1.888	43,80	44,10	2,28	8,88	8,68	0,35	4,00
	2	9,95	1,90		44,40	44,30	2,23	8,50			
	3	10,00	1,86		45,20	44,90	2,22	8,25			
	4	10,10	1,89		43,40	43,70	2,32	9,15			
	5	10,00	1,89		44,50	44,40	2,25	8,61			
AB1	1	10,10	2,12	2,098	42,90	42,80	2,36	10,63	10,13	0,30	2,95
	2	10,05	2,09		44,10	44,20	2,30	9,95			
	3	10,05	2,09		43,60	43,70	2,32	10,12			
	4	10,00	2,10		43,50	43,70	2,31	10,08			
	5	10,00	2,09		43,90	44,00	2,29	9,86			
AB2	1	10,10	2,03	1,994	43,50	43,40	2,32	9,83	9,51	0,31	3,27
	2	10,05	2,00		45,10	44,80	2,25	9,11			
	3	10,05	2,01		43,60	43,70	2,30	9,57			
	4	10,05	1,98		43,20	43,20	2,33	9,67			
	5	10,00	1,95		43,30	43,40	2,31	9,36			
AB3	1	10,05	2,15	2,128	40,70	40,70	2,47	11,80	11,57	0,65	5,69
	2	10,10	2,12		41,60	41,70	2,42	11,17			
	3	10,10	2,09		42,30	42,90	2,37	10,56			
	4	10,10	2,13		40,00	40,20	2,52	12,17			
	5	10,10	2,15		40,70	40,10	2,50	12,10			

Tabela XII – Módulo de elasticidade dinâmico aos 56 dias

ARGAMASSA	CP.	h (cm)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ médio (g/cm <sup>3</sup> )	TEMPO DE PERCURSO ONDA (µs)		VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO (mm/µs)	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE MÉDIO (GPa)	DESVIO PADRÃO	C. V. (%)
					TR	RT					
ARG. REF.	1	10.1	1.85	1.832	41.9	41.8	2.41	9.67	10.36	0.70	6.78
	2	10.00	1.82		40.1	40.3	2.49	10.15			
	3	10.04	1.85		39.0	39.1	2.57	11.00			
	4	10.02	1.80		38.1	38.1	2.63	11.00			
	5	9.98	1.84		41.2	41.0	2.43	11.20			
AB1	1	10	2.06	2.046	37.7	37.4	2.66	13.12	11.52	1.27	11.05
	2	9.99	2.04		41.0	41.4	2.42	10.75			
	3	10.1	2.06		38.6	38.7	2.61	12.63			
	4	10	2.04		42.3	42.4	2.36	10.22			
	5	10	2.03		41.3	40.8	2.44	10.88			
AB2	1	10.05	1.97	1.992	40.6	40.6	2.47	10.82	11.41	0.69	6.05
	2	10.02	1.99		39.8	39.5	2.53	11.46			
	3	10.10	2.00		40.0	40.3	2.52	11.43			
	4	10.01	2.01		38.1	38.1	2.63	12.51			
	5	10.00	1.99		40.6	40.6	2.46	10.84			
AB3	1	9.95	2.10	2.134	38.6	38.7	2.57	12.48	13.00	0.34	2.65
	2	9.92	2.15		37.9	37.5	2.63	13.38			
	3	10.10	2.16		39.2	39.4	2.57	12.84			
	4	10.00	1.12		38.1	38.1	2.62	13.10			
	5	9.90	2.14		38.0	37.6	2.62	13.22			

## APÊNDICE F

Resultados dos Ensaios de Resistência Àtração na Flexão – NORMA DIN EN 1015, parte 11:99

ARGAMASSAS	C.P. 1	C.P. 2	C.P. 3	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
ARG. REF.(AREIA EXTRAÇÃO)	0,85	0,89	0,77	0,84	0,0593	7,04
A.B. 1 (70% A.B. + 30% A.E.)	1,17	1,36	1,09	1,21	0,1387	11,47
A.B. 2 (50% A.B. + 50% A.E.)	1,09	1,24	1,24	1,19	0,0866	7,28
A.B. 3 (100% A.B.)	1,29	1,24	1,29	1,27	0,0291	2,29

## APÊNDICE G

Análise estatística de significância – massas específicas, índice de vazios e absorção

### MASSAS ESPECIFICAS

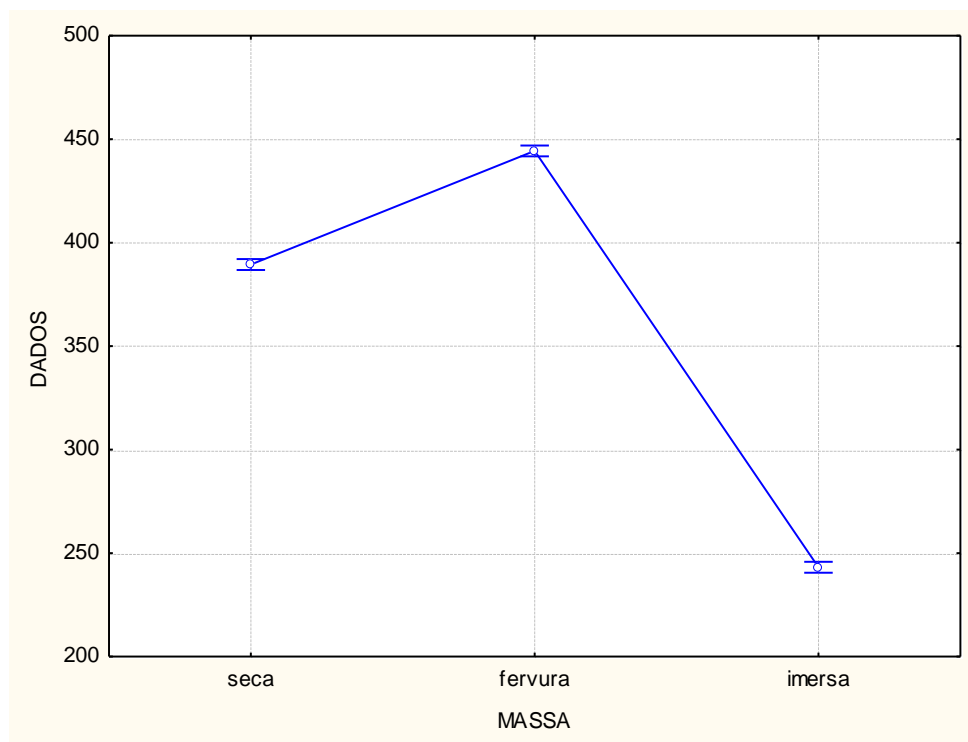
A análise fatorial 3x4 (fator MASSA com três níveis: seca, fervura e imersa; fator ARGAMASSA com quatro níveis: referência, AB1, AB2 e AB3) nos mostra que existem diferenças significativas entre os níveis de MASSA ESPECÍFICA e entre os níveis de ARGAMASSA para um nível de significância menor que 0,5%. A interação entre MASSA ESPECÍFICA e ARGAMASSA não foi significativa.

Idade: 56 DIAS

Análise de Variância para o experimento com dois fatores: Massas Específicas (com três níveis) e Argamassa (com quatro níveis).					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>MASSA</b>	2	432516	216258	6277.5	0.000000
<b>ARGAMASSA A</b>	3	20071	6690	194.2	0.000000
<b>MASSA*ARGAMASSA A</b>	6	247	41	1.2	0.324878
<b>Error</b>	48	1654	34		
<b>Total</b>	59	454488			

Verificando então, pelo teste Tukey de comparações múltiplas, é possível observar que todos os níveis de massas específicas diferem de todos significativamente, para um nível de significância menor que 0,5%.

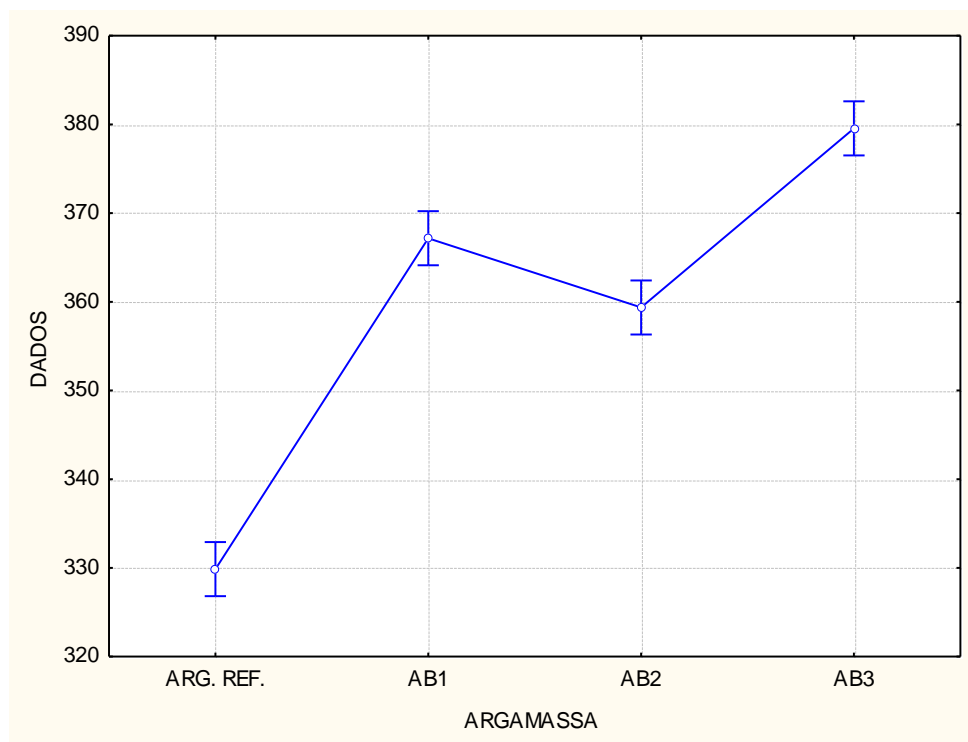
Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey				
	MASSA	{1}Seca	{2}Fervura	{3}Imersa
1	Seca		0.000126	0.000126
2	Fervura	0.000126		0.000126
3	Imersa	0.000126	0.000126	



\*\*\*\*\*

Pelo teste Tukey de comparações múltiplas, verificamos também que todos os níveis de argamassa diferem de todos significativamente, para um nível de significância menor que 0,5%.

Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey					
	ARGAMASSA A	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1	ARG. REF.		0.000167	0.000167	0.000167
2	AB1	0.000167		0.003703	0.000169
3	AB2	0.000167	0.003703		0.000167
4	AB3	0.000167	0.000169	0.000167	



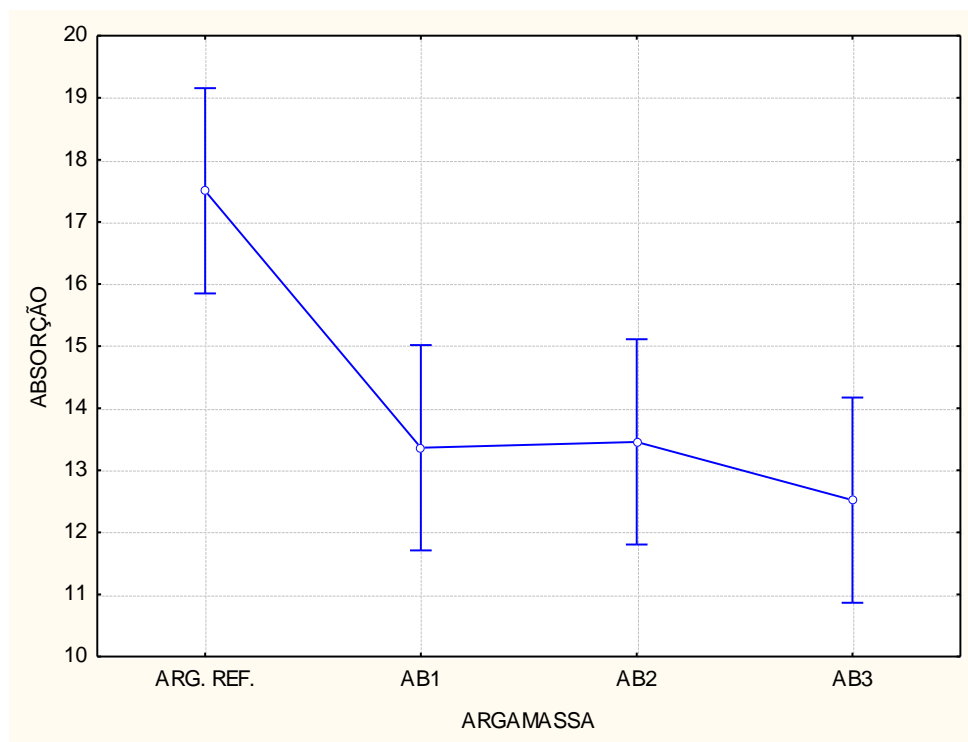
\*\*\*\*\*

A seguir temos as Análises de Variâncias (ANOVA com um fator) para as 5 variáveis (uma análise para cada uma, absorção, índices de vazios, massa específica real, saturada e seca).

#### ABSORÇÃO

Análise de Variância para um fator: ANOVA simples.					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>ARGAMASSA</b>	3	74.873	24.958	8.210	0.001556
<b>Error</b>	16	48.640	3.040		
<b>Total</b>	19	123.513			

No caso da absorção existe pelo menos uma diferença significativa entre os níveis de argamassa (referência, AB1, AB2 e AB3).



Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey					
	ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1	ARG. REF.		0.008588	0.010184	0.001918
2	AB1	0.008588		0.999789	0.868840
3	AB2	0.010184	0.999789		0.829679
4	AB3	0.001918	0.868840	0.829679	

As diferenças significativas (nível de significância de 1%, aproximadamente) estão entre a referência e as demais misturas. As misturas AB1, AB2 e AB3 não diferem significativamente entre si.

### ÍNDICE DE VAZIOS

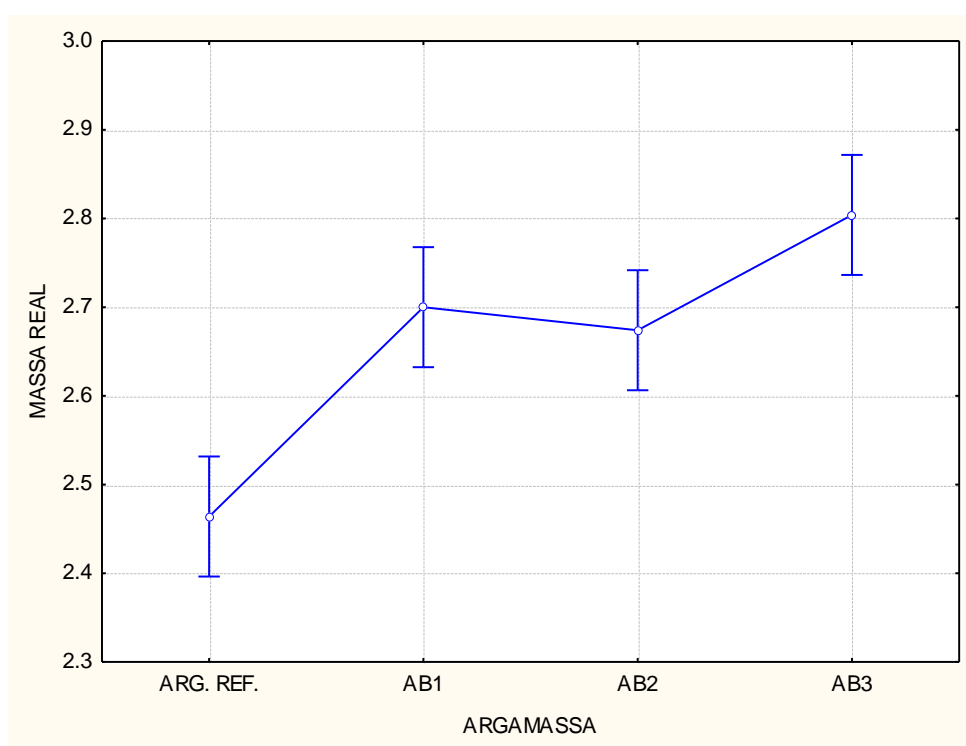
Análise de Variância para um fator: ANOVA simples.					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
ARGAMASSA	3	49.51	16.50	2.425	0.103506
Error	16	108.90	6.81		
Total	19	158.40			

Não existe diferença significativa entre os níveis de argamassa para a variável índices de vazios (p-valor > 10%).

## MASSA ESPECÍFICA REAL

Análise de Variância para um fator: ANOVA simples.					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>ARGAMASSA</b>	3	0.3047	0.1016	19.93	0.000012
<b>Error</b>	16	0.0816	0.0051		
<b>Total</b>	19	0.3863			

No caso da massa específica real existe pelo menos uma diferença significativa entre os níveis de argamassa (referência, AB1, AB2 e AB3).



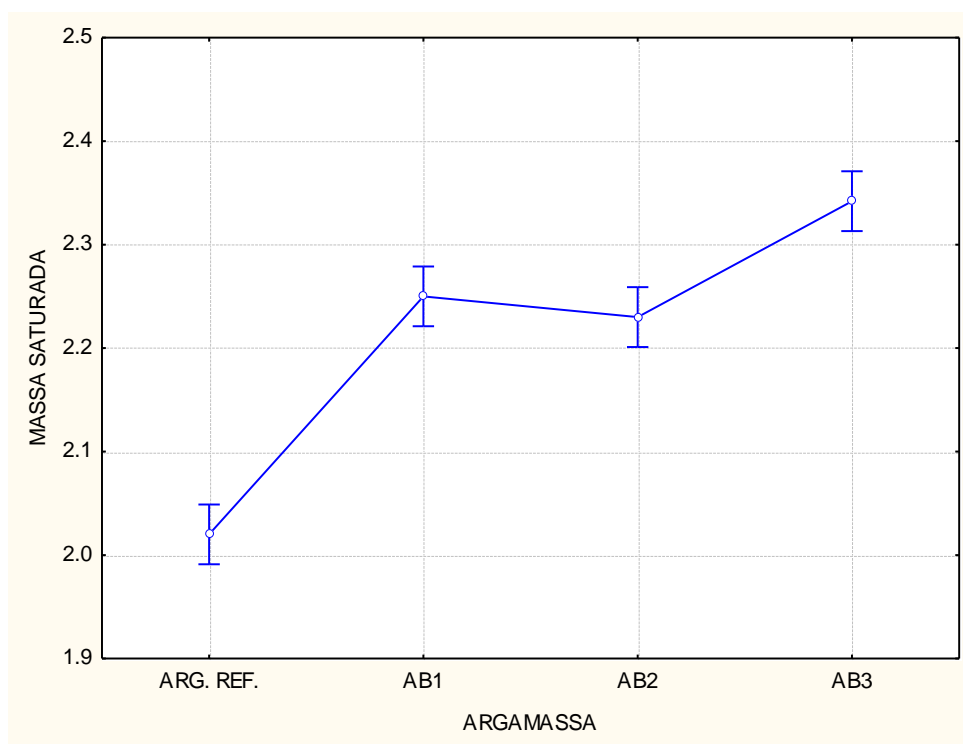
Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey					
	ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1	ARG. REF.		0.000591	0.001499	0.000188
2	AB1	0.000591		0.937973	0.138916
3	AB2	0.001499	0.937973		0.048397
4	AB3	0.000188	0.138916	0.048397	

As diferenças significativas (nível de significância de 5%) estão entre a referência e as demais misturas, e, entre AB2 e AB3. A mistura AB1 não difere significativamente de AB2 e AB3.

## MASSA ESPECÍFICA SATURADA

Análise de Variância para um fator: ANOVA simples.					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>ARGAMASSA</b>	3	0.27762	0.09254	99.5	0.000000
<b>Error</b>	16	0.01488	0.00093		
<b>Total</b>	19	0.29250			

No caso da massa específica saturada existe pelo menos uma diferença significativa entre os níveis de argamassa (referência, AB1, AB2 e AB3).



Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey				
ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1 ARG. REF.		0.000185	0.000185	0.000185
2 AB1	0.000185		0.730926	0.001213
3 AB2	0.000185	0.730926		0.000309
4 AB3	0.000185	0.001213	0.000309	

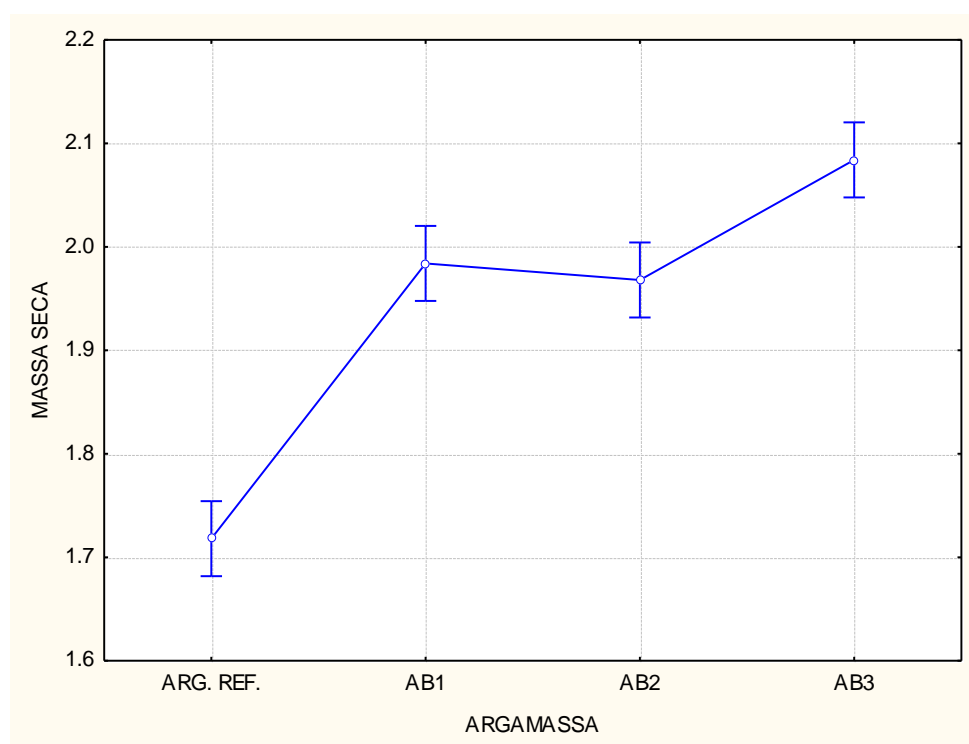
As diferenças significativas (nível de significância de 0,1%) estão entre a referência e as demais misturas, e, entre AB3 e as demais misturas. A mistura AB1 não difere significativamente de AB2.



## MASSA ESPECÍFICA SECA

Análise de Variância para um fator: ANOVA simples.					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>ARGAMASSA</b>	3	0.36366	0.12122	82.88	0.000000
<b>Error</b>	16	0.02340	0.00146		
<b>Total</b>	19	0.38706			

No caso da massa seca existe pelo menos uma diferença significativa entre os níveis de argamassa (referência, AB1, AB2 e AB3).



Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey				
ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1 ARG. REF.		0.000185	0.000185	0.000185
2 AB1	0.000185		0.910000	0.004010
3 AB2	0.000185	0.910000		0.001159
4 AB3	0.000185	0.004010	0.001159	

As diferenças significativas (nível de significância de 0,5%) estão entre a referência e as demais misturas, e, entre AB3 e as demais misturas. A mistura AB1 não difere significativamente de AB2.

## APÊNDICE H

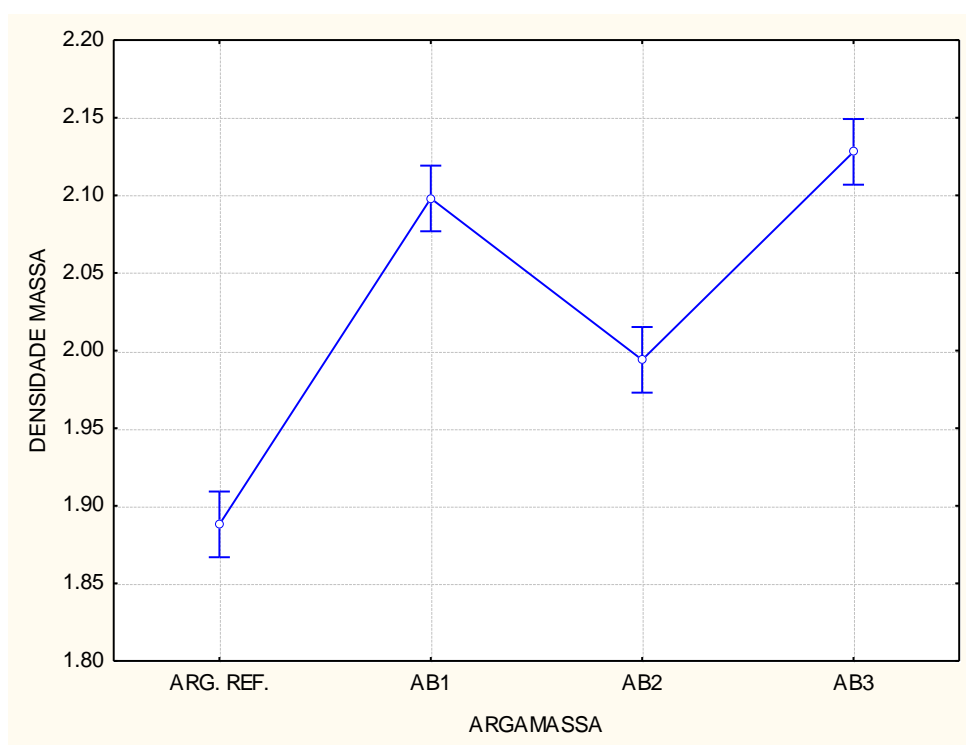
Análise estatística de significância – densidade de massa no estado endurecido

Análises de Variâncias (ANOVA com um fator) para a DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO (g/cm<sup>3</sup>).

### DENSIDADE DE MASSA

Análise de Variância para um fator: ANOVA simples.					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>ARGAMASSA</b>	3	0.17826	0.05942	119.4	0.000000
<b>Error</b>	16	0.00796	0.00050		
<b>Total</b>	19	0.18622			

No caso da DENSIDADE DE MASSA existe pelo menos uma diferença significativa entre os níveis de argamassa (referência, AB1, AB2 e AB3).



### Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey (DENSIDADE MASSA)

	ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1	ARG. REF.		0.000185	0.000188	0.000185
2	AB1	0.000185		0.000189	0.186900
3	AB2	0.000188	0.000189		0.000185
4	AB3	0.000185	0.186900	0.000185	

As diferenças significativas (nível de significância menor que 0,1%) estão entre a referência e as demais misturas, e a mistura AB2 difere significativamente de todas. Apenas as misturas AB1 e AB3 não diferem significativamente entre si.

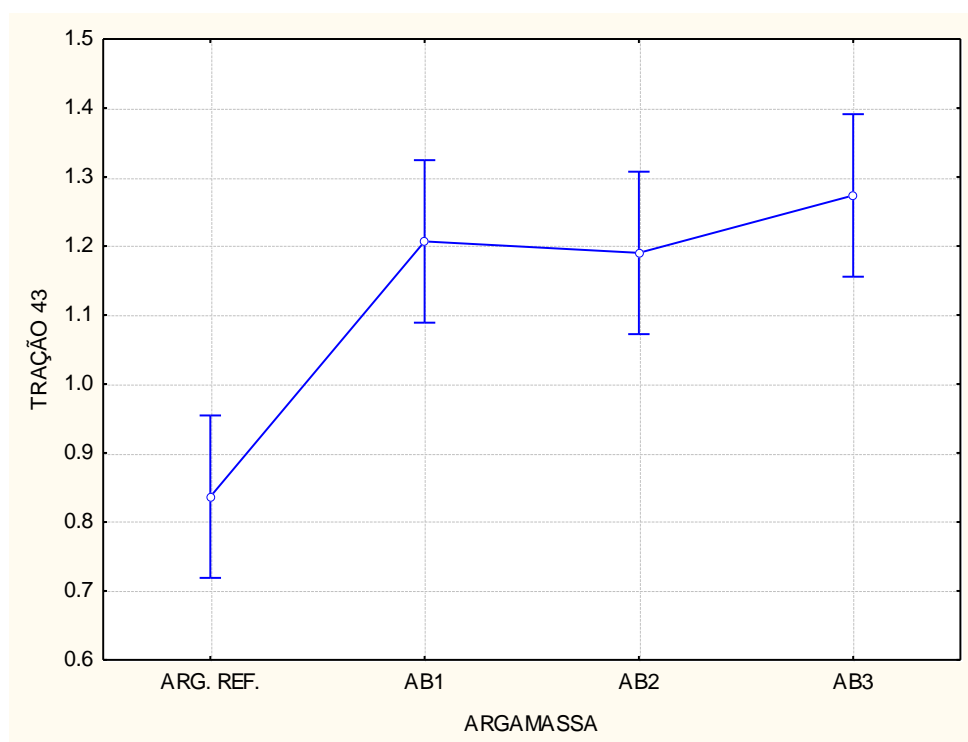
## APÊNDICE I

Análise estatística de significância – tração na flexão

### TRAÇÃO NA FLEXÃO

Análise de Variância para um fator: ANOVA simples.					
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>ARGAMASSA</b>	3	0.34807	0.11602	14.827	0.001245
<b>Error</b>	8	0.06260	0.00782		
<b>Total</b>	11	0.41067			

No caso da TRAÇÃO NA FLEXÃO existe pelo menos uma diferença significativa entre os níveis de argamassa (referência, AB1, AB2 e AB3).



Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey (TRAÇÃO 43 dias).					
	ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1	ARG. REF.		0.004120	0.005404	0.001542
2	AB1	0.004120		0.995381	0.793925
3	AB2	0.005404	0.995381		0.669615
4	AB3	0.001542	0.793925	0.669615	

As diferenças significativas (nível de significância menor que 1%) estão entre a referência e as demais misturas. As misturas AB1 AB2 e AB3 não diferem significativamente entre si.

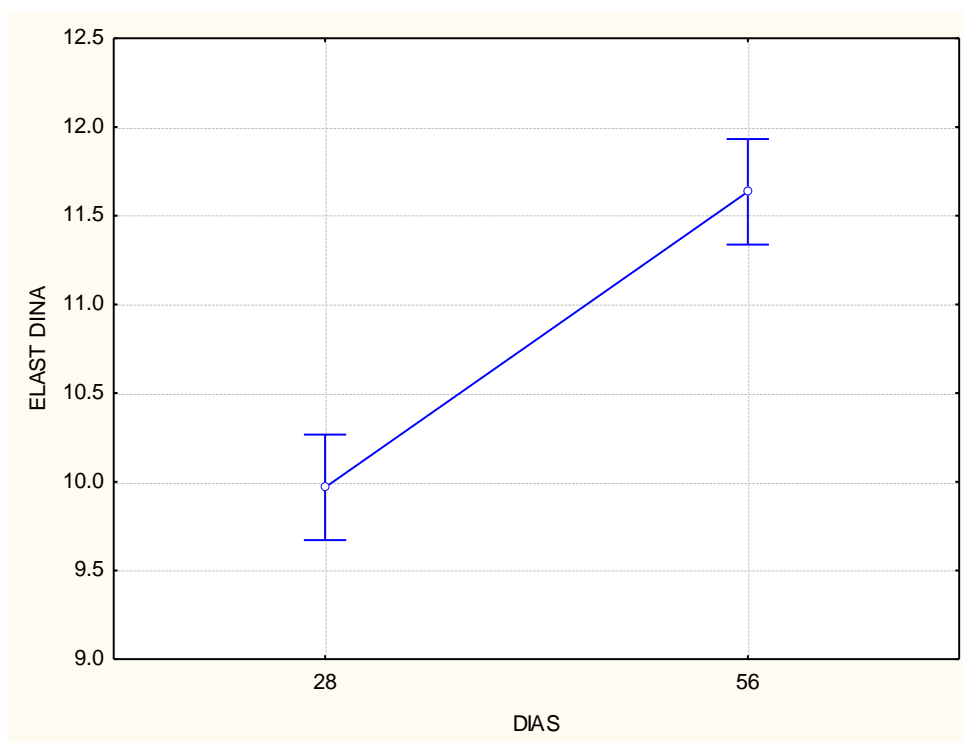
## APÊNDICE J

### Análise estatística de significância – módulo de elasticidade dinâmico

Análise de Variância para o experimento com dois fatores: Dias (com dois níveis) e Argamassa (com quatro níveis).

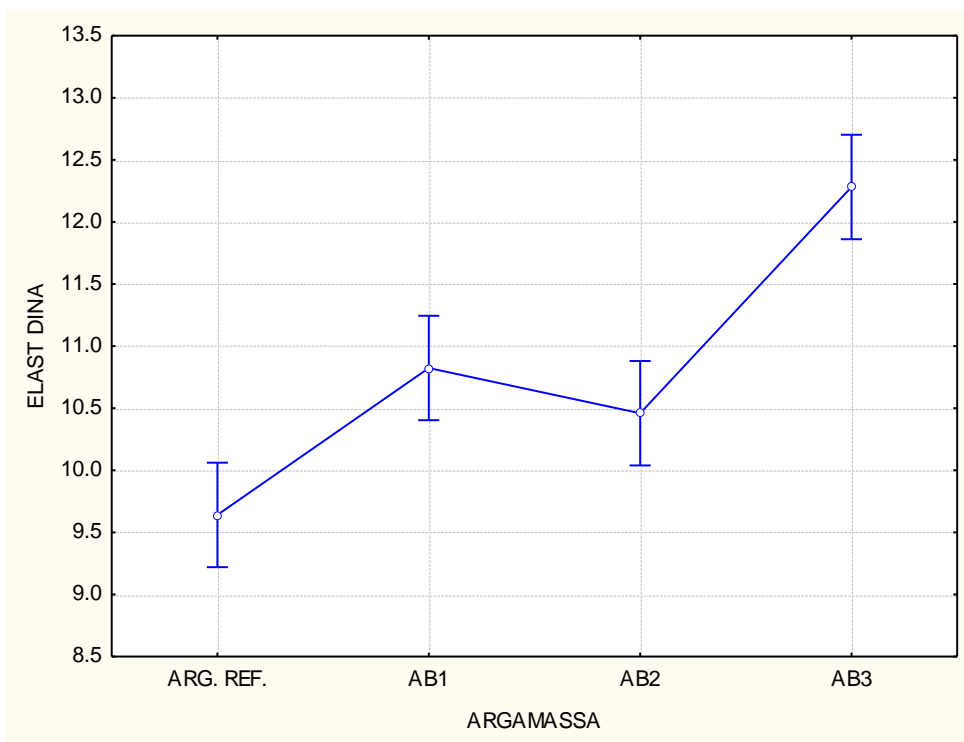
Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>DIAS</b>	1	27.772	27.772	65.13	0.000000
<b>ARGAMASSA</b>	3	36.558	12.186	28.58	0.000000
<b>DIAS*ARGAMASSA</b>	3	0.622	0.207	0.49	0.694501
<b>Error</b>	32	13.645	0.426		
<b>Total</b>	39	78.596			

Existe diferença significativa (p-valor menor que 0,1%) em dias e argamassa.



Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey (ELASTICIDADE DINÂMICO)

	DIAS	{1}28	{2}56
1	28		0.000134
2	56	0.000134	



Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey (ELASTICIDADE DINÂMICO)

	ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1	ARG. REF.		0.001761	0.040352	0.000165
2	AB1	0.001761		0.602763	0.000263
3	AB2	0.040352	0.602763		0.000167
4	AB3	0.000165	0.000263	0.000167	

Apenas AB1 e AB2 não diferem significativamente (p-valor > 5%).

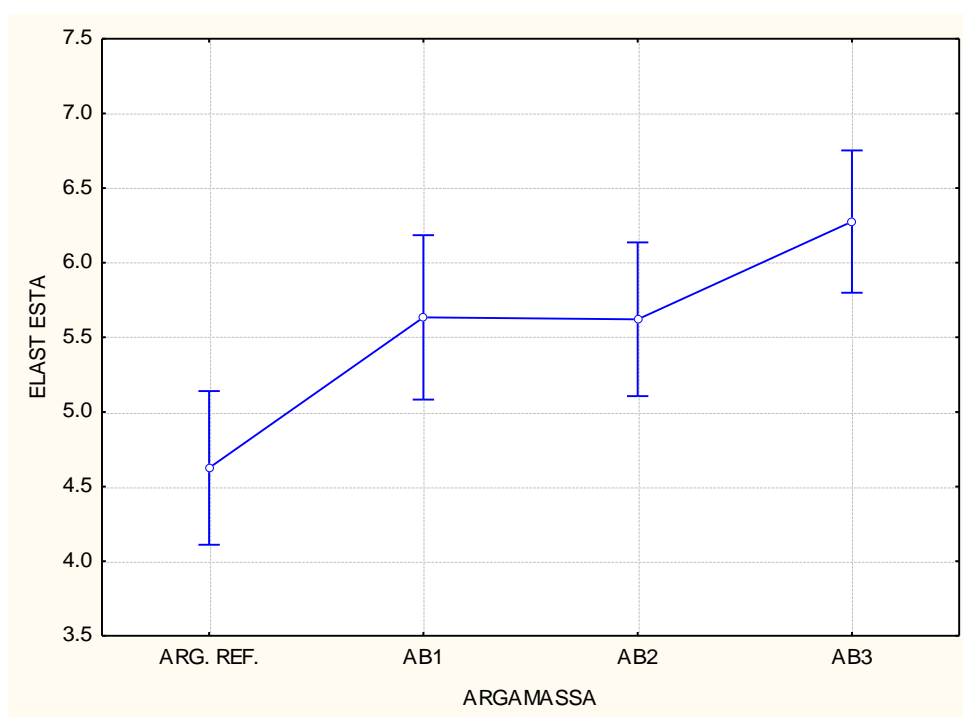
## APÊNDICE K

### Análise estatística de significância – módulo de elasticidade estático

Análise de Variância para o experimento com dois fatores: Dias (com dois níveis) e Argamassa (com quatro níveis).

Fontes de Variação	G.L.	SQ	MQ	F	p-valor
<b>DIAS</b>	1	0.9115	0.9115	2.180	0.155360
<b>ARGAMASSA</b>	3	10.1411	3.3804	8.086	0.001008
<b>DIAS*ARGAMASSA</b>	3	2.0133	0.6711	1.605	0.219639
<b>Error</b>	20	8.3608	0.4180		
<b>Total</b>	27	20.3411			

Para o módulo de elasticidade estático os dias não causaram diferença significativa. Existe, pelo menos uma, diferença significativa entre os níveis de argamassa.



Teste de comparações múltiplas: Teste de Tukey (ELASTICIDADE ESTÁTICO)

	ARGAMASSA	{1}ARG. REF.	{2}AB1	{3}AB2	{4}AB3
1	ARG. REF.		0.081482	0.074012	0.000927
2	AB1	0.081482		0.999950	0.285883
3	AB2	0.074012	0.999950		0.230646
4	AB3	0.000927	0.285883	0.230646	

A única diferença significativa foi entre argamassa de referência e AB3.



**ANEXOS**

## ANEXO A

ANÁLISE PETROGRÁFICA DA AREIA DE BRITAGEM

**IPT**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras

1/2

**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 960 169-203**

**CLIENTE:** L. A. FALCÃO BAUER  
Rua Aquinos, 111  
05036-070 – São Paulo - SP

**MATERIAL:** Amostra de areia

**NATUREZA DO TRABALHO:** Ensaio de caracterização.

**REFERÊNCIA:** Orçamento CT-OBRAS/LMCC-P 162/07, de 21.06.2007, aprovação de orçamento de 22.06.2007 e pedido de ensaio PE 137.538.

**1 MATERIAL**

1.1. – Tabela de identificação das amostras analisadas.

Designação	Identificação	Descrição
Areia artificial PE 137.538	LMCC-P 442/07	Areia grossa de coloração cinza escura

1.2 Procedência: Não declarada.

**2 MÉTODOS UTILIZADOS**

2.1 Procedimento CT-OBRAS-LMCC-P-PE-010 "Análise granulométrica de sedimentos por peneiramento", de acordo com a norma NBR NM 248/03 – "Agregados – Determinação da composição granulométrica", da ABNT.

Equipamentos:

Balança eletrônica marca Micronal (BAL-05), capacidade nominal 360 g, resolução 0,001 g (até 60 g) e 0,01 g (acima de 60 g, inclusive). Patrimônio nº 31.566. Calibrada em 15.02.2006, certificado de calibração nº 69 873-101, emitido pela Rede Brasileira de Calibração – Laboratório credenciado pelo INMETRO sob o nº 021. Calibração válida até 15.02.2008.

Jogo de peneiras marca "A Bronzinox", de malha quadrada e caixilhos metálicos.

Estufa de secagem marca Fanem, modelo 315/5. Patrimônio nº 03.131. CT-OBRAS/LMCC.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de inobservância. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**IPT**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras

2/2

Anexo do Relatório de Ensaio N° 960 169-203

**2.2** Procedimento CT-OBRAS/LMCC-P-PE-028 - "Apreciação petrográfica de materiais naturais", de acordo com a norma NBR 7389/92 - "Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto", da ABNT.

Equipamento:

Lupa estereoscópica marca Wild, modelo M-8 (LUP-05). Patrimônio n° 21.588. CT-OBRAS/LMCC-P.

Estufa de secagem marca Fanem, modelo 315/5. Patrimônio n° 03.131. CT-OBRAS/LMCC-P.

**Nota:** Para efeito de arredondamento, nos cálculos efetuados, foi utilizada a norma ABNT NBR 5891/77 - Regras de Arredondamento na Numeração Decimal.

### 3 RESULTADOS

Os resultados estão assim apresentados:

**3.1** Análise granulométrica: TABELA 1 e GRÁFICO 1, ANEXO.

**3.2** Apreciação petrográfica: TABELAS 2 e 3 e GRÁFICO 2, ANEXO.

### 4 ANEXO

Tabelas 1 a 3 e Gráficos 1 e 2 ..... 4 pág.

### 5 EQUIPE TÉCNICA

Priscila Melo Leal Menezes – Geóloga

Marília Lopes – Bolsista

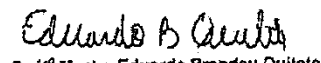
Jilson Cardoso – Técnico

São Paulo, 31 de julho de 2007.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS E  
INFRA-ESTRUTURA  
Laboratório de Materiais de Construção Civil

  
Geól<sup>a</sup> Priscila Melo Leal Menezes  
Executora dos Ensaíos  
CREASP N° 5061868349 – RE N° B477

CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS E  
INFRA-ESTRUTURA  
Laboratório de Materiais de Construção Civil

  
Geól<sup>o</sup> Mestre Eduardo Brandau Quilete  
Supervisor dos Ensaíos  
CREASP N° 0601.964.658 – RE 8267

PMLM/rgm.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**IPT**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras

1/4

Anexo do Relatório de Ensaio N° 960 169-203

**ANEXO****Tabelas 1 a 3 e Gráficos 1 e 2**

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

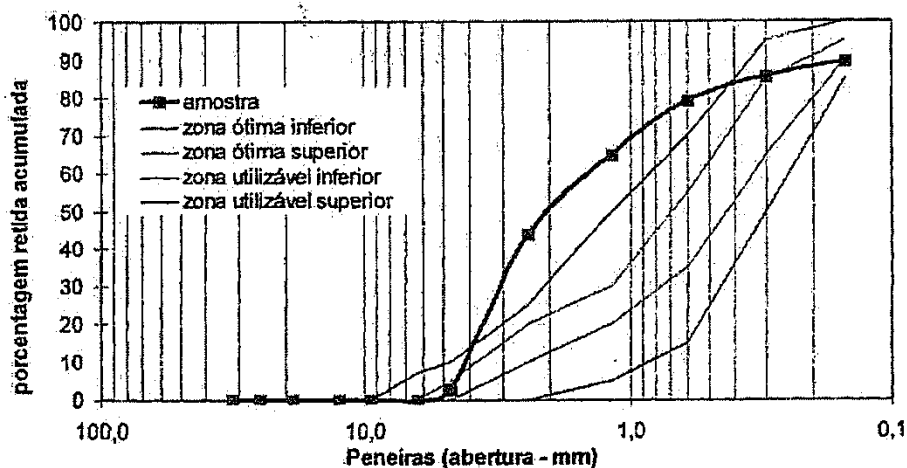
**Tabela 1 - Resultados da análise granulométrica (Procedimento CT-OBRAS-LMCC-P-PE-010) para a amostra "Areia artificial PE 137.538" (LMCC-P 442/07) - finalizada em 05.07.2007.**

Peneira (mm)	Porcentagem retida	
	Simplex	Acumulada
6,30	0,0	0,0
4,75	3,0	3,0
2,40	40,7	43,7
1,18	21,4	65,1
0,60	14,5	79,5
0,30	6,2	85,7
0,15	4,1	89,8
<0,15	10,2	100,0

Classificação ( NBR 7211 ) : **Fora dos limites**

Módulo de finura: **3,67**

Dimensão máxima característica: **4,8 mm**



**Gráfico 1 - Distribuição granulométrica da amostra Areia artificial PE 137.538" (LMCC-P. 442/07), conforme TABELA 1.**

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**IPT**

3/4

**Instituto de Pesquisas Tecnológicas**

Anexo do Relatório de Ensaio N° 960 165-203

Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras

**Tabela 2 – Resultados da apreciação petrográfica de agregado miúdo (ABNT NBR 7389/92) para a amostra "Areia artificial PE 137.538" (LMCC-P 442/07). Porcentagem em volume das fases minerais constituintes da amostra estudada, obtida por contagem de grãos em lupa estereoscópica, finalizadas em 20.07.2007.**

Peneira (abertura em mm)	Inócuos			
	Basalto cinza escuro	Basalto cinza	Basalto cinza avermelhado	Calcita
4,75	58,7	26,7	10,7	0,0
2,40	84,3	4,5	5,6	0,0
1,18	85,3	3,4	7,9	0,0
0,60	85,4	3,0	6,3	0,4
0,30	85,6	1,3	9,4	1,3
0,15	86,5	0,2	8,0	2,5
<b>TOTAL<sup>1</sup></b>	<b>84,3</b>	<b>3,9</b>	<b>6,9</b>	<b>0,5</b>

**Tabela 3 – Resultados da apreciação petrográfica de agregado miúdo (ABNT NBR 7389/92) para a amostra "Areia artificial PE 137.538" (LMCC-P 442/07). Porcentagem em volume das fases minerais constituintes da amostra estudada, obtida por contagem de grãos em lupa estereoscópica, finalizadas em 20.07.2007.**

Peneira (abertura em mm)	Potencialmente deletério	Friável
	Basalto cinza escuro amigdaloidal	Torrão de argila verde
4,8	4,0	0,0
2,4	5,6	0,0
1,2	3,4	0,0
0,6	4,9	0,0
0,3	2,4	0,0
0,15	0,8	1,9
<b>TOTAL<sup>1</sup></b>	<b>4,1</b>	<b>0,3</b>

<sup>1</sup> Total aproximado na amostra, calculado em função da porcentagem em peso retida em cada fração.

Os resultados apresentados neste documento têm significação técnica e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

**IPT**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras

414

Anexo do Relatório de Ensaio N° 960 169-203

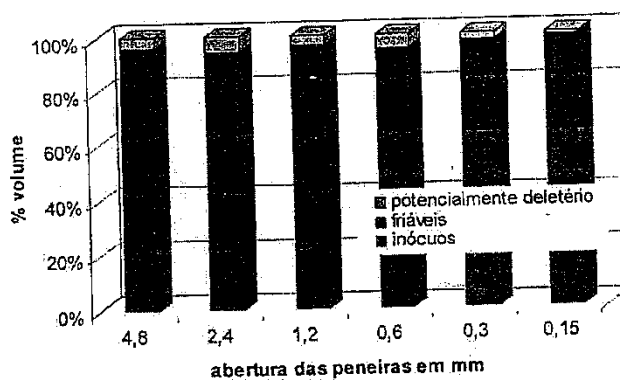


Gráfico 3 - Distribuição dos tipos de grãos, em porcentagem volume, para a amostra "Areia artificial PE 137.538" (LMCC-P 442/07), conforme TABELAS 2 e 3.

A amostra apresentou esfericidade 0,69 (Rittenhouse, 1943), correspondendo a uma esfericidade baixa, grau de arredondamento predominantemente subanguloso e superfície de grãos rugosa.

2 RITTENHOUSE, G. 1943. A visual method of estimating two dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*. 13(2): 79-81.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT  
Rua São João do Pau d'Alho, 979 - Jd. Planalto Paulista - Buziá - 05508-900 - São Paulo - SP - Tel. (11) 3767-4000 - www.ipt.br





# 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](#)