

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLEVERSON DE FREITAS

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS MIÚDOS DE  
BRITAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:  
PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.

CURITIBA

2010

CLEVERSON DE FREITAS

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS MIÚDOS DE  
BRITAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:  
PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-  
Graduação em Construção Civil, da  
Universidade Federal do Paraná, como parte  
das exigências para a obtenção do título de  
Mestre em Construção Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marianne do Rocio de  
Mello Maron da Costa

CURITIBA

2010

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

CLEVERSON DE FREITAS

**ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS MIÚDOS DE  
BRITAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA:  
PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.**

Dissertação aprovada como requisito parcial das exigências para a obtenção do título de grau Mestre em Construção Civil no Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa  
Departamento de Construção Civil, UFPR

Prof. Dr. Marcelo Henrique Farias de Medeiros  
Departamento de Construção Civil, UFPR

Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Juliana Machado Casali  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Curitiba, 23 de abril de 2010.

Este trabalho é dedicado aos  
meus pais, Mauro e Irene, a  
minha irmã Daiana e as  
razões do meu viver:  
Rosane e nossos frutos  
Heitor e Glória por todo o  
amor que representam na  
minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Acima de todas as coisas agradeço a Deus, por conceder-me as bênçãos de saúde e sabedoria, a persistência e compreensão nos momentos mais difíceis e agora todo o júbilo pela conclusão deste trabalho.

Esses mais de dois anos de muita pesquisa, resultando nesta dissertação que jamais seria concluída sem o apoio de muitas pessoas, as quais peço perdão por não relacionar todas pela minha fraca memória, permitindo então que eu teça uma tenra lista de agradecimentos:

A minha orientadora professora Dr.<sup>a</sup> Marianne do Rocio Mello Maron da Costa que, desde o início, mostrou-se muito mais que apenas orientadora, com toda sua dedicação, apoio e suas explicações, que facilmente abriam os meus olhos e a minha mente para aquilo que não estava compreendendo fazendo com que me impulsionasse à conclusão de toda a pesquisa.

Com carinho especial a todos os professores do Mestrado, José Marques Filho, Kleber Franke Portela, Ricardo Mendes Júnior, Ney Augusto Nascimento que compartilharam pacientemente o seu vasto conhecimento permitindo avanços não só no desenvolvimento do trabalho, mas na vida.

Ao pessoal do LACTEC/LAME, Jeferson, Luiz Fabiano, Cris, Larissa (xuxu) e todos que me suportaram com muita paciência durante toda a fase de desenvolvimento dos ensaios. Valeu mesmo!

A todos do LAMIR, J. Manoel, Elisiane, Rodrigo, seu Carlos, que me ajudaram demais nos ensaios DRX e morfologia dos agregados miúdos. Obrigado mesmo pela dedicação e apoio com que fui recebido.

Ao Alexandre Garay, da Optimiza Consultoria que ajudou em conseguir as amostras de agregado miúdo e cal hidratada junto aos fornecedores.

Ao Alécio Mattana e a Larissa Wendling, bolsistas que me ajudaram na execução dos ensaios tanto no estado fresco quanto endurecido

acompanhando minhas dificuldades e a trajetória dentro dos laboratórios. Sou imensamente grato a vocês.

Não poderia jamais esquecer-me da Ziza, secretária do PPGCC, por todo o carinho despendido, sempre pronta pra ajudar!

Aos colegas do mestrado, Anthony, Alessandro, Mário sempre juntos nos trabalhos e apesar de termos nos afastado na fase da dissertação foi muito bom tê-los conhecido e a todos os colegas que fizeram parte dessa turma de mestrado. Parabéns a todos por mais essa etapa na vida de cada um de vocês.

De maneira especial, dedico um agradecimento ao professor Dr. Elton Bauer da Universidade de Brasília, que me acolheu e disponibilizou toda a estrutura e equipe do Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB para que eu pudesse desenvolver diversos ensaios. Professor Bauer, muito obrigado! Sem sua valiosa ajuda não teria condições de concluir esse trabalho.

A todos os meus colegas da Companhia Paranaense de Energia – COPEL que me incentivaram a fazer o mestrado, em especial ao Amauri que levou agregado miúdo pra lá, trouxe cimento pra cá. Queridão, sem seu imenso apoio e dedicação jamais terminaria os ensaios. Abração!

Aos meus colegas do EB, na fiscalização da obra de reforma do Palácio do Planalto, que me apoiaram e incentivaram, em especial ao Maj Roppa e ao Gen Jaldemar que sempre foram compreensivos nas minhas dispensas para ir a Curitiba realizar os ensaios e conversar com minha orientadora. Obrigado aos Senhores pela confiança.

A toda a minha família que sempre acreditou na minha capacidade, em especial aos meus pais Mauro e Irene, que nunca mediram esforços para me proporcionar a educação, sempre me dando apoio, mesmo eu, em vários momentos, nadando contra a correnteza. Agradeço a Deus por ter sido agraciado como filho de vocês! Amo vocês!

A Rosane, Heitor e Glória que os privei, em muitos momentos, da minha presença, mas foi em vocês onde busquei força, alegria e amor para seguir em frente. Sempre! Amo muito vocês!!!

Ser cristão não é conquistar  
Cristo, mas deixar-se  
conquistar por Ele. Deixa  
que Ele conquiste em ti, que  
Ele conquiste para ti, que  
Ele te conquiste.

Santo Agostinho



## RESUMO

A utilização do agregado miúdo proveniente dos depósitos aluvionares de rios como matéria-prima na construção civil vem sendo restringido ano após ano devido aos impactos ambientais derivados de sua extração. A utilização do agregado miúdo proveniente da britagem de rochas, através da utilização de procedimentos e equipamentos adequados, torna-se então uma alternativa viável para a substituição daquele agregado miúdo.

O presente trabalho tem por objetivo estudar as propriedades de argamassas mistas de cimento e cal, com agregados miúdos provenientes de britagem de rochas calcárias e um comparativo com argamassas mistas utilizando agregado miúdo natural. Para tanto, avaliou-se a influência do tipo de agregado miúdo de britagem nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

No estado fresco foram determinados: a densidade de massa, teor de ar incorporado, a retenção de e características reológicas. Para o estado endurecido foram determinadas a resistência à compressão e tração na flexão, densidade de massa aparente, absorção de água, índice de vazios e o coeficiente de capilaridade.

Os resultados mostraram que as propriedades das argamassas produzidas com agregado miúdo de britagem possuem melhor trabalhabilidade, maiores resistências mecânicas e a maioria apresentou menor permeabilidade à água que as argamassas produzidas com agregado miúdo natural. O teor de material pulverulento também teve influência nas propriedades das argamassas no estado fresco e, também, no estado endurecido.

Palavras-chave: Agregado miúdo de britagem. Argamassa. Reologia. *Squeeze flow*.

## **ABSTRACT**

The use of fine aggregate from the alluvium deposits rivers as raw material in construction has been restricted year after year due to environmental impacts derived from its extraction. The use of aggregate from the crushing of rocks, through the use of procedures and adequate equipment, makes then a viable alternative to replace that sand.

This work has as objective study the performance of mortars mixed cement, lime and sand from the crushing of limestone rock in a comparative mortar mixed using fine aggregate natural. For both, evaluated the influence of the type of aggregate from the crushing of rocks at the properties of mortars fresh and hardened.

In the fresh state were determined: the mass density, the incorporated air content, the retention of water and rheological characteristics make. For the hardened state were determinate the compressive strength and tensile strength in the flexion, mass density apparent, absorption of water, index of emptiness and the coefficient of capillarity.

The results showed that the properties of mortars made with fine aggregate crushing have better workability, higher mechanical strength and most had lower water permeability than mortar made with natural fine aggregate. The content of powder material also had an influence on the properties of fresh mortar, and also in the hardened state.

Key-words: Artificial sand. Mortar. Rheology. Squeeze flow.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 - CONSUMO DE AGREGADOS NO MUNDO.....	19
FIGURA 1.2 – ESTRUTURA DA MINERAÇÃO DE AGREGADOS NO BRASIL.....	20
FOTO 1.1 - ÁREA COM EXTRAÇÃO DE AGREGADO MIÚDO NA REGIÃO DE ARAUCÁRIA.....	23
FOTO 1.2 - ASPECTOS DOS AGREGADO MIÚDOS JÁ LAVRADOS E ABANDONADOS.....	24
FOTO 1.3 - ASPECTO DE FRENTE DE LAVRA EM ROCHA CALCÁRIA, NA RMC, EVIDENCIANDO A FALTA DE PLANEJAMENTO MINEIRO, AUSÊNCIA DE BANCADAS E O ABANDONO DA ÁREA SEM MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO.....	26
FIGURA 2.1 – EXECUÇÃO DO ENSAIO DA MASSA UNITÁRIA.....	34
QUADRO 2.1 - DEFINIÇÕES SOBRE A TABALHABILIDADE.....	38
FIGURA 2.2 – FUNIL DE BÜCHNER.....	40
FIGURA 2.3 – FORMAS COMUNS DO COMPORTAMENTO AO ESCOAMENTO DAS SUSPENSÕES COLOIDAIS. (1) NEWTONIANO; (2) PSEUDOPLÁSTICO; (3) DILATANTE; (4) PLÁSTICO BINGHAMIANO; (5) PLÁSTICO NÃO IDEAL.....	45
FIGURA 2.4 - DESCRIÇÃO DO MECANISMO DE CISALHAMENTO DE CAMADAS ADJACENTES DE UM LÍQUIDO.....	47
FIGURA 2.5 – REÔMETRO BTRHEOM.....	48
FIGURA 2.6 – IBB Concrete Rheometer.....	49
FIGURA 2.7 – REÔMETRO DESENVOLVIDO POR PILEGGI E PANDOLFELLI.....	49
FIGURA 2.8 – VISCOSÍMETRO DE BROOKFIELD.....	50
FIGURA 2.9 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO REOLÓGICO DE “SQUEEZE-FLOW” IDENTIFICANDO AS SOLICITAÇÕES INTERNAS À AMOSTRA.....	51
FIGURA 2.10 – FOTO DA PRENSA UNIVERSAL DE ENSAIOS EMIC MODELO DL 10.000 UTILIZADA NO ENSAIO “SQUEEZE FLOW”, NO LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS – LAME DA UFPR.....	53

FIGURA 2.11 – PERFIL TÍPICO CARGA X DESLOCAMENTO DE UM ENSAIO SQUEEZE-FLOW REALIZADO COM DESLOCAMENTO CONTROLADO. ESTÁGIO I: PEQUENO DESLOCAMENTO – DEFORMAÇÃO ELÁSTICA; ESTÁGIO II: DESLOCAMENTO INTERMEDIÁRIO – DEFORMAÇÃO PLÁSTICA E/OU FLUXO VISCOZO; ESTÁGIO III: GRANDE DESLOCAMENTO – ENRIJECIMENTO POR DEFORMAÇÃO.....	53
FIGURA 2.12 – SEQUÊNCIA ESQUEMÁTICA DA PERTURBAÇÃO CAUSADA PELA PRESENÇA DE UMA PARTÍCULA OU UM AGLOMERADO SOBRE AS LINHAS DE FLUXO DE UM LÍQUIDO SUBMETIDO AO CISALHAMENTO: (a) FLUIDO ISENTO; (b) PERTURBAÇÃO DEVIDA A UMA PARTÍCULA DE PEQUENO DIÂMETRO; (c) PERTURBAÇÃO DEVIDA A UMA PARTÍCULA DE MAIOR DIÂMETRO; (d) PERTURBAÇÃO CAUSADA DEVIDO A UM AGLOMERADO DE PEQUENAS PARTÍCULAS.....	56
FIGURA 2.13 – EFEITO DA QUANTIDADE E DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS SOBRE A EFICIÊNCIA DE EMPACOTAMENTO: A) MONODISPERSÃO; B) MÁXIMA DENSIDADE DE EMPACOTAMENTO; C) DEFICIÊNCIA DE PARTÍCULAS PEQUENAS; D) DEFICIÊNCIA DE PARTÍCULAS GRANDES; E) DISTRIBUIÇÃO INADEQUADA DE PARTÍCULAS.....	58
FIGURA 2.14 – CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BÁSLTICA.....	60
FIGURA 2.15 – CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BÁSLTICA.....	60
FIGURA 2.16 – CURVAS GRANULOMÉTRICAS DA AGREGADO MIÚDO NATURAL (a) E DA AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA GNAISSE (b) DA REGIÃO DE JUIZ DE FORA, MG.....	61
FIGURA 3.1 – AMOSTRA DOS AGREGADOS MIÚDOS IDENTIFICADOS.....	63
FIGURA 3.3– EQUIPAMENTO UTILIZADO NA MISTURA DAS ARGAMASSAS.....	64
QUADRO 3.1 – DOSAGEM DAS ARGAMASSAS.....	66
FIGURA 3.4 – FLUXOGRAMA DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	68
FIGURA 3.5 - GRANULÔMETRO A LASER - CILAS 1064.....	70
FIGURA 3.6 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	73
FIGURA 3.7 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	74
FIGURA 4.1 – DIFRATOGRAMA DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	79

FIGURA 4.2 – MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	80
FIGURA 4.3 – QUANTIDADE DE FRAÇÃO GRAÚDA E FRAÇÃO FINA DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	81
FIGURA 4.4 – TEOR COMPARATIVO DAS PARTÍCULAS DA FRAÇÃO GRAÚDA RETIDA NAS PENEIRAS.....	82
FIGURA 4.5 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA COMPLETA DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	83
FIGURA 4.6 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA PARA AS PARTÍCULAS COM DIMENSÃO INFERIOR A 75 $\mu\text{m}$ (FRAÇÃO FINA).....	84
FIGURA 4.7 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO NATURAL (N) .....	85
FIGURA 4.8 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (M).....	86
FIGURA 4.9 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C1).....	86
FIGURA 4.10 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C2).....	87
FIGURA 4.11 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (D).....	87
FIGURA 4.12 - RESULTADOS DE SQUEEZE FLOW DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS IMEDIATAMENTE APÓS A MISTURA.....	90
FIGURA 4.13 – CURVAS CARGA VERSUS DESLOCAMENTO OBTIDAS NO ENSAIO SQUEEZE FLOW PARA ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS DO GRUPO 1.....	93
FIGURA 4.14 – CURVAS CARGA VERSUS DESLOCAMENTO OBTIDAS NO ENSAIO SQUEEZE FLOW PARA ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS DO GRUPO 2.....	93
FIGURA 4.15 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO NATURAL (N).....	94
FIGURA 4.16 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C2) .....	94

FIGURA 4.17 – DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO AOS 28 DIAS.....	95
FIGURA 4.18 – RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	97
FIGURA 4.19 – RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL.....	98
FIGURA 4.20 – RESULTADOS MÉDIO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	99
FIGURA 4.21 – RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE CAPILARIDADE.....	99
FIGURA 4.22 – CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE O ÍNDICE DE VAZIOS E A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS SATURAÇÃO E FERVURA NA IDADE DE 28 DIAS.....	101

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 – RESERVAS DE PEDRAS BRITADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA EM 2000.....	21
TABELA 1.2 – RESERVAS DE AGREGADO MIÚDO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA EM 2001.....	21
TABELA 2.1 – RELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONJUNTO ARGAMASSA E BASE COM A RESPECTIVA FUNÇÃO DO REVESTIMENTO.....	30
TABELA 3.2 – RELAÇÃO DAS AMOSTRAS DE AGREGADO MIÚDO.....	63
TABELA 4.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA CAL HIDRATADA.....	76
TABELA 4.2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO CIMENTO PORTLAND.....	77
TABELA 4.3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	78
TABELA 4.4 – MINERAIS IDENTIFICADOS POR DRX.....	79
TABELA 4.5 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	89
TABELA 4.6 – ABSORÇÃO DA ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA.....	100

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1 CENÁRIO .....	19
1.2 PROBLEMA .....	22
1.3 JUSTIFICATIVAS .....	26
1.3.1 Ambiental .....	26
1.3.2 Econômica.....	27
1.4 OBJETIVO .....	28
<b>2 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO</b> .....	28
2.1 DEFINIÇÕES .....	28
2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DE ARGAMASSAS MISTAS E A INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES .....	30
2.2.1 Agregados miúdos .....	31
2.2.2 Cimento Portland.....	34
2.2.3 Cal.....	35
2.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	36
2.3.1 Consistência e trabalhabilidade.....	36
2.3.2 Coesão.....	39
2.3.3 Retenção de água.....	39
2.3.4 Adesão inicial .....	41
2.3.5 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	42
2.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO .....	42
2.4.1 Resistência à tração na flexão e à compressão axial.....	42
2.4.2 Densidade de massa.....	43
2.4.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	43
2.4.4 Coeficiente de capilaridade .....	43
2.5 COMPORTAMENTO REOLÓGICO NO ESTADO FRESCO .....	44
2.5.1 Parâmetros que influenciam o comportamento reológico .....	54



2.5.2 Influência da distribuição granulométrica das partículas no comportamento reológico .....	57
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>62</b>
3.1 DETALHAMENTO DOS MATERIAIS .....	63
3.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS .....	64
3.3 DETALHAMENTO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS .....	66
<b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
4.1 CAL HIDRATADA.....	75
4.2 CIMENTO.....	75
4.3 AGREGADOS MIÚDOS .....	77
4.3.1 Difração de raios X.....	78
4.3.2 Análise granulométrica.....	80
4.3.3 Morfologia das partículas .....	85
4.3.4 Conclusões a respeito da influência dos agregados miúdos.....	88
4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO .....	878
4.4.1 Propriedades no estado fresco.....	88
4.4.2 Caracterização do comportamento reológico das argamassas .....	90
4.4.3 Conclusões sobre o impacto dos agregados no desempenho das argamassas no estado fresco .....	93
4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	93
4.6 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO .	95
4.6.1 Densidade de massa no estado endurecido .....	95
4.6.2 Resistência à compressão axial e à tração na flexão.....	96
4.6.3 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.....	98
4.6.4 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica ..	100
4.7 CONCLUSÕES SOBRE O ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS .....	101
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>103</b>
5.1 CONCLUSÕES .....	103
5.2 TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA.....	104
5.3 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	105

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	106
<b>ANEXOS</b> .....	115

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CENÁRIO

A componente material do desenvolvimento é consumidora de recursos naturais, os quais, sendo finitos, colocam questões relativas à sua disponibilidade e distribuição.

As economias modernas consomem recursos naturais (matérias-primas) de forma crescente na produção de bens e serviços. A construção civil é uma das maiores consumidoras mundiais de matérias-primas naturais. A utilização dos recursos naturais se dá principalmente na fabricação do cimento e no beneficiamento de agregados – miúdo e graúdo – visando à produção de concretos e argamassas.

Em 2006, o consumo de agregados no mundo pode ser mostrado através da Figura 1.1.

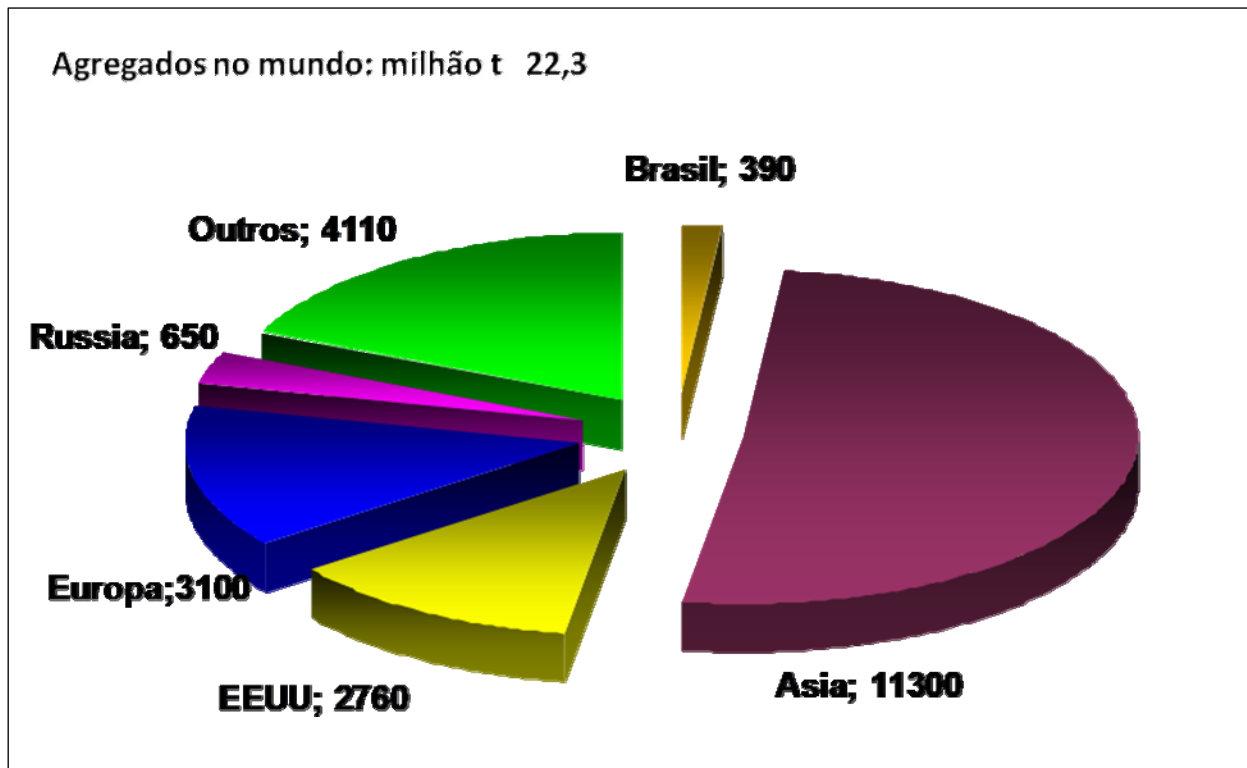


FIGURA 1.1 - CONSUMO DE AGREGADOS NO MUNDO  
FONTE: RELATÓRIO FREEDONIA GROUP

Percebe-se assim, o baixo consumo de agregados pelo Brasil, mais evidente quando analisamos a Figura 1.2, onde o consumo per capita brasileiro foi de 2,1 t/hab/ano em 2006, enquanto que nos EUA, em 2000, o consumo per capita foi de 7,5 t/hab/ano e na Europa Ocidental o consumo por habitante variou de 5 t a 8 t (VALVERDE<sup>1</sup>, 2001 *apud SILVA, 2006*).

	Areia	Brita	Agregados
Produção (t.10 <sup>6</sup> )	231	159	390
Per Capita	1,3	0,8	2,1
Empresas	2000	450	2450
Origem	Leito de rios:70% Várzeas(cavas):30%	Granito: 75% Basalto: 13% Calcário: 9% Outros: 3%	
Tamanho (t/mês /unidade)	60%: 1.500 - 10.000 35%: 10.000 - 25.000 5% >25.000	60% <20.000 30%: 20.000 – 40.000 10% >40.000	
Empregos diretos	45.000	20.000	65.000
Valor bruto (R\$ bilhão)	4,6	4,8	9,4

FIGURA 1.2 – ESTRUTURA DA MINERAÇÃO DE AGREGADOS NO BRASIL  
FONTE: DNPM/ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO (2006)

Os dados mais atualizados para a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) são de 2004, disponibilizados através do Plano Diretor de Mineração para a RMC do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2004).

A Região Metropolitana de Curitiba, pelos dados oficiais de produção, tem um consumo per capita de brita igual ao do Paraná, de cerca de 0,2 t/ano. Este consumo é 4 vezes menor que a média nacional que é de 0,8 t/ano por pessoa, o que sugere problemas com as quantidades declaradas. As frentes de lavras ativas na RMC que produzem brita são cerca de 65, além de outros materiais utilizados diretamente na construção civil (pavimentação, calçamento, guias e subsidiariamente rochas para uso ornamental). Não há dados estatísticos divulgados a respeito da participação dos agregados miúdos de britagem.

<sup>1</sup> VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro. São Paulo: DNPM, 2001.

A Tabela 1.1 apresenta as reservas de pedra britada na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) em 2000, segundo o DNPM, 2004.

TABELA 1.1 – RESERVAS DE PEDRAS BRITADAS NA RMC EM 2000

<b>Reservas de pedras britadas na RMC (m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Município</b>	<b>Medida</b>	<b>Indicada</b>	<b>Inferida</b>
Rio Branco do Sul	39.793.351	2.714.280	-
Almirante Tamandaré	38.158.418	-	-
São José dos Pinhais	25.249.539	28.778.987	-
Quatro Barras	18.832.068	17.808.108	-
Balsa Nova	14.531.250	-	-
Campo Largo	1.198.430	733.904	-
Colombo	563.798	650.799	556.992
Paranaguá	540.191	-	-
Curitiba	441.324	-	-
Campina Grande do Sul	149.04	-	-
<b>Total</b>	<b>139.457.409</b>	<b>50.686.078</b>	<b>556.992</b>

FONTE: DNPM (2004)

Quando analisamos a exploração do agregado miúdo, a produção anual média de agregado miúdo na Região Metropolitana de Curitiba, conforme declarada pelos mineradores no período de 1995 a 2000 foi de 962.140 t/ano (correspondente acerca de 641.427 m<sup>3</sup>). Se considerarmos que a Região Metropolitana de Curitiba é auto-suficiente em agregado miúdo e que a mesma possui uma população de cerca de três milhões de habitantes, isso resulta num consumo per capita de aproximadamente 0,3 t/ano o que é menor que um quarto da média nacional e provavelmente reflete uma subestimação da produção. A Tabela 1.2 mostra as reservas de agregado miúdo na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) em 2001.

TABELA 1.2 – RESERVAS DE AGREGADO MIÚDO NA RMC EM 2001

<b>Reservas de agregado miúdo na RMC em 2001 - (m<sup>3</sup> e t)</b>			
<b>Município</b>	<b>Medida (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Medida (t)</b>	<b>%</b>
Lapa	739.233	1.108.850	9
Balsa Nova	669.785	1.004.678	27
São José dos Pinhais	575.881	863.822	30
Quatro Barras	262.836	394.254	11
Araucária	213.500	320.250	23
<b>Total</b>	<b>2.461.235</b>	<b>3.691.853</b>	<b>100</b>

FONTE: DNPM (2004)

Conforme dados da Associação dos Mineradores de Agregado miúdo e Saibro do Paraná – AMAS/PR, o número de mineradores de agregado miúdo da Região Metropolitana de Curitiba é de 45 produtores, assim distribuídos: Curitiba – 31%; São José dos Pinhais – 25%; Fazenda Rio Grande – 23%, Araucária – 16% e Balsa Nova – 4%, registrando-se pequena produção nos municípios de Campo Largo, Lapa, Adrianópolis e Campina Grande do Sul.

## 1.2 PROBLEMA

Os depósitos de agregado miúdo são constituídos de sedimentos aluvionares recentes. A área de produção se inicia nas cabeceiras do Iguaçu, em Piraquara, estendendo-se pelos municípios de Pinhais, Curitiba, São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Araucária e, em anos mais recentes, Balsa Nova, apesar da distância média de transporte.

Este pólo de produção se constitui numa amostra representativa dos acertos e desacertos da indústria extrativista de agregado miúdo, desde a prospecção e pesquisa, lavra e beneficiamento, distribuição, alterações, efeitos e impactos ambientais decorrentes, além de impasses administrativos e conflitos internos (entre produtores) e externos (com outros grupos e outros usos do solo).

Em Piraquara, Pinhais e Curitiba, as possibilidades de extração estão praticamente eliminadas pelas restrições ambientais, pela criação de áreas de mananciais, além dos conflitos com outros usos, bem como a própria exaustão das reservas. Em São José dos Pinhais ainda existem áreas potenciais de exploração, mas os conflitos com outros usos e a legislação ambiental são reforçados pelas exigências da municipalidade local. Em Fazenda Rio Grande ainda existem áreas potenciais, mas também há extensos passivos ambientais das antigas lavras. Em Araucária existe um processo de recuperação das matas ciliares que vem sendo acompanhado de expressiva participação de organizações não governamentais. A fronteira de exploração deste pólo é Balsa Nova, cujo centro consumidor é Curitiba.

O agregado miúdo é extraído das planícies de inundação do rio Iguaçu e alguns afluentes, onde o relevo é plano, com inundações periódicas. As lavras exibem cavas inundadas como característica comum, de tamanho e forma variáveis, separadas por faixas de terra, e não raramente preenchidas por dejetos diversos. Salvo algumas poucas exceções, as áreas são abandonadas pelos mineradores criando uma paisagem bastante degradada.

A extração do agregado miúdo é feita basicamente por três métodos: garimpagem, desmonte a seco com equipamentos pesados e dragagem. A garimpagem é feita por canoa, com dois a três garimpeiros, com produção marginal e impactos inexpressivos. O segundo método é o desmonte a seco, utilizando-se escavadeiras hidráulicas, p s carregadeiras e caminhões, removendo o capeamento e transferindo-se a agregado miúdo aos caminhões. Quando é o caso, usam-se plantas de lavagem e peneiramento. O terceiro método é a dragagem, realizada no leito ou fora dele, com o uso de escavadeiras e p s carregadeiras, com escavação até o nível freático e depois o uso de uma balsa de sucção de 4 a 8 polegadas. O material dragado é transferido diretamente para um pátio e para os caminhões, ou jogado sobre uma peneira. Nas Fotos 1.1 e 1.2, a seguir, são observados aspectos característicos da extração de agregado miúdo na planície do Iguaçu.



FOTO 1.1 - ÁREA COM EXTRAÇÃO DE AGREGADO MIUDO NA REGIÃO DE ARAUCÁRIA

FONTE: COMEC (2002)



FOTO 1.2 - ASPECTOS DOS AGREGADOS MIÚDOS JÁ LAVRADOS E ABANDONADOS

FONTE: MINEROPAR (2002)

Em função dos métodos descritos, podem ser relacionados os seguintes impactos:

- Impacto visual (paisagístico) gerado pela formação de grande número de cavas, pela inexistência de projetos de recuperação da área minerada;
- Aumento de turbidez dos corpos d'água, pela remobilização de finos;
- Perda do solo vegetal, pela disposição inadequada no decapeamento e falta de conservação antes dos trabalhos de mineração;
- Desmatamento da vegetação de várzea e mata ciliar;
- Desequilíbrio do fluxo hidráulico dos cursos d'água, pelas alterações nos canais e na planície de inundação;
- Poluição das águas pelo eventual lançamento de combustíveis, óleos, graxas e esgoto sanitário;
- Inviabilização do uso futuro do solo para outros fins, pela inexistência de projetos de recuperação da área;
- Impactos sociais derivados. Após a lavra, as áreas degradadas são objeto de ocupação irregular e favelização, além de acúmulo de esgotos e lixo.

Já para a produção do agregado graúdo, as litologias principais usadas são granitos, gnaisses-graníticos, vulcânicas ácidas, gnaisse-migmatitos e diabásios. O agregado graúdo resulta da cominuição de blocos obtidos do desmonte com explosivos de maciços de rocha dura, através de britadores, sendo largamente empregada na confecção de concretos estruturais, pavimentos e obras de infra-estrutura.



Na Região Metropolitana de Curitiba as pedreiras se concentram nos granitos da Serra do Mar (Quatro Barras) e nos complexos de rochas gnáissico-migmatíticas, a sul de Curitiba, geralmente localizadas próximas das grandes vias rodoviárias. As lavras nas pedreiras seguem as seguintes etapas: desmatamento, decapeamento, desmonte a fogo (perfuração, carregamento com explosivos e detonação), que pode incluir o desmonte secundário ou fogacho, britagem, classificação ou peneiramento, carregamento e transporte.

As pedreiras começam a operar afastadas dos núcleos urbanos, mas com o tempo as áreas desvalorizadas do entorno acabam ocupadas. São áreas consideradas de risco, com o desconforto causado pela poeira, ruídos, vibrações e a possibilidade de ultralaçamentos<sup>2</sup>, principalmente onde se usa o fogacho para redução de matacões. Um conjunto de problemas técnicos e operacionais é comum na maioria das lavras existentes no Paraná, em particular as de menor porte ou que ocupam mercados menos competitivos.

Os principais impactos decorrentes das atividades de lavras, nas pedreiras para agregado graúdo e evidenciados na Foto 1.3, são:

- Desmatamento;
- Remoção da cobertura de solo que pode chegar a vários metros;
- Operação de britagem, normalmente processada junto à área de lavra, agrava os problemas de ruídos e poeiras, acentuando os efeitos negativos para a vizinhança e os operários;
- Desmontes mal dimensionados, proporcionando ultralaçamento e vibrações resultantes da propagação de ondas liberadas pelas explosões. Inclui a utilização sistemática e perigosa de fogos secundários (fogacho);
- Destinação não controlada de estéreis, com erosão associada e o aumento da carga sólida das drenagens adjacentes, causando desequilíbrio do fluxo hidráulico dos cursos d'água e modificação do regime hidrodinâmico;
- Entulhamento eventual de cabeceiras de drenagem, pela falta de planejamento na lavra.

---

<sup>2</sup> Segundo a norma NBR 9653 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas, define-se ultralaçamento como arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação.



FOTO 1.3 – ASPECTO DE FRENTE DE LAVRA EM ROCHA CALCÁRIA, NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA, EVIDENCIANDO A FALTA DE PLANEJAMENTO MINEIRO, AUSÊNCIA DE BANCADAS E O ABANDONO DA ÁREA SEM MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO  
FONTE: DNPM (2004)

Diante do exposto, observa-se a ampla degradação ambiental causada pela extração desses materiais, de forma descontrolada e pela ausência de planejamento, evidenciando a necessidade da busca por alternativas de menor impacto ambiental e o estabelecimento de medidas que beneficiem a recuperação das áreas degradadas.

### 1.3 JUSTIFICATIVAS

#### 1.3.1 Ambiental

A crescente urbanização está levando a esterilização ou restrição de exploração de importantes depósitos. Além disso, as restrições ambientais dos órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) à extração de agregado miúdo realizada nas várzeas e leitos de rios estão resultando na migração dos mineradores para locais cada vez mais distantes do mercado consumidor, o que onera o preço final do produto (ALMEIDA e SANTOS, 2008).

BUEST (2006) observa que tais impactos são decorrentes da exploração, muitas vezes desordenada das jazidas e causam graves

problemas ambientais, pois agridem as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens.

A erosão acaba retirando a cobertura vegetal dessas áreas e tornando o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado. Neste sentido, a atual legislação vem obrigando os produtores a lançar mão de técnicas de gerenciamento e de extração ou até de interdição de jazidas que não atendem às suas exigências.

Com isso a busca, pelo meio técnico, de alternativas para a substituição total do agregado miúdo natural tem aumentado significativamente, para fazer frente a esta escassez crescente de oferta e do decorrente aumento de preço do agregado miúdo no mercado.

Na produção dos agregados provenientes da britagem de rochas para a produção de agregados para concreto, ocorre a elevada geração de resíduos. A utilização desses rejeitos traz benefícios para o meio ambiente e maior lucratividade para as empresas produtoras uma vez que o material retirado das jazidas passa a ser mais bem aproveitado, reduzindo as perdas do processo e fornecendo alternativa para o mercado (BUEST, 2006).

### 1.3.2 Econômica

Os bens minerais (agregados) são aqueles que a sociedade necessita em grande quantidade para manter e melhorar sua qualidade de vida. Estes bens minerais são utilizados para a construção da infra-estrutura, habitação, saneamento básico e uma gama de artefatos de cimento e fibrocimento.

Outra particularidade destes insumos é o fato do poder público ser o principal demandante, seja diretamente na construção da infra-estrutura, ou pela contratação da iniciativa privada para a mesma finalidade. Estes insumos minerais são relativamente abundantes e possuem baixo valor intrínseco, com o custo do transporte representando grande participação no preço final. Segundo o sumário mineral de 2000, o transporte responde por 2/3 do preço final dos agregados. A melhor política para o barateamento destes insumos é a reserva de áreas o mais próximo possível dos centros de consumo. Um aumento no custo do produto será arcado por toda a sociedade (DNPM, 2006).

Algumas instituições como Companhia de Habitação (COHAB) e Índice de Custo da Construção calculado pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (ICC/FIPE) estimam que o agregado miúdo responda por cerca de 2,7% do custo final do metro quadrado da construção de residências populares e de 7,7% do custo do metro cúbico do concreto estrutural convencional.

Outro aspecto importante a ser considerado é que no setor mineral a exploração e industrialização destes insumos minerais apresentam as maiores repercussões nas economias locais e regionais.

No processo de industrialização destes insumos é que acontece a maior agregação de valor e geração de emprego e renda, comparativamente a industrialização dos outros tipos de minerais.

Por estas particularidades, substâncias minerais como, os agregados miúdos e graúdos, entre outros, podem ser considerados como "bens minerais sociais" ou "de interesse social". O fato de serem relativamente abundantes, de estarem presentes em grande número de municípios e de uma frente de lavra poder abastecer várias indústrias, são aspectos relevantes para o estabelecimento de políticas futuras que busquem a garantia de abastecimento da sociedade por estes insumos a preços vantajosos (DNPM, 2006).

#### 1.4 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estudar a influência do emprego do agregado miúdo de britagem da Região Metropolitana de Curitiba nas propriedades de argamassas de revestimento no estado fresco e endurecido. Objetivou-se ainda, a identificação de parâmetros influentes nas características reológicas das argamassas no estado fresco, de forma a avaliar o potencial do agregado miúdo de britagem em substituição ao agregado miúdo de origem natural.

## **2 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

### 2.1 DEFINIÇÕES

As argamassas, segundo Azeredo<sup>3</sup> (1978, citado por Tristão, 1995) foram definidas como “materiais de construção constituídos por uma mistura íntima de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água podendo ainda ser adicionados produtos especiais”, podendo ser de assentamento, revestimento, grauteamento e rejunte.

A NBR 7200 (ABNT, 1998) define argamassa inorgânica como “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.” Contudo, a mesma norma esclarece que, no âmbito das normas sobre revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas, os termos “argamassa inorgânica” e “argamassa de revestimentos” são equivalentes.

Assim sendo, o revestimento em argamassa é considerado, segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), como o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, de modo a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final.

As argamassas podem apresentar diferenças de propriedades nos estados fresco e endurecido, de acordo com as funções que estiverem desempenhando. A NBR 13530 (ABNT, 1995) classifica as argamassas com relação à natureza, tipo e número de aglomerantes, propriedades especiais, função no sistema de revestimento e forma de preparo ou fornecimento. Ela classifica ainda os revestimentos segundo o número de camadas aplicadas, o ambiente de exposição, comportamento frente à umidade, a radiação e ao calor e em relação ao acabamento da superfície.

Na verdade, são atribuídas aos revestimentos as funções principais de regularização, decoração e proteção da base. Cincotto<sup>4</sup> *et al.* (1995, citado por Tristão, 1995 e Matos, 2001) observaram que, embora a função do

---

<sup>3</sup> AZEREDO, H. A. **Dosagens de argamassas empregadas na construção de edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – CPGECC/Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1978.

<sup>4</sup> CINCOTTO, M. A. *et al.* **Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo, IPT, 1995.

revestimento seja a de simplesmente cobrir as irregularidades da parede e ser parte constituinte do acabamento estético da edificação, pode, ainda, contribuir para as exigências funcionais de segurança e habitabilidade da edificação. Desta forma, foram propostos alguns requisitos como os mais importantes para argamassas de revestimentos conforme mostra a Tabela 2.1. As funções do revestimento podem ser caracterizadas pela segurança, habitabilidade, compatibilidade com a base e compatibilidade entre materiais (TRISTÃO, 1995). O autor observa ainda que, o revestimento deve apresentar estabilidade mecânica e dimensional, resistência ao fogo e deve constituir-se em uma barreira à penetração de água, além de contribuir para o conforto acústico.

TABELA 2.1 – RELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONJUNTO ARGAMASSA E BASE COM A RESPECTIVA FUNÇÃO DO REVESTIMENTO

<b>Requisitos</b>	<b>Propriedades da argamassa e base</b>
<b>Segurança</b>	Resistência mecânica (resistência à tração e compressão, resistência ao desgaste superficial, resistência ao impacto, resistência ao fogo)
<b>Habitabilidade</b>	Estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico
<b>Compatibilidade com a base</b>	Consistência, plasticidade, trabalhabilidade, aderência, permeabilidade e índice de sucção
<b>Compatibilidade entre os materiais</b>	Durabilidade

FONTE: CINCOTTO *et al.*, 1995 *apud* TRISTÃO, 1995

## 2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA MISTA E A INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES

O processo de melhoria contínua e busca por desempenhos cada vez mais satisfatórios das argamassas faz com que as pesquisas tecnológicas correlacionem as principais propriedades das argamassas com os materiais usados na sua produção conforme observou Tristão (1995).

As pesquisas para o estabelecimento de critérios de desempenho encontram-se no estágio inicial, havendo um longo caminho a ser percorrido

devido ao fato da diversidade dos materiais utilizados e das condições de uso da edificação influenciarem significativamente no seu desempenho (MATTOS, 2001). Ainda segundo Mattos (2001), as propriedades das argamassas para revestimento dependem das características dos materiais constituintes, da proporção entre os mesmos, do processo de mistura e da execução do revestimento, assim como também podem interferir a natureza da base e as condições do meio ambiente.

### 2.2.1 Agregados miúdos

As normalizações nacionais e internacionais recomendam o uso de agregados miúdos com grãos minerais resistentes e limpos, ou seja, a presença de substâncias que prejudiquem o processo de hidratação e endurecimento do cimento, o aspecto visual e a durabilidade dos revestimentos devem ser evitados (TRISTÃO, 1995).

Conforme a norma NBR 7211 (ABNT, 2009) agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm. A granulometria do agregado miúdo é a proporção dos vários tamanhos de partículas presentes e sua análise é realizada quando se deseja obter informações quantitativas da distribuição de tamanhos de grãos presentes.

A distribuição granulométrica do agregado miúdo influencia diretamente no desempenho da argamassa, interferindo na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, no estado fresco; no revestimento acabado, exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM *et al.*, 2003).

Com relação à distribuição granulométrica do agregado miúdo, quanto maior a sua continuidade, maiores serão as resistências mecânicas. Este fato ocorre devido à melhoria no empacotamento da mistura, o qual pode ser demonstrado tanto pelo aumento do coeficiente de uniformidade<sup>5</sup> do agregado

---

<sup>5</sup> Define-se por coeficiente de uniformidade a relação entre o tamanho da abertura de peneira na qual passam 60% em peso de uma amostra representativa e o tamanho da abertura na qual passam 10% em peso dessa mesma amostra. (LUZ e LINS, 2008)

miúdo, como pelo aumento do valor da massa unitária. Carneiro (1999), ao discutir as resistências mecânicas das argamassas, coloca a distribuição granulométrica do agregado miúdo e a porosidade da argamassa como fatores que influenciam nessa propriedade.

Além da granulometria, Bouquety *et al.*(2007) observaram que a forma do agregado miúdo é um parâmetro essencial na influência das propriedades da argamassa e que a maneira como o agregado é obtido influencia significativamente no tamanho e formas dos agregados.

A origem da formação dos agregados miúdos determina a forma de suas partículas. Agregados miúdos naturais tendem a ser arredondadas, devido ao efeito cumulativo de colisões múltiplas e abrasão. Já os agregados miúdos industriais são produtos de trituração que determinam grãos com formas distintas de partículas, que dependem da composição da rocha-mãe, modo de fratura, coordenação durante a trituração, e a relação de redução. O processo de trituração tende a produzir partículas angulares de forma afiada. Partículas angulares de maior dureza produzem um pacote granular de menor densidade, baixa tensão e maior ângulo de atrito no estado crítico quando comparado com os agregados miúdos naturais (CORTES *et al.*,2008).

Então no que se refere ao processo utilizado na obtenção dos agregados miúdos de britagem, a influência do tipo de britagem e o equipamento de britagem são fundamentais no estudo do desempenho das argamassas, conforme Gonçalves *et al.* (2007). Este autor comparou os agregados miúdos de britagem obtidos a partir do cone de esmagamento (processo de britagem) que apresentaram baixa densidade de empacotamento. Os resultados foram argamassas caracterizadas por uma maior porosidade, absorvidade e menor resistência à compressão, provavelmente, devido à forma das partículas do agregado miúdo. Westerholm *et al.* (2006) verificaram que a superfície específica dos finos dos agregados miúdos de origem natural possui correlação com as características reológicas<sup>6</sup> das argamassas. Os

---

<sup>6</sup> A reologia, indicado pelos radicais de origem grega *rheos* (fluir) e *logos* (estudos), é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais quando submetida a uma determinada tensão ou solicitação mecânica externa.



resultados das suas pesquisas mostraram que a forma arredonda das partículas tem influência direta na quantidade de água e trabalhabilidade da argamassa.

O alto teor de finos presentes nos agregados oriundos de britagem primária aumenta a elasticidade da argamassa e também, devido ao aumento do atrito entre as partículas e a sua forma, contribuem na viscosidade plástica. A influência das propriedades devido aos finos dos agregados é amplamente dependente do volume de pasta da argamassa. Dessa forma, com o aumento do volume da pasta, os efeitos negativos de uma distribuição granulométrica não-uniforme ou devido à forma do agregado podem ser eliminados ou reduzidos significativamente (WESTERHOLM *et al.*, 2008).

Tutumler e Pan (2008) investigaram que a angularidade dos agregados contribui, principalmente, para a solidez e a estabilidade da estrutura global dos agregados por meio de confinamento em massa, enquanto a textura da superfície tende a mitigar os efeitos da dilatação através do aumento do atrito entre as partículas individuais do agregado.

Tristão (1995) ao avaliar a influência da composição granulométrica do agregado miúdo natural nas propriedades de argamassas para revestimento, concluiu que argamassas produzidas com agregados miúdos muito uniformes possuem maior consumo de aglomerantes e de água de amassamento. O trabalho apontou indícios de que agregados miúdos bem graduados aumentam a retenção de água e as resistências à compressão e à tração.

Além disso, Carneiro (1999) ainda coloca que a massa unitária e o índice de vazios calculado também são “indicadores relevantes” para a avaliação da compacidade dos agregados miúdos naturais, ressaltando que em conjunto com o coeficiente de uniformidade, deve-se analisar também o perfil da curva granulométrica. Saliente ainda que dois agregados miúdos naturais podem apresentar todos os índices com valores semelhantes, mas suas curvas granulométricas podem ser diferentes a ponto de, ao serem utilizadas em argamassas de mesma composição, resultarem em misturas com comportamentos distintos.

A massa específica de um agregado, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009), é a relação entre massa do agregado seco e seu volume, excluindo os

poros permeáveis e, de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), massa unitária de um agregado no estado solto é a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente normalizado e o volume desse recipiente (Figura 2.1).



FIGURA 2.1 – EXECUÇÃO DO ENSAIO DA MASSA UNITÁRIA  
FONTE: O autor (2009)

## 2.2.2 Cimento Portland

O cimento Portland é o principal responsável pela resistência mecânica das argamassas. Aqueles que se apresentam com maior finura podem tornar as argamassas mais trabalháveis, pois sendo a consistência um dos principais fatores na trabalhabilidade das argamassas, que por sua vez é determinada pela película de pasta que envolve os grãos do agregado, verifica-se assim que quanto mais fino o aglomerante, maior o volume de pasta e, por conseguinte sua influência na trabalhabilidade (TRISTÃO, 1995).

Usualmente, dentre os diferentes tipos de cimento fornecidos pelo mercado, o cimento CP-II-F-32<sup>7</sup> e o CP-II-Z-32<sup>7</sup> são os mais utilizados na região Sul do país, sendo a escolha dependente apenas da disponibilidade da região ou preço. Costa e Mattana (2009) demonstraram que os tipos de cimento interferem nas propriedades reológicas das argamassas devido à granulometria e morfologia do cimento. Especificamente devido as suas adições, como por exemplo, o CP-IV<sup>7</sup>, geralmente, possui maior frequência de partículas finas do que os cimentos CP-II-F e CP-II-Z, interferindo na consistência da pasta, pois intervém no arranjo entre os grãos (partículas) e na quantidade de água absorvida devido à diferença na superfície específica.

---

<sup>7</sup> CP-II-F-32: Cimento Portland composto com filler; CP-II-Z-32: Cimento Portland composto com pozolana; CP-IV: Cimento Portland pozolânico

### 2.2.3 Cal

A cal é um aglomerante inorgânico, produzido a partir de rochas calcárias, composto basicamente de cálcio e magnésio, que se apresenta na forma de um pó muito fino.

Segundo Cincotto *et al.* (2007) a cal é, certamente, o aglomerante mais antigo utilizado pela humanidade. Até a chegada do cimento Portland, em 1824, era o único aglomerante utilizado, em combinação ou não com pozolanas, na construção exposta às intempéries.

O processo de endurecimento da cal quando comparado ao do cimento Portland e do gesso é muito lento, pois depende de difusão do  $\text{CO}_2$  para o interior do produto. A resistência mecânica de produtos a base de cal, bem como o módulo de elasticidade são inferiores aos produzidos com cimento Portland. Porém, a redução do módulo de elasticidade significa menor rigidez à argamassa com cal, o que potencialmente contribui para sua maior durabilidade.

Existem duas formas de cal no mercado: cal virgem e cal hidratada.

A cal virgem é constituída predominantemente de óxidos de cálcio e magnésio, enquanto a cal hidratada é constituída de hidróxidos de cálcio e de magnésio, além de uma pequena fração de óxidos não hidratados. Uma das características mais importantes na engenharia é a sua área específica, cerca de 10 vezes maior que a dos cimentos.

Como acontece com os aglomerantes minerais, a composição química influencia o desempenho da cal. Ela é controlada pela composição da matéria prima e pelas condições do processo de produção. As matérias primas são carbonáticas: os calcários, constituídos essencialmente de dolomita (carbonato de cálcio e magnésio). Na produção, a calcinação não atinge a transformação completa dos carbonatos em óxidos; conseqüentemente, a cal virgem contém sempre presente uma porcentagem residual de carbonatos. A hidratação dos óxidos também não é completa e a cal hidratada contém sempre uma porcentagem de óxidos não hidratados, também chamados de óxidos livres.

As impurezas da matéria prima estão também presentes, como quartzo e argilo-minerais, identificáveis na análise química como resíduo insolúvel, incluindo uma fração clinquerizada, produto da interação do argilo-mineral com o óxido de cálcio.

O aglomerante é o hidróxido, e a capacidade aglomerante da cal hidratada é quantificada pelo teor dos hidróxidos presentes no produto. No caso da cal virgem, antes do seu uso é necessário proceder a hidratação. No entanto, em qualquer cal hidratada, existe uma fração de óxidos não hidratados. Uma fração mais reativa desses óxidos remanescentes, em contato com a umidade, tanto no armazenamento como na argamassa aplicada, pode hidratar-se. Outra fração de óxidos submetida à calcinação excessiva não mais se hidrata, sendo denominados “calcinados à morte”.

Conseqüentemente, o teor de óxidos constitui-se na fração potencialmente aglomerante da cal e os carbonatos residuais constituem-se na fração inerte da cal, embora, devido à sua finura, tenham um efeito físico nas propriedades durante a sua aplicação (CINCOTTO *et al.*, 2007).

Tanto a cal virgem quanto a cal hidratada são constituídas de uma fração efetivamente aglomerante (os hidróxidos), uma fração potencialmente aglomerante (os óxidos), e uma fração inerte (óxidos “calcinados à morte”, impurezas e carbonatos).

## 2.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Analisando as propriedades das argamassas no estado fresco, observam-se a consistência, a trabalhabilidade, a coesão, a retenção de água, a adesão inicial, a densidade de massa e o teor de ar incorporado.

### 2.3.1 Consistência e trabalhabilidade

A consistência é a propriedade reológica pela qual a argamassa resiste à deformação, isto é, trata-se da maior ou menor facilidade da argamassa

deformar-se sob a ação das cargas (CINCOTTO<sup>8</sup> *et al.*, 1995 *apud* SILVA, 2006; TRISTÃO, 1995, CARNEIRO, 1999).

Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência, em secas (a pasta preenche os vazios entre os grãos), plásticas (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e fluidas (grãos imersos na pasta) (SILVA, 2006). Ainda segundo Silva (2006), a consistência é uma relação entre água/aglomerante, aglomerante/agregado miúdo, granulometria do agregado miúdo, natureza e a qualidade do aglomerante.

No Brasil, para a avaliação da consistência da argamassa utiliza-se o ensaio da mesa de consistência (*flow table*) conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996) e são realizados os procedimentos de ensaio para a determinação do índice de consistência segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005). Porém, diversos autores criticam tal ensaio devido à falta de sensibilidade para medir a reologia da argamassa (GOMES *et al.*, 1995; YOSHIDA; BARROS, 1995; JOHN, 2003; NAKAKURA, 2003; CARDOSO *et al.*, 2005; BAUER *et al.*, 2005).

O índice de consistência permite uma avaliação preliminar da relação água/materiais secos para a formulação adotada. Relacionando-se o valor água/materiais secos com as respectivas quantidades de agregado miúdo, investiga-se o teor ótimo de água para cada formulação determinado pelo consumo mínimo de água para a obtenção do índice de consistência-padrão.

Cortes *et al.* (2008) verificaram que um adequado índice de consistência foi atingido quando o volume de pasta excedeu o volume de vazios dos agregados, levando-se em consideração a forma dos agregados.

Para Bauer *et al.* (2005) os atuais equipamentos modernos disponíveis, permitem uma avaliação mais rica do comportamento reológico de argamassas, onde são analisados, inclusive, os parâmetros fundamentais (viscosidade e tensão de escoamento). Estes equipamentos não são amplamente utilizados nos laboratórios de tecnologia das argamassas, devido,

---

<sup>8</sup> CINCOTTO, M. A. *et al.* **Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo, IPT, 1995.

em primeiro lugar, ao seu elevado custo e, em segundo lugar, a algumas dificuldades operacionais.

Outra importante propriedade das argamassas é a trabalhabilidade, haja vista a sua obrigatoriedade para que possa ser convenientemente utilizada (com fácil manuseio), apresentando todo o seu potencial durante o processo de execução do revestimento.

Em argamassas de revestimento, o conceito de trabalhabilidade também inclui a capacidade de proporcionar uma boa aderência ao substrato e facilidade de acabamento superficial, influenciando deste modo em propriedades no estado endurecido.

Sousa e Lara (2005) resumiram as definições à cerca desse termo, conforme mostrado no Quadro 2.1.

AUTOR	DEFINIÇÃO
CINCOTTO, SILVA & CARASEK (1995)	Propriedade que depende e resulta de várias outras, tais como: consistência, plasticidade, coesão, tixotropia e retenção de água, além da exsudação, tempo de pega e adesão inicial, e é diretamente relacionada com o julgamento subjetivo por parte do operário (no caso o pedreiro).
CARASEK (1996)	Habilidade de fluir ou espalhar-se sob a superfície com componente do substrato, por suas saliências, protuberâncias e fissuras, definindo a intimidade do contato entre a argamassa e o substrato relacionando-se assim com a aderência e a sua extensão.
RILEM (1982)	Facilidade de o operário trabalhar com a argamassa, que pode ser entendida como um conjunto de fatores inter-relacionados, conferindo boa qualidade e produtividade na sua aplicação. Considerando ainda que a consistência e a plasticidade são as propriedades reológicas básicas, que caracterizam a trabalhabilidade. Sendo consistência a propriedade pela a qual a argamassa tende a resistir às deformações impostas (o inverso da fluidez) e a plasticidade a propriedade que permite a argamassa deformar sem ruptura, mantendo a forma adquirida após a redução do esforço de deformação.

QUADRO 2.1 – DEFINIÇÕES SOBRE A TRABALHABILIDADE  
 FONTE: SOUSA e LARA (2005)

### 2.3.2 Coesão

A coesão é definida como união e aglutinação. Esta propriedade está diretamente ligada aos constituintes mais finos, isto é, à área específica dos sólidos, sendo a pasta a responsável pela coesão das argamassas (RAGO e CINCOTTO, 1998). Assim sendo, pode-se dizer que a coesão no estado fresco vai refletir-se, no estado endurecido, mais especificamente na resistência à tração. Ainda segundo Rago e Cincotto (1998), considerando o estado endurecido, a coesão tem um significado de tensão e pode ser medida por meio de um ensaio de tração pura. Cabe destacar que, até o momento, não há um método de ensaio no Brasil que determine essa característica em laboratório.

### 2.3.3 Retenção de água

A retenção de água corresponde à propriedade que confere à argamassa a capacidade de essa não alterar sua trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período adequado de tempo quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água, seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação (BAUER *et al.*, 2005).

O aumento da retenção de água da argamassa pode ser conseguido de várias maneiras. Uma delas é aumentar o teor de materiais constituintes com elevada área específica. Em se tratando de aumentar a área específica dos materiais constituintes, apresenta-se como proposição mais usual a utilização de saibro e de cal na argamassa. Esses dois tipos de materiais possuem partículas muito finas, proporcionando uma elevada área específica, conseqüentemente, a área a ser molhada é maior, aparecendo tensões superficiais que tendem a manter a água adsorvida nas partículas. A outra forma de incrementar a capacidade de retenção de água da argamassa é utilizar aditivos cujas características impedem a perda de água, como é o caso dos derivados da celulose (aditivos retentores de água). Green *et al.* (1999) estudaram os efeitos da mistura da cal nas argamassas de cimento e agregado miúdo e verificaram a forte influência da cal nas propriedades de retenção da

água quando comparadas às formulações que possuíam somente cimento e agregado miúdo.

A retenção de água das argamassas é determinada conforme a NBR 13277 (ABNT, 2005) que após sua última revisão passou a adotar os procedimentos prescritos pela CSTB 2669-4; isto é, após se realizar a produção de argamassa, essa é colocada em um equipamento (funil de Büchner, Figura 2.2) a qual é submetida a uma sucção de 51 mm Hg, realizada por uma bomba de vácuo, durante 15 minutos.

Anteriormente, a norma NBR 13277 preconizava o método baseado na quantificação da massa de água retida na argamassa, após essa ser submetida a uma sucção realizada por discos de papel de filtro colocado sobre a argamassa fresca sob uma dada pressão, promovida por um peso assentado sobre os discos durante 2 min. Nessa metodologia, a argamassa era confinada lateral e inferiormente em um recipiente, ficando apenas com a face superior exposta, em contato com os discos de papel-filtro. A perda de água, portanto, era dada através da sucção promovida pela absorção de água dos papéis de filtros. Observa-se que a força gravitacional e a tensão gerada pelo confinamento agiam impedindo a perda de água da amostra.

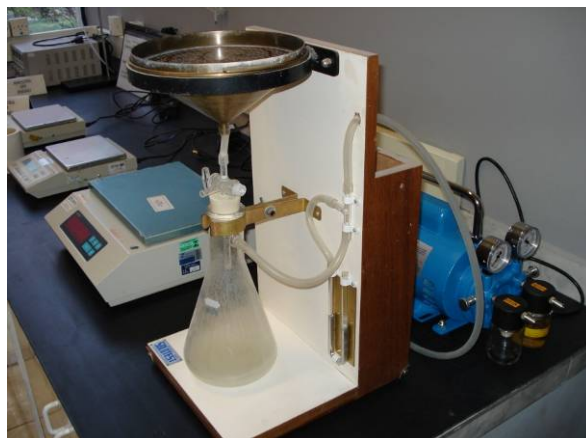


FIGURA 2.2 – FUNIL DE BÜCHNER  
FONTE: O autor (2009)

A metodologia que emprega o funil de Büchner, na determinação da retenção de água das argamassas fornece informações úteis para verificação dessa propriedade, além de ser de fácil execução e apresentar resultados pouco dispersos (BAUER *et al.*, 2005).



Em argamassas para revestimento, a retenção de água influencia no tempo disponível para a sua aplicação, regularização e desempenho, assim como afeta algumas propriedades no estado endurecido ao influenciar as reações dos aglomerantes durante a cura. Porém, esta propriedade pode variar em função das condições do ambiente e das características de absorção da base (MATTOS, 2001). Ainda segundo Mattos (2001), a retenção de água está relacionada com a retenção de consistência, dado que a argamassa tende a conservar a água necessária para molhar a superfície dos materiais, possibilitando que as reações de hidratação dos aglomerantes se processem.

A retenção de água também influencia na retração por secagem, que é uma das principais causas de fissuração das argamassas no estado endurecido, devido à velocidade de evaporação da água de amassamento, prejudicando a estanqueidade e a durabilidade do revestimento (CARNEIRO, 1999).

#### 2.3.4 Adesão inicial

Para Cincotto *et al.*, (1995, citado por Mattos, 2001 e Silva, 2003) a adesão inicial da argamassa à base está relacionada com a reologia da pasta aglomerante, sendo influenciada pela trabalhabilidade da argamassa e pela textura ou porosidade da base, sendo também afetada pela presença ou não de tratamento prévio com o objetivo de melhorar a superfície de contato entre estes materiais.

Do ponto de vista físico-químico, quando duas superfícies estão em contato, a interação entre elas é chamada de adesão – fenômeno que atua no nível microscópico das partículas. As partículas são atraídas para o substrato (ou por outras partículas) devido às interações intermoleculares como as forças de Van der Waals, forças eletrostáticas, tensão superficial, forças capilares e reações químicas (ANTUNES, 2005).

Assim, do ponto de vista fundamental, a adesão é a soma das interações intermoleculares que ocorrem na interface entre as superfícies de contato, cujo somatório é uma força de atração entre as moléculas distintas. Do

ponto de vista prático, é expressa como a força ou o trabalho necessário para romper o contato entre as duas superfícies (PÓVOAS, 2005).

#### .2.3.5 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio de densidade de massa e do teor de ar incorporado é determinado a partir da massa específica das argamassas, conforme prescreve a NBR 13278 (ABNT, 2005). A avaliação dos resultados pode revelar que o teor de ar influencia a trabalhabilidade e também pode impactar nos valores de resistência mecânica das argamassas, mas em contrapartida pode beneficiar para uma melhor deformabilidade das argamassas. Além disso, o teor de ar incorporado contribui para o impedimento da passagem de água para o interior da argamassa pelo fenômeno da capilaridade, pois as bolhas de ar incorporado podem interromper parte dos poros capilares das argamassas.

## 2.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

### 2.4.1 Resistência à tração na flexão e à compressão axial

A resistência mecânica das argamassas está relacionada à sua capacidade de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, decorrentes de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações, ou decorrentes de efeitos das condições ambientais.

A resistência à compressão é a característica mais comumente determinada tanto para argamassa de assentamento como para argamassa de revestimento. Entende-se que esta propriedade, importante para o controle de produção do cimento e adotada para a argamassa, verifica a uniformidade de produção. No entanto, como propriedade para posterior associação com o desempenho, parece que a resistência à compressão está mais associada à argamassa de assentamento pela forma como vai ser solicitada no sistema de vedação; no sistema de revestimento de argamassa, a solicitação maior é de tração ou cisalhamento, pois a argamassa deve suportar os esforços de tensões no sentido de evitar a fissuração de revestimento.

Os revestimentos de argamassas estão mais associados à resistência à tração na flexão do que a resistência à compressão e, muitas vezes, a baixa

resistência à tração na flexão não permite ao revestimento suportar os esforços de tensões, ocasionando desta forma as manifestações patológicas nos revestimentos, tais como, fissuração.

#### 2.4.2 Densidade de massa

Densidade de massa no estado endurecido é a relação entre a massa e o volume aparente da argamassa.

O valor da densidade de massa da argamassa é um indicativo da compacidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto; determina indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação.

#### 2.4.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

A absorção de água representa a capacidade que a argamassa possui de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação.

Essa característica é importante, pois permite a adequada hidratação do cimento, o endurecimento da argamassa de forma gradativa, garantindo o desempenho esperado no revestimento ou no assentamento.

Uma argamassa retém naturalmente a água usada no amassamento, molhando a superfície dos grãos de areia e do aglomerante e preenchendo os vazios; o excesso de água pode sair da mistura por exsudação, evaporação ou sucção da base (BASTOS, 2009). O aumento da absorção de água da argamassa pode ser conseguido com aumento da superfície específica dos constituintes ou com aditivos que, por suas características, adsorvem a água ou impedem sua percolação através da massa sólida.

#### 2.4.4 Coeficiente de capilaridade

Os revestimentos de argamassa têm como função primordial numa edificação, entre outras, a impermeabilidade à água, principalmente quando for externo. Este fenômeno pode ser compreendido através da movimentação da

água pelos capilares do revestimento de argamassa utilizando o coeficiente de capilaridade.

O ensaio para determinar o coeficiente de capilaridade realizado em corpos-de-prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 mm, aos 28 dias, conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005) que adotou as recomendações do CSTB 2669-4 (1993).

O CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*) propõe um ensaio que determina a curva de capilaridade, com  $\sqrt{t}$  no eixo das abscissas e  $100m/s$  no eixo das ordenadas, onde  $m$  é a massa de água absorvida e  $s$  a seção transversal do corpo de prova. O coeficiente de capilaridade é igual à declividade da reta da curva que passa pelos pontos representativos das medidas há 10 minutos e 90 minutos. Determinando-se este coeficiente observa-se a identificação obtida com os resultados dos coeficientes de absorção de água.

## 2.5 COMPORTAMENTO REOLÓGICO NO ESTADO FRESCO

Reologia é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais quando submetidos a uma determinada tensão ou solitação mecânica externa. Em sólidos e líquidos perfeitos, a relação entre a tensão aplicada e deformação resultante é linear. No caso dos sólidos elásticos, estes se deformam proporcionalmente à carga aplicada. Grande parte dos sólidos e fluidos de interesse tecnológico apresenta características reológicas intermediárias mais complexas. Independente do grau de complexidade envolvido, o comportamento reológico dos materiais é usualmente descrito através de relações matemáticas entre a tensão aplicada ( $\tau$ ) e sua respectiva deformação ( $\gamma$ ), além de variações com o tempo (BANFILL, 2005).

De um modo geral, a reologia, como ciência, aborda o comportamento de fluidos homogêneos, dentre os quais se destacam os líquidos, suspensões de partículas e emulsões (misturas líquido-líquido).

O comportamento reológico das argamassas tem sido objeto de estudo, nos últimos anos, por diversos autores (BANFILL, 2005; ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A. S., 2005; PAIVA *et. al*, 2006; SENFF *et. al*,

2009), que tem atribuído como comportamento reológico típico das argamassas, o modelo de Bingham que é caracterizado pela medida de dois parâmetros – elasticidade e viscosidade.

O comportamento reológico dos fluidos se divide em dois grandes grupos: Newtonianos e Não-Newtonianos. O caso mais simples é representado por uma relação linear entre a fluidez e a força aplicada no corpo, chamado de curva Newtoniana. Os líquidos newtonianos fluem a uma taxa constante proporcional à força. Neste caso, a constante de proporcionalidade entre as duas grandezas é a viscosidade absoluta, que varia apenas com mudanças de temperatura e pressão (RODOLPHO, 2007).

A Figura 2.3 mostra as formas comuns de comportamento ao escoamento das suspensões coloidais.

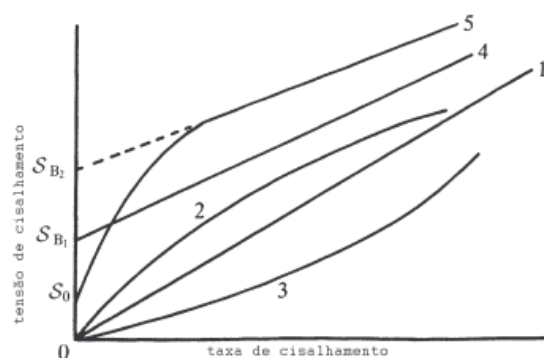


FIGURA 2.3 – FORMAS COMUNS DO COMPORTAMENTO AO ESCOAMENTO DAS SUSPENSÕES COLOIDAIS. (1) NEWTONIANO; (2) PSEUDOPLÁSTICO; (3) DILATANTE; (4) PLÁSTICO BINGHAMIANO; (5) PLÁSTICO NÃO IDEAL (HUNTER<sup>9</sup>, 2001 apud COSTA, 2006)

Para suspensões concentradas, a relação entre a tensão e a taxa de cisalhamento não segue a expressão descrita por Newton, e outras equações de estado reológico são necessárias para descrever o comportamento dessas suspensões. A complexidade associada à reologia aumenta no caso das pastas e argamassas, onde o comportamento do fluido passa a ser também dependente da cinética de hidratação do cimento (PILEGGI *et al.*, 2003). As argamassas no estado fluido (fresco) são

<sup>9</sup> Hunter, R. J. **Fundations of colloid science**. 2 ed. New York, Oxford University Press, 2001.

suspensões reativas, cuja consistência é modificada ao longo do tempo, sobretudo pela atuação do cimento (ANTUNES, 2005).

A diferença fundamental entre um fluido Newtoniano e um fluido não Newtoniano está na relação existente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Ou seja, para um fluido Newtoniano a relação é linear e para um fluido não Newtoniano a relação é não-linear.

Matematicamente, a viscosidade é a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento, que por sua vez é o diferencial da velocidade em relação à distância da camada mais externa em fluxo à camada estacionária (detalhada na Figura 2.4). Durante o fluxo viscoso, a energia mecânica é dissipada na forma de calor e a tensão que se desenvolve depende da taxa de deformação aplicada. Quanto menor a viscosidade de um fluido, menor será a tensão de cisalhamento necessária para submetê-lo a uma determinada taxa de cisalhamento constante.

A forma das partículas influencia a fluidez de suspensões aquosas de partículas sólidas, sendo que, quanto maior a irregularidade de forma, maior será a sua viscosidade. Devido aos efeitos de massa e à baixa área específica, a movimentação das partículas mais grossas tende a influenciar a facilidade ao espalhamento da argamassa. A presença de partículas com elevada rugosidade superficial e formato assimétrico acentua o atrito durante as colisões, dificultando também o fluxo (CATRO; PANDOLFELLI, 2009).

A Figura 2.4 mostra que a velocidade máxima ocorre na placa em movimento, de área A em contato com o líquido e vai diminuindo até zero na placa estacionária. Para líquidos de menor espessura, para a mesma velocidade, a taxa de cisalhamento é mais alta.

Para o estudo do comportamento das argamassas no estado fresco, usualmente, os ensaios utilizados para sua caracterização são o índice de consistência (*Flow table*), e de penetração de uma esfera padrão (*Dropping ball*).

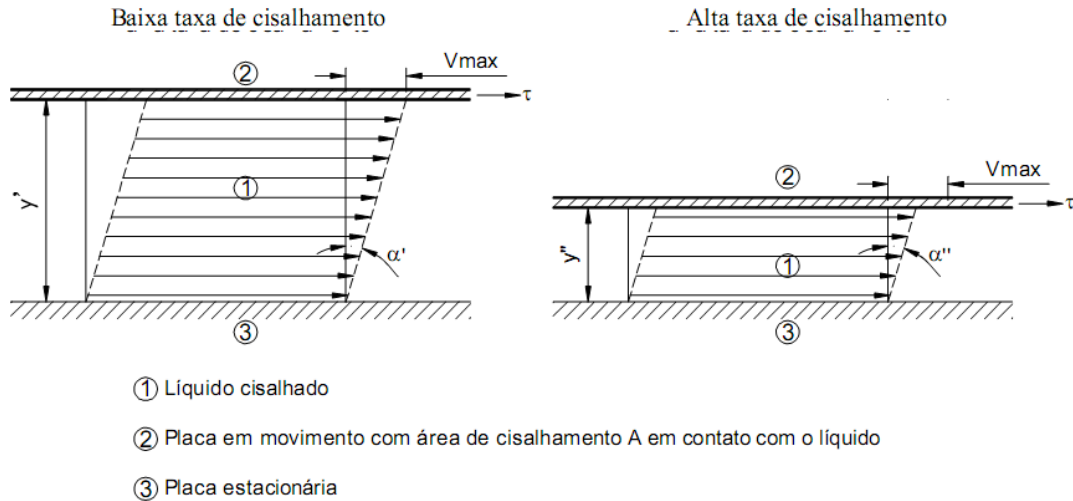


FIGURA 2.4 - DESCRIÇÃO DO MECANISMO DE CISALHAMENTO DE CAMADAS ADJACENTES DE UM LÍQUIDO  
 FONTE: BARBOSA (2007)

O ensaio índice de consistência pela mesa de espalhamento (*Flow table*), no qual a amostra é moldada na forma de um cone padrão e, após a retirada do cone, o material é submetido a sucessivos impactos, não possibilita a distinção entre a contribuição da tensão de escoamento e da viscosidade. Portanto, não é uma técnica eficiente a ser empregada na caracterização reológica de misturas como as argamassas. E como já citado anteriormente carece de uma maior sensibilidade por fornecer somente uma única medida como parâmetro reológico (AZEREDO, G.; MOREL, J. – C.; LAMARQUE, C. – H., 2008).

O ensaio de penetração de uma esfera padrão (*Dropping ball*) é baseado na queda livre de uma esfera (com tamanho, peso e altura da queda padronizados) sobre uma argamassa moldada em um cilindro metálico. O resultado do ensaio é o índice de penetração expresso em milímetros, dado pela profundidade de penetração da esfera após a queda livre. É um ensaio relacionado com a tensão de escoamento, mas não considera a influência do impacto da bola no material e a densidade da argamassa (CARDOSO *et al.*, 2005 ; SILVA *et al.*, 2005).

As técnicas de ensaio se desenvolveram para a reometria rotacional em equipamentos chamados reômetros, pois caracterizam a viscosidade e a

tensão de escoamento de fluidos simultaneamente, pelo cisalhamento do fluido entre duas superfícies submetidas à rotação simultânea ou não. Nos reômetros, o torque aplicado ao fluido pode ser controlado para obter o cisalhamento resultante ou o cisalhamento aplicado é controlado e a força é registrada, e permite o monitoramento do comportamento do material em função do tempo. Reômetros como “BTRHEOM” desenvolvido por De Larrard com o sistema placa-placa, e o IBB por Beaupré, com sistema planetário, são exemplos do desenvolvimento de equipamentos adequados à caracterização reológica de fluidos (COSTA, 2006).

As Figuras 2.5 e 2.6 mostram o reômetro “BTRHEOM” e o reômetro IBB, respectivamente. A Figura 2.7 mostra o reômetro brasileiro para concreto (RCB-01) desenvolvido por Pileggi e Pandolfelli, o qual apresentou um avanço tecnológico sobre os demais, pois é o único reômetro capaz de analisar desde o comportamento de mistura, até a natureza reológica dos materiais no estado fluido. Um reômetro comumente utilizado na caracterização reológica de pastas é o viscosímetro de “Brookfield”, o primeiro viscosímetro comercial com rotação controlada (Figura 2.8). Este equipamento mede a viscosidade da pasta pela velocidade fixa de rotação de uma ferramenta chamada “spindle” que fica imersa no fluido (PILEGGI; PANDOLFELLI, 2003).

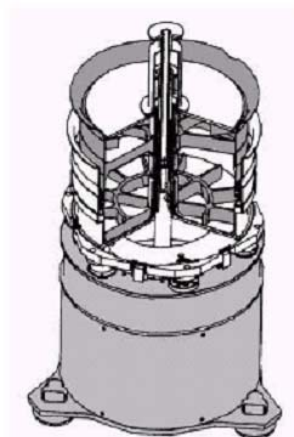


FIGURA 2.5 – REÔMETRO BTRHEOM  
FONTE: (DE LARRAND<sup>10</sup>, 1999 *apud* SOUSA, 2005)

<sup>10</sup> DE LARRARD, F. **Concrete mixture proportioning** – a scientific approach. New York: E & FN SPON, 1999. 421p.





FIGURA 2.6 – IBB Concrete Rheometer  
 FONTE: (BANFILL *et al.*<sup>11</sup>,2000 *apud* SOUSA, 2005)



FIGURA 2.7 – REÔMETRO DESENVOLVIDO POR PILEGGI E PANDOLFELLI  
 FONTE: PILEGGI; PANDOLFELLI (2003)

<sup>11</sup> BANFILL, P. F. G.; BEAUPRÉ, D.; CHAPDELAINE, F.; *et al.* **Comparison of concrete rheometers:** International tests at LCPC - NISTIR 6819. Nantes: National Institute of Standards and Technology, 2000. 147p.

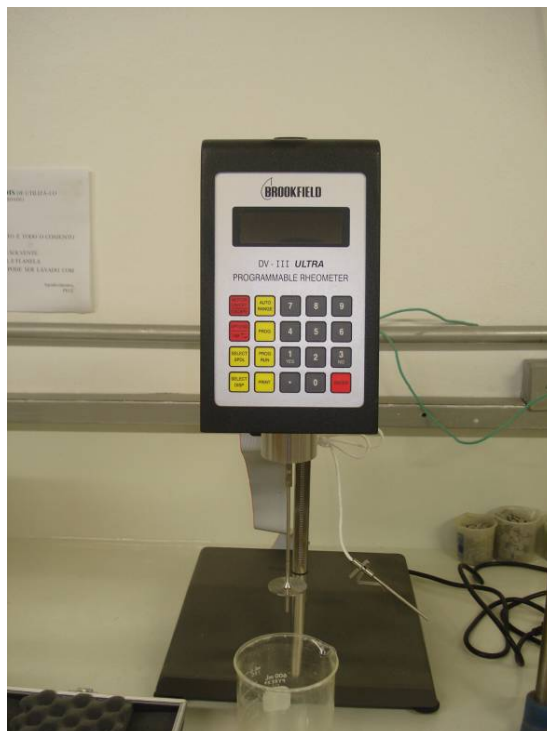


FIGURA 2.8 – VISCOSÍMETRO DE BROOKFIELD  
FONTE: O autor (2010)

O método de ensaio reológico denominado “*Squeeze flow*” (escoamento por compressão axial) é usualmente utilizado na avaliação das propriedades da maioria das pastas viscosas (alimentos, cosméticos, polímeros, pastas cerâmicas e outros). Neste ensaio, o escoamento do material decorre da aplicação de uma carga de compressão sobre a amostra no estado fresco, a qual ocasiona deslocamentos no seu interior devido aos esforços de cisalhamento radiais oriundos durante o fluxo (TOUTOU; ROUSSEL; LANOS, 2004); (ENGMANN; SERVAIS; BURBIDGE, 2005); (CARDOSO; JOHN; PILEGGI, 2009).

No “*Squeeze flow*”, o conjunto molde e corpo de prova se movem e é possível analisar o efeito de heterogeneidade, aproximando-se mais as condições de ensaio da situação de aplicação da argamassa na prática de obra. Os ensaios de reometria rotacional (reômetros) não consideram o efeito do atrito dos agregados em argamassas, pois a haste que aplica o torque fica fixa e mantém a distância fixa com a parede da cuba de ensaio. Em reometria rotacional, relaciona-se torque com a rotação e no “*Squeeze flow*” a carga com o deslocamento.

Dentre todas as técnicas de caracterização reológica pesquisadas, o ensaio “*Squeeze flow*” é o mais indicado para as argamassas frente à sua versatilidade de adaptação de geometrias de ensaio e formas de aplicação de carga, possibilitando a simulação de esforços semelhantes àqueles sobre os quais estão sujeitas as argamassas na prática de revestimento de paredes.

O ensaio consiste em medir o esforço necessário para comprimir um corpo-de-prova cilíndrico de uma suspensão entre duas placas paralelas (Figura 2.9) e pode ser realizado em equipamento do tipo máquina universal de ensaios.

O princípio fundamental do método de “*Squeeze-flow*” reside no fato de que a deformação efetiva do material comprimido entre as placas ocorre por cisalhamento radial quando a razão entre o diâmetro e a espessura da amostra for elevada ( $D/h \gg 5$ ), tendo sido definido um porta-amostra (PVC) com geometria cilíndrica de 1 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Razões inferiores levam ao surgimento de tensões de compressão (MEETEN<sup>12</sup>, 2000 *apud* ANTUNES, 2005).

O método permite a variação da taxa de cisalhamento e também a magnitude das deformações, podendo ser utilizado para determinação de diversos parâmetros reológicos e também a simulação de situações práticas.

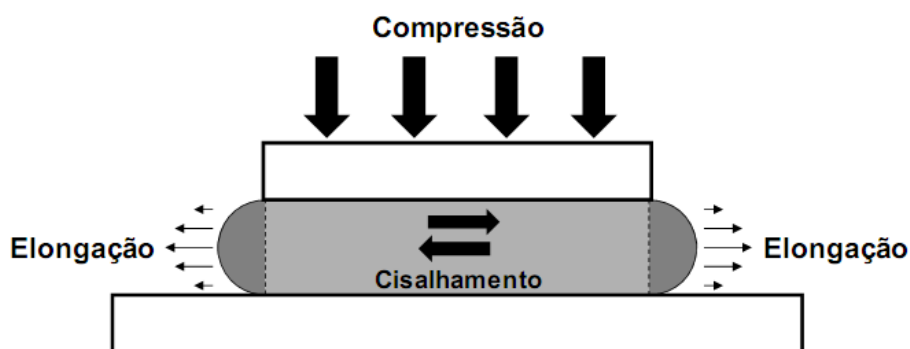


FIGURA 2.9 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO REOLÓGICO DE “SQUEEZE-FLOW” IDENTIFICANDO AS SOLICITAÇÕES INTERNAS À AMOSTRA

FONTE: LOFRANO *et al.*(2009)

<sup>12</sup> MEETEN, G. H. Yield stress of structured fluids measured by squeeze flow. *Rheol Acta*, 39, 2000. Pp 399 – 408.

Existem diferentes configurações para o aparato de ensaio. Em cada uma delas, as componentes de atrito e de escorregamento entre a amostra e a placa de aplicação de carga ou a base, exercem influência na distribuição de tensões. Para Lofrano *et al.* (2009) a mudança de rugosidade da placa no caso específico das argamassas reflete situações práticas de sua aplicação como, por exemplo, sobre blocos cerâmicos, de concreto ou chapisco.

Para o presente trabalho, o punção móvel utilizado tem a mesmo diâmetro da amostra, visando garantir a aplicação da carga sobre toda a superfície da mesma. O carregamento durante o ensaio é realizado por compressão simples controlada por deslocamento que é a forma mais frequentemente empregada (KOLENDA<sup>13</sup> *et al.*, 2003 *apud* ANTUNES, 2005). A taxa de deslocamento adotada foi mantida constante e igual a 0,1 mm/s por tratar-se de uma velocidade intermediária de ensaio que, a partir dos testes realizados, mostrou-se representativa para as argamassas em estudo. O deslocamento máximo foi estabelecido, inicialmente, de 5 mm por simular, provavelmente, esforços próximos das solicitações que a argamassa de revestimento ou assentamento estará sujeita na prática.

Como discutido por Cardoso *et al.*(2005), durante o impacto com a base a argamassa é solicitada em altas taxas de cisalhamento e grandes deformações, enquanto nas etapas subsequentes de sarrafeamento e desempenho as deformações e taxas de cisalhamento podem ser muito variáveis.

Apresentam-se na Figura 2.10 uma foto do equipamento utilizado no ensaio e na Figura 2.11 o perfil típico obtido de um ensaio de “*Squeeze flow*” com deslocamento controlado expresso na forma de carga *versus* deslocamento. As três regiões bem definidas presentes no perfil típico carga *versus* deslocamento são agrupadas em relação à resposta do material à deformação imposta.

---

<sup>13</sup> KOLENDA, F. *et al.* Identification of rheological parameters by the squeezing test. **Powder Technology**, v.130, 2003, p. 52-56.



FIGURA 2.10 – FOTO DA PRENSA UNIVERSAL DE ENSAIOS EMIC MODELO DL 10.000 UTILIZADA NO ENSAIO “SQUEEZE FLOW”, NO LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS – LAME  
 FONTE: O autor (2009)

O estágio I do gráfico (Figura 2.9) é relativo a pequenas deformações, mostrando a deformação elástica do material, ou seja, a relação linear entre carga e deslocamento. Com a progressão do deslocamento para níveis intermediários, inicia-se o estágio II, no qual a compressão supera as forças que mantinham o material sob comportamento elástico, ocorrendo a deformação radial alongacional e de cisalhamento. Para o estágio III, há a necessidade de um aumento expressivo de carga de compressão para o mesmo deslocamento, pois o sistema está mais tensionado e ocorre a aproximação dos agregados, verificando-se a influência do atrito entre os mesmos.

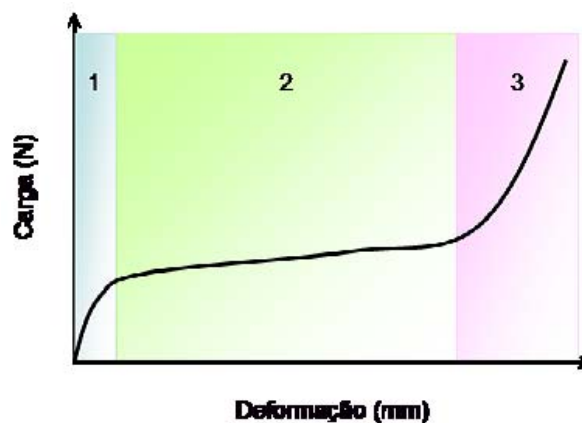


FIGURA 2.11 – PERFIL TÍPICO CARGA *VERSUS* DESLOCAMENTO DE UM ENSAIO SQUEEZE-FLOW REALIZADO COM DESLOCAMENTO CONTROLADO. ESTÁGIO I: PEQUENO DESLOCAMENTO – DEFORMAÇÃO ELÁSTICA; ESTÁGIO II: DESLOCAMENTO INTERMEDIÁRIO – DEFORMAÇÃO PLÁSTICA E/OU FLUXO VISCOZO; ESTÁGIO III: GRANDE DESLOCAMENTO – ENRIJECIMENTO POR DEFORMAÇÃO  
 FONTE: CARDOSO *et al.*(2005)

No presente trabalho, o ensaio *Squeeze flow* visou identificar quais as influências que os agregados miúdos estudados podem causar nos parâmetros do ensaio - tensão de escoamento ou viscosidade das argamassas diante da sensibilidade expressa por esse ensaio e, além disso, foi possível, ainda, quantificar esses parâmetros de uma forma aproximada, através do conjunto de informações que o ensaio forneceu. As argamassas são submetidas a altas taxas de cisalhamento e grandes deformações no momento da sua aplicação, como citado anteriormente. Além disso, a viscosidade define a sua facilidade de manuseio e após a aplicação, a tensão de escoamento passa a ser o parâmetro principal, pois define a fixação da argamassa sem que ocorra o escorregamento desta.

### 2.5.1 Parâmetros que influenciam o comportamento reológico

O comportamento reológico das argamassas é complexo, pois estas apresentam uma natureza bifásica (agregados e pasta) e reativa, características variáveis dependendo da finalidade (revestimento ou colante) e, ainda, são submetidas a diversas solicitações nas etapas de mistura, aplicação e acabamento.

As características reológicas das suspensões são afetadas por diversos fatores, entre eles: concentração volumétrica de sólidos, características do meio líquido, temperatura, tempo decorrido desde o início da mistura (especialmente no caso de suspensões reativas), características físicas das partículas (distribuição granulométrica, densidade, morfologia, área superficial e rugosidade) e tipo de interação das partículas no meio (estado de dispersão) (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Para baixas concentrações (menores do que 5% em volume), onde se verifica uma frequência relativamente baixa de colisões entre essas partículas, a viscosidade de suspensão é normalmente constante em função da taxa de cisalhamento, e a suspensão comporta-se como um fluido newtoniano (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009); (FERRARIS; DE LARRARD, 1998).

As argamassas no estado fresco são suspensões reativas de partículas sendo que sua quantidade e tamanho influenciam diretamente as propriedades reológicas. A grande quantidade de finos representada pelas partículas de

cimento e adições (cinza volante, filer calcário, entre outros) e fração graúda (agregados), deve ser analisada com cautela, já que esse grupo de partículas tem comportamentos distintos e que afetam diretamente as propriedades reológicas das argamassas.

Os dois grupos de partículas se distinguem por forças de naturezas distintas, é o caso da: forças de superfície, que se aplicam às partículas pequenas (sub-micrométricas e/ou micrométricas) com área superficial específica elevada, e forças mássicas, que se aplicam as partículas graúdas (milimétricas) com área superficial específica pequena. Desta maneira, as argamassas apresentam manifestações de ambos os domínios de forças, dando origem a, pelo menos, das fases distintas: a matriz, constituída pelas partículas inferiores a 100  $\mu\text{m}$  e os agregados, construídos pelas partículas maiores (PILEGGI, 2001).

A matriz é composta de partículas finas, aglomerantes e adições minerais, água e aditivos. Devido às reduzidas dimensões de seus constituintes as forças de superfície prevalecem sobre as forças mássicas, controlando a forma como as partículas interagem e, conseqüentemente, seu comportamento (ANTUNES, 2005).

As partículas individualizadas diminuem a perturbação no fluxo ocasionando a baixa viscosidade da matriz. Partículas aglomeradas constituem uma barreira a ser vencida pelo fluxo ocasionando um gasto maior de energia, aumentando a viscosidade, conforme a Figura 2.12. Assim, a viscosidade é uma medida da resistência que o fluido oferece ao escoamento. A viscosidade da suspensão vai sendo alterada à medida que a concentração de sólidos aumenta.

Conforme se observa na Figura 2.12, a quantidade de sólidos na mistura aumenta a perturbação das linhas de fluxo, aumentando a sua viscosidade. Quanto maior a proporção de sólidos da mistura relativa à quantidade de água, maior será a interferência entre as partículas, dificultando a fluidez. Esse raciocínio cabe tanto para a pasta de cimento, na qual o cimento está em contato com a água de mistura, quanto para a argamassa, na qual os agregados miúdos estão envoltos pela pasta de cimento. Em ambas as situações, a influência da concentração de sólidos sobre o desempenho

reológico se faz presente, pois se tratam de misturas granulares em suspensão na água (COSTA, 2007).

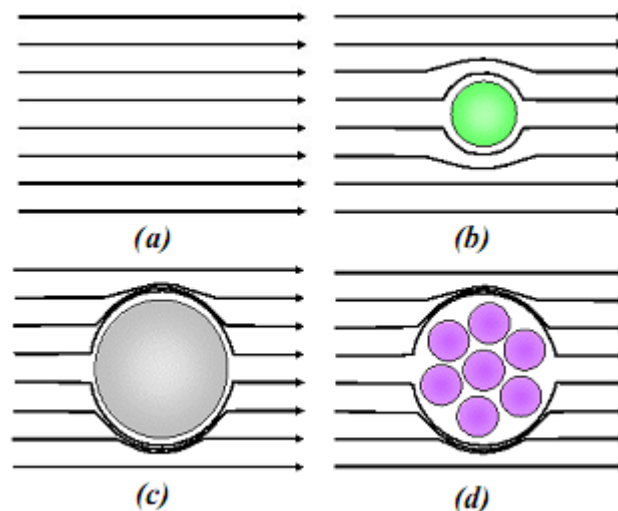


FIGURA 2.12 – SEQUÊNCIA ESQUEMÁTICA DA PERTURBAÇÃO CAUSADA PELA PRESENÇA DE UMA PARTÍCULA OU UM AGLOMERADO SOBRE AS LINHAS DE FLUXO DE UM LÍQUIDO SUBMETIDO AO CISALHAMENTO: (a) FLUIDO ISENTO; (b) PERTURBAÇÃO DEVIDA A UMA PARTÍCULA DE PEQUENO DIÂMETRO; (c) PERTURBAÇÃO DEVIDA A UMA PARTÍCULA DE MAIOR DIÂMETRO; (d) PERTURBAÇÃO CAUSADA DEVIDO A UM AGLOMERADO DE PEQUENAS PARTÍCULAS (PILEGGI, 2001 *apud* ANTUNES, 2005)

A aglomeração das partículas do cimento ocorre antes do início da mistura com a água, devido à presença da umidade do ar. Com o início da adição da água de amassamento, outros aglomerados tendem a se formar, devido ao aumento das forças de atração de *van der Waals*, e à formação de um filme líquido na superfície das partículas (camada adsorvida de ligação) que aumenta o diâmetro das mesmas. À medida que mais água vai sendo adicionada à mistura, aumenta o número de partículas envolvidas por esta camada e, somente quando o teor de água for suficiente para recobrir a superfície das partículas e preencher os seus vazios (porosidade), o teor crítico de água é atingido e o acréscimo de água a partir deste estágio tende a reduzir a viscosidade da suspensão (PILEGGI, 2001).

Quanto mais concentrada se apresentar a suspensão e quanto maior a área superficial das partículas, maior será a quantidade de água necessária para distanciá-las e tornar a mistura menos viscosa. Portanto, a relação água/cimento influencia a viscosidade da suspensão, pois altera o distanciamento entre as partículas para teor de água superior ao crítico. Cabe



destacar que em algumas situações a adição de água não é suficiente para atingir a viscosidade requerida, sendo necessário o emprego de aditivos dispersantes (FERRARIS; DE LARRARD, 1998).

### 2.5.2 Influência da distribuição granulométrica das partículas no comportamento reológico

As propriedades reológicas de suspensões são influenciadas por partículas conforme sua quantidade e dimensões, relacionadas pela distribuição granulométrica onde se verificam as variações dimensionais e quantitativas de partículas que compõe a mistura. Nas argamassas, a fração fina é representada, na sua maioria, pelas partículas de cimento, e a fração graúda, pelo agregado miúdo.

Bonin *et al.*(1999) investigaram o impacto do teor de finos em agregados miúdos desuniformes com distribuição granulométrica contínua ou descontínua, e indicavam a necessidade de investigação para o emprego da composição dos agregados miúdos com uma otimização na sua distribuição granulométrica.

Conforme a reologia, as partículas finas formam a matriz que envolve a fração graúda (agregados), assim é necessária a análise dos fenômenos que ocorrem em ambos os grupos de partículas para a compreensão das propriedades reológicas das argamassas (PILEGGI, 2001).

O fluxo da mistura é influenciado pela quantidade de matriz e suas características reológicas (viscosidade e tensão de escoamento). A quantidade de matriz que envolve o agregado deve ser suficiente para um adequado fluxo. O excesso de matriz e viscosidade elevada ocasiona dificuldades no fluxo da mistura, ocorrendo o escoamento somente se forem aplicadas tensões superiores à tensão de escoamento da matriz. Pouca quantidade de matriz possibilita choque entre os agregados da fração graúda, tornando a mistura muito fluida, com baixa tensão de escoamento e inadequada à utilização, conforme a sua destinação (COSTA, 2007).

A fração graúda influencia a mistura com relação à dificuldade espacial de movimentação entre os agregados, função da proporção matriz/agregado e do atrito entre os grãos. Assim o equilíbrio quantitativo entre matriz e agregado, possibilita o equilíbrio das forças internas (de superfície e mássicas) que atuam

na mistura e permite devido o adequado desempenho reológico, a sua aplicação prática. A presença da matriz entre os agregados lubrifica seu contato e a mistura passa a ser dominada pelas forças de superfície (ANTUNES, 2005).

Ainda com relação à influência da granulometria das partículas no comportamento reológico de suspensões, há o grau de empacotamento de partículas, onde o conjunto da fração fina e da fração graúda determina um grau de empacotamento à mistura.

O estudo do empacotamento de partículas pode ser definido como o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos por partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009). A Figura 2.13 apresenta alguns exemplos de empacotamento de partículas.

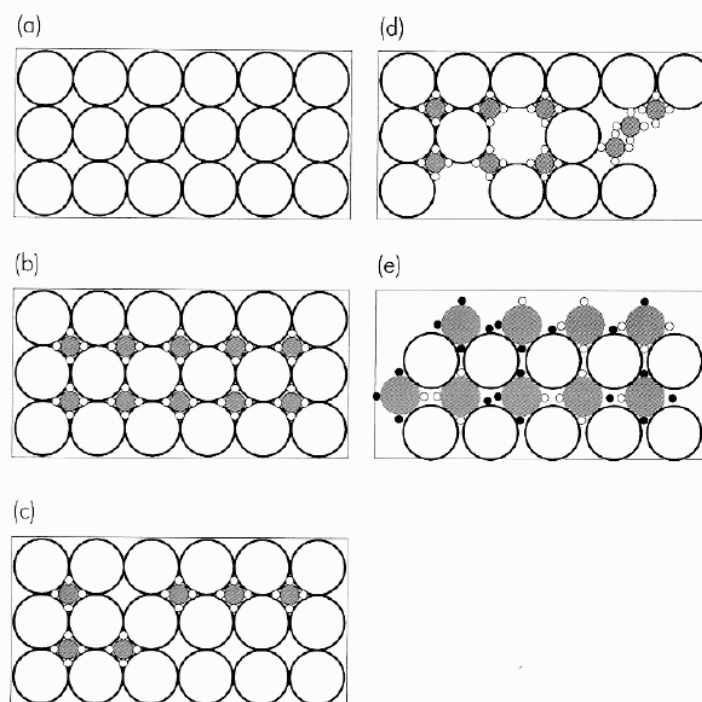


FIGURA 2.13 – EFEITO DA QUANTIDADE E DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS SOBRE A EFICIÊNCIA DE EMPACOTAMENTO: A) MONODISPERSÃO; B) MÁXIMA DENSIDADE DE EMPACOTAMENTO; C) DEFICIÊNCIA DE PARTÍCULAS PEQUENAS; D) DEFICIÊNCIA DE PARTÍCULAS GRANDES; E) DISTRIBUIÇÃO INADEQUADA DE PARTÍCULAS (ROY *et al.*, apud PILEGGI, 2001).

Sendo assim, o projeto da distribuição de tamanho de partículas é de fundamental importância, pois promove o empacotamento e, juntamente com o

fluido, define as propriedades reológicas do material durante o processo de mistura no estado fresco.

O outro fator que pode alterar a condição de empacotamento é a morfologia das partículas. Quanto menos esférica for a partícula, menor será a densidade de empacotamento de uma distribuição que a contenha, pois se verifica o atrito entre as partículas a partir do contato de suas superfícies irregulares. Quanto menor o tamanho das partículas irregulares, maior será esse efeito, devido à maior área superficial específica (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

As partículas do agregado miúdo de britagem são mais angulosas e menos esféricas do que as partículas de agregado miúdo natural (SILVA *et al.*, 2005). Assim, diversos autores investigaram a influência dos diversos tipos de agregado miúdo originários da britagem de rochas (PANDOLFO *et al.*, 2005; TRISTÃO *et al.*, 2005; SAMPAIO, BASTOS, 2009). Pandolfo *et al.* (2005) e Tristão *et al.* (2005) analisaram o comportamento de agregado miúdo de britagem de rocha basáltica conforme mostram as granulometrias apresentadas nas Figuras 2.14 e 2.15, onde inclusive Pandolfo *et al.* (2005) destaca o coeficiente de uniformidade (C) para cada uma das curvas dos agregados miúdos que, conforme citado anteriormente, é a relação entre o tamanho da abertura de peneira na qual passam 60% em peso de uma amostra representativa e o tamanho da abertura na qual passam 10% em peso dessa mesma amostra (LUZ e LINS, 2008). Assim, maiores valores para o coeficiente de uniformidade podem revelar a melhoria no empacotamento do agregado miúdo, resultando em maiores valores para a resistência mecânica das argamassas.

Pandolfo *et al.* (2005) verificaram que a porcentagem de finos, da areia denominada industrial, aumentavam a demanda de água para se obter a trabalhabilidade adequada, conseqüentemente elevando a retenção de água e absorção capilar das argamassas, provavelmente devido a menor capilaridade dos poros.

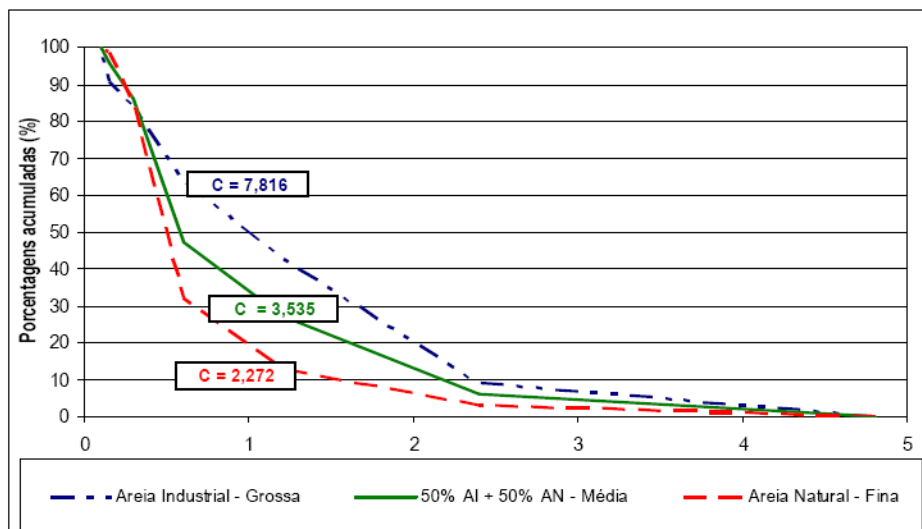


FIGURA 2.14 – CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BASÁLTICA

FONTE: Pandolto *et al.*(2005)

Tristão *et al.* (2005) verificaram que a areia com maior quantidade de material pulverulento (Areia 1 mostrada na Figura 2.13) apresentou melhores resultados no estado fresco inclusive com a trabalhabilidade da argamassa produzida com a areia 2 sendo mais áspera ao manuseio que a argamassa produzida com a areia 1.

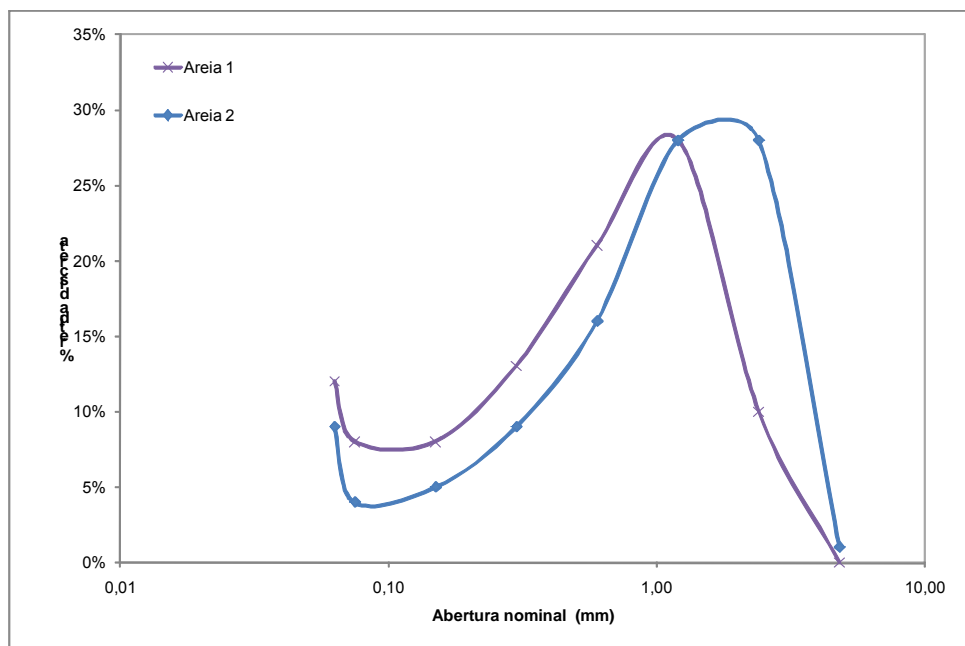


FIGURA 2.15 – CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BASÁLTICA

FONTE: Tristão *et al.*(2005)

Sampaio e Bastos (2009) apresentaram as curvas granulométricas para o agregado miúdo natural e agregado miúdo de britagem de rocha de gnaiss, ambas da região de Juiz de Fora, MG, conforme mostra a Figura 2.16.

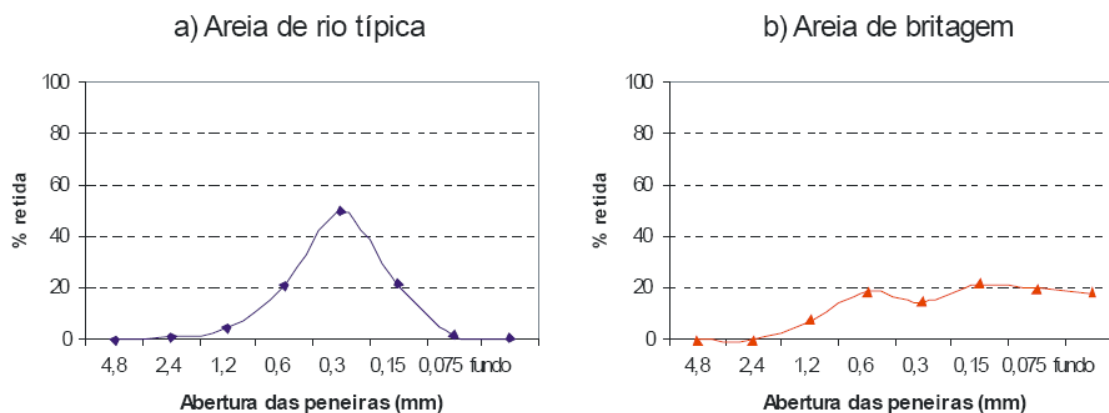


FIGURA 2.16 – CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO AGREGADO MIÚDO NATURAL (a) E DO AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA GNAISSE (b) DA REGIÃO DE JUIZ DE FORA, MG  
 FONTE: SAMPAIO E BASTOS (2009)

Sampaio e Bastos (2009) identificaram no histórico de produção e uso do agregado miúdo de britagem características granulométricas de aspecto bem diferente do aspecto do agregado miúdo natural típico da região de Juiz de Fora/MG usada para revestimentos. Os autores concluíram que o agregado miúdo de britagem apresentou uma distribuição granulométrica desuniforme, com uma pequena quantidade de grãos retidos na peneira 0,3 mm e o alto teor de material pulverulento passante na peneira 0,075 mm, sendo possivelmente responsáveis por aspectos de trabalhabilidade, ocorrência eventual de fissuras durante a secagem, provavelmente pelo excesso de finos do agregado miúdo.

Pelos estudos apresentados, evidencia-se que o agregado miúdo de britagem interfere decisivamente nas propriedades das argamassas, devido, principalmente, aos teores de material pulverulento oriundo dos processos de britagem das rochas, sendo em alguns casos favoráveis em aspectos de trabalhabilidade e desfavoráveis quanto ao surgimento de fissuras durante a secagem das argamassas.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1 DETALHAMENTO DOS MATERIAIS

Foram disponibilizados para essa pesquisa cinco diferentes tipos de agregados miúdos – um de origem natural (representado pela sigla N) e quatro de origem de britagem de rocha (representados com as siglas M, C1, C2 e D), em sacos a granel, de fornecedores da Região Metropolitana de Curitiba, apresentados na Figura 3.1 e classificados de acordo com a Tabela 3.2.



FIGURA 3.1 – FOTO DAS AMOSTRAS DE AGREGADO MIÚDO

FONTE: O autor (2009)

TABELA 3.2 – NOMENCLATURA DAS AMOSTRAS DE AGREGADO MIÚDO

<b>Agregado miúdo</b>	<b>Origem</b>	<b>Localização</b>
<b>M</b>	Migmatito	Pomerode/SC
<b>N</b>	Aluvionar	Rio Iguaçu – Balsa Nova/PR
<b>C1</b>	Calcário Calcítico	Rio Branco do Sul/PR
<b>C2</b>	Calcário Calcítico	Campo Largo/PR
<b>D</b>	Calcário Dolomítico	Itaperuçu/PR

FONTE: O autor (2009)

Os aglomerantes cimento e cal foram os mesmos para todas as argamassas confeccionadas, de forma a permitir a análise da influência dos agregados miúdos utilizados nas propriedades estudadas. Ainda foram recebidos sacos de cal hidratada CH-III de um único fornecedor e um saco de cimento Portland CP-II-F-32 de outro fabricante.

### 3.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Neste projeto experimental foi fixada a formulação das argamassas, em volume, 1:2:9 (cimento: cal: agregado miúdo), por ser essa formulação uma das mais empregadas na prática em revestimentos. As proporções em volume foram convertidas em massa com as quantidades de material seco fixas, tendo como referência o índice de consistência de  $250 \pm 10$  mm, atendendo dessa forma a recomendação da norma NBR 13276 (ABNT, 2005), para dosagem da proporção de água/materiais secos.

Após a determinação da formulação a ser executada, passou-se à produção das argamassas. O desenvolvimento desta fase do programa experimental foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) onde as condições ambientais do laboratório (temperatura e umidade do ar) foram controladas e no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, onde não havia controle dessas condições.

Inicialmente, foram determinadas as massas unitárias dos agregados miúdos, de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Os constituintes das argamassas foram dosados, em massa, com uma balança, da marca METTLER, modelo PE 3600, e misturados na argamassadeira mecânica de eixo planetário, da marca HOBART, modelo N-50 conforme a Figura 3.3, com velocidade baixa, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005).



FIGURA 3.3– EQUIPAMENTO UTILIZADO NA MISTURA DAS ARGAMASSAS  
FONTE: O autor (2009)

Após a definição das formulações em massa foi fixada, por mistura na argamassadeira, a quantidade de 2,5 kg de materiais secos. A norma NBR 13276 (ABNT, 2005), recomenda a quantidade mínima de 2,5 kg de material seco com água na mistura, mas devido à capacidade operacional da argamassadeira disponível e a disponibilidade de material para os ensaios, reduziu-se esse valor para 2 kg de material seco para cada mistura de argamassa.

A seguir foi realizada a dosagem de água pela relação índice de consistência *versus* relação água/materiais. Para a obtenção desta relação, foram realizadas três misturas para cada uma dos agregados miúdos em estudo, sendo geralmente adicionado à primeira mistura uma quantidade de água correspondente a uma relação água/materiais secos igual a 0,2 sendo em seguida obtido o índice de consistência por deformação da argamassa na mesa de consistência, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). A próxima mistura era realizada com uma quantidade maior ou menor de água, de acordo com o resultado anterior, obtendo-se novo espalhamento, de maneira a serem obtidos, preferencialmente, dois valores abaixo e dois valores acima de 250 mm, adotando-se, então, o valor médio.

A ordem de mistura dos materiais na argamassadeira foi a sequência água no pó, pois foi seguido o procedimento descrito na norma NBR 13276 (ANBT, 2005). Assim, foram misturados os componentes anidros, exceto o cimento, e água na argamassadeira em velocidade baixa durante 4 min sendo, ainda, realizada essa mistura com antecedência de no mínimo 16 h antes da execução dos ensaios, sendo registrada a pesagem da argamassa pronta. Após esse intervalo de maturação, a argamassa foi novamente pesada, acrescida do cimento e a quantidade de água correspondente a eventual perda por evaporação.



O Quadro 3.1 faz um resumo da dosagem das argamassas do estudo

AREIA	MATERIAL	FORMULAÇÃO (em volume)		FORMULAÇÃO (em massa)	PARA 2 Kg de material seco* (Kg)	ÁGUA (Kg)	RELAÇÃO a / ms	RELAÇÃO a/c	FLOW TABLE (mm)
M	CIMENTO	1		1,15	0,121	0,365	0,183	3,02	252
	CAL	2		1,29	0,135				
	AREIA	9		16,65	1,745				
			<b>TOTAL</b>	19,09	2,000				
N	CIMENTO	1		1,15	0,135	0,491	0,246	3,64	251
	CAL	2		1,29	0,151				
	AREIA	9		14,58	1,714				
			<b>TOTAL</b>	17,02	2,000				
C1	CIMENTO	1		1,15	0,121	0,365	0,183	3,02	251
	CAL	2		1,29	0,135				
	AREIA	9		16,56	1,744				
			<b>TOTAL</b>	19,00	2,000				
C2	CIMENTO	1		1,15	0,126	0,37	0,185	2,93	255
	CAL	2		1,29	0,141				
	AREIA	9		15,84	1,733				
			<b>TOTAL</b>	18,28	2,000				
D	CIMENTO	1		1,15	0,114	0,42	0,210	3,68	257
	CAL	2		1,29	0,127				
	AREIA	9		17,82	1,759				
			<b>TOTAL</b>	20,26	2,000				

\* Quantidade de material empregada em cada argamassa

#### QUADRO 3.1 – DOSAGEM DAS ARGAMASSAS

FONTE: O autor (2009)

### 3.3 DETALHAMENTO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Primeiramente foram realizados ensaios de caracterização física e química dos agregados miúdos, com a colaboração do Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e do Laboratório de Análises de Minerais e Rochas do Departamento de Geologia da UFPR (LAMIR), objetivando o reconhecimento da constituição mineralógica dos agregado miúdos, além da distribuição granulométrica e formato dos grãos.

Após a realização do ensaio de granulometria dos agregados miúdos, estes foram peneirados e utilizada somente a fração passante na peneira de malha 0,6 mm para uma melhor uniformidade entre os agregados miúdos e para evitar que a presença de grãos maiores pudesse influenciar nos resultados dos ensaios, sendo que para cada agregado miúdo foi elaborada uma argamassa sem qualquer mistura ou composição entre os agregados

miúdos. Na sequência, foi realizado o ensaio de mesa de consistência com o objetivo de verificar e parametrizar a consistência de todas as argamassas, segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005).

Inicialmente pretendia-se fixar, a quantidade de água utilizada na formulação, de forma a se obter uma relação água/materiais secos fixa. Foram realizadas algumas tentativas em laboratório não se obtendo sucesso, pelo fato dos agregados miúdos apresentarem elevada variação principalmente no teor de fração fina. Desta forma, o menor teor de água para atender a uma fluidez adequada numa argamassa, representava um teor muito alto para outra argamassa formulada com outro agregado miúdo, por exemplo, com baixo teor de finos ou uma distribuição granulométrica diferente. Assim, não foi possível a fixação de um valor único da quantidade de água para todas as argamassas que possibilitasse uma fluidez adequada para os ensaios, sendo então adotado o índice de consistência  $250 \pm 10$  mm como parâmetro para a dosagem da proporção água/materiais secos de cada argamassa.

Após a avaliação comparativa, entre os resultados de caracterização no estado fresco de cada argamassa, que foram realizados com a colaboração do Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, além do Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC); verificou-se o desempenho entre os agregados miúdos disponibilizados.

Para a caracterização das argamassas no estado endurecido foram moldados 3 corpos-de-prova prismáticos na dimensão 4 cm x 4 cm x 16 cm para cada formulação.

No fluxograma apresentado na Figura 3.4, resume-se o planejamento experimental e em seguida o detalhamento dos objetivos dos ensaios propostos.

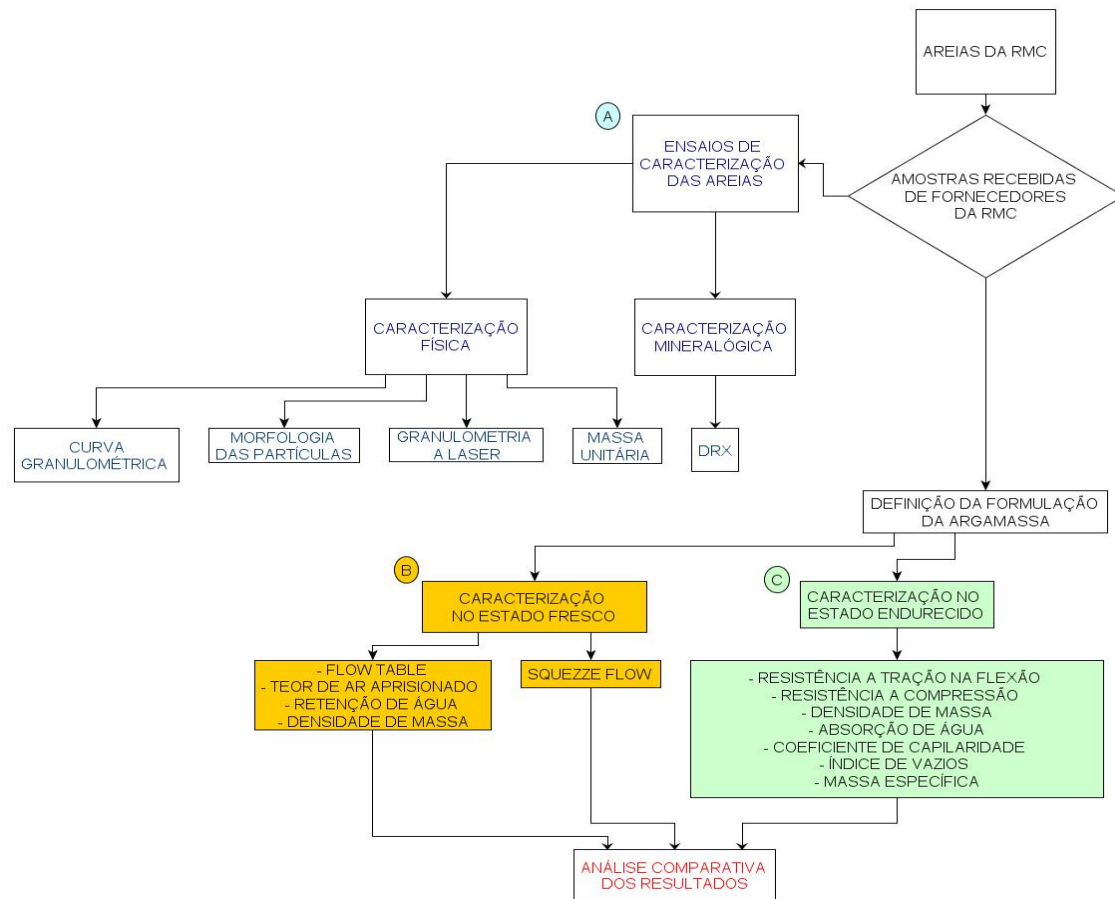


FIGURA 3.4 – FLUXOGRAMA DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL  
FONTE: O autor (2009)

Com base nos objetivos traçados para esta pesquisa, e considerando-se a infra-estrutura laboratorial disponível, foram selecionadas as técnicas de ensaio descritas na sequência, para as argamassas e para os agregados miúdos. Foram realizados ensaios de caracterização física e mineralógica dos agregados miúdos – curva granulométrica, morfologia, massa unitária, granulometria a laser e difração de raios X.

Buscando-se o melhor desempenho da argamassa com agregado miúdo de britagem em relação à formulação com agregado miúdo de origem natural, avaliou-se o seu comportamento reológico no estado fresco através dos ensaios *Squeeze flow* e mesa de consistência, além das seguintes propriedades no estado fresco: retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado.

Os ensaios no estado endurecido foram: resistência à tração na flexão, resistência à compressão, densidade de massa, absorção de água e coeficiente de capilaridade.

Em conformidade com o fluxograma apresentado na Figura 3.2, as etapas foram assim divididas:

#### A) CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

A composição química e física dos agregados miúdos objetiva verificar as diferenças entre as amostras de agregados miúdos e embasar a análise dos resultados de desempenho das argamassas nos estados fresco e endurecido.

Na caracterização mineralógica, a difração de raios-X tem por objetivo identificar qualitativamente o tipo de agregado – minerais e compostos cristalinos presentes. As espécies químicas cristalinas, a partir da interação de raios X incidentes, resultam em raios X difratados característicos para cada ângulo de incidência.

O resultado é o difratograma que apresenta picos característicos para cada espécie química em ângulos  $2\theta$  característicos, com uma extensão de varredura de 3 a  $70^\circ$ , com passo de  $0,020^\circ$ , tempo por passo de 0,50 s e velocidade de varredura:  $0,020^\circ/\text{s}$ . A comparação dos difratogramas das argamassas com fichas padrão permite identificar picos característicos para cada espécie química. A amostra foi analisada em um equipamento Philips, modelo PW 1830 disponibilizado pelo Laboratório de Minerais e Rochas - LAMIR/UFPR. As condições de operação do difratômetro foram as seguintes: radiação  $\text{CuK}\alpha$ ,  $\lambda=1,54184 \text{ \AA}$ , tensão= 40 kV e corrente= 40 mA.

Para a caracterização granulométrica a laser da fração fina, o equipamento utilizado foi o CILAS 1064 (Figura 3.5) e o ensaio foi realizado no LAMIR – Laboratório de Minerais e Rochas, localizado na Universidade Federal do Paraná. A água deionizada foi o meio dispersante das partículas sólidas, com velocidade de bomba de 70% e com tempo de ultrassom de 60s.



FIGURA 3.5 – GRANULÔMETRO A LASER - CILAS 1064  
FONTE: O autor (2009)

Na caracterização física, a curva granulométrica detalha a dimensão das partículas do agregado miúdo, sendo para isso utilizado o ensaio de peneiramento com a série normal de peneiras da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas-, e a caracterização granulométrica pelo granulômetro a laser do material passante na peneira n<sup>o</sup>. 200 (abertura 0,075 mm), de forma a dar continuidade à curva granulométrica de todas as frações que compõem os agregados miúdos. A granulometria a laser foi realizada com a utilização de álcool anidro e aplicação de ultra-som durante 60 segundos, para a dispersão das partículas da amostra. Uma bomba peristáltica garante a circulação da amostra no porta amostra. Um fotodiodo a laser emite um feixe de luz que é captado por um sistema óptico que ativa o líquido com o material a ser analisado. Através de medidas de distribuição de energia dos anéis de difração do feixe, é possível a conversão dos sinais em diâmetros de partículas (SILVA, 2001).

O resultado do ensaio de massa unitária de cada um dos materiais constituintes da argamassa permite obter as formulações em massa ou volume, bem como, o cálculo do consumo total de material empregado. Para completar a análise física dos materiais, as partículas foram analisadas quanto à sua morfologia, com o objetivo de determinar diferenças de textura e de irregularidades de forma.

Conforme ressaltado na revisão bibliográfica, os agregados miúdos com texturas mais rugosas e irregulares tendem a provocar maior atrito entre si, além de maior facilidade para o imbricamento, dificultando o escoamento da argamassa.

Cabe destacar que, a morfologia das partículas é um fator que pode alterar a sua condição de empacotamento na mistura, de forma que quanto mais distante do formato esférico estiver a partícula, menor será o seu grau de empacotamento.

## B) CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Definida a formulação das argamassas, essas foram submetidas à caracterização reológica no estado fresco pelo ensaio “*Squeeze flow*”. Conforme o item 2.5 (Comportamento reológico no estado fresco) da revisão bibliográfica, este ensaio analisa o escoamento do material decorrente da aplicação de uma carga de compressão sobre a amostra no estado fresco, a qual ocasiona deslocamentos no seu interior devido aos esforços de cisalhamento radiais originados durante o fluxo. Os resultados desse ensaio evidenciam a consistência do material, mostrando a aplicabilidade no canteiro de obra, ou mesmo na comparação entre argamassas.

O ensaio para determinação do índice de consistência, também denominado *Flow table*, conforme a norma NBR 13276 (ABNT, 2005) foi empregado utilizando-se dos procedimentos descritos na norma NBR 7215 (ABNT, 1996).

O ensaio de retenção de água foi realizado conforme a norma NBR 13277 (ABNT, 2005), com o objetivo de se avaliar a influência dos finos totais da argamassa (teor de material pulverulento), provenientes da granulometria dos agregados miúdos na maior ou menor capacidade de retenção de água (por adsorção de água às partículas menores).

A densidade de massa e o teor de ar incorporado da argamassa foram realizados de acordo com a norma NBR 13278 (ABNT, 2005), pois a maior ou menor retenção de água com o aumento ou diminuição da fração fina de aglomerantes pode causar alterações no teor de ar incorporado, que tem

influência sobre a trabalhabilidade e resistência de aderência dos revestimentos conforme Tristão (1995).

### C) CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Através da moldagem de corpos de prova que foram submetidos a alguns ensaios preconizados nas normas ABNT, procurou-se investigar o comportamento das argamassas e a influência dos diferentes tipos de agregados miúdos com os seguintes ensaios:

#### C.1) Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Microscopia eletrônica de varredura é um método de observação com alta resolução para visualizar superfícies de amostras sólidas, possibilitando a verificação tanto da morfologia quanto da composição física dos materiais (PÓVOAS, 2005).

O princípio do microscópio eletrônico de varredura é a emissão e incidência de um feixe de elétrons sobre a amostra a ser analisada, que interage com o feixe incidente e emite diversos sinais. Esses sinais, se convenientemente detectados e analisados, podem fornecer informações e imagens da amostra. A imagem é formada pelo método de varredura, ou seja, o feixe de elétrons percorre a amostra e, em cada momento, apenas um ponto da amostra interage, fornecendo sinais que são captados. Como a varredura é suficientemente rápida, a imagem é contínua para o olho humano (GOODHEW e HUMPHREYS<sup>14</sup>, 1988 *apud* SILVA, 2001)

Para ser analisada, a amostra deve estar seca e a superfície de análise deve ser condutora. No caso de materiais à base de cimento, é necessário seu recobrimento com uma fina película de material condutor, neste caso é utilizado o ouro. A realização do microscópio eletrônico de varredura nas amostras de argamassas aos 28 dias de idade objetivou a visualização das fases de pasta e agregado e a influência que esta fase, agregado, através do seu teor das

---

<sup>14</sup> GOODHEW, P.J. HUMPHREYS, V. M. **Electron Microscopy and Analysis**, 2 ed. London Taylor & Francis, 1988.

frações fina e graúda e a sua morfologia ocasionaram na composição das argamassas.

## C.2) Resistência à tração na flexão e a resistência à compressão

Esses ensaios foram realizados conforme a norma NBR 13279 (ABNT, 2005).

### C.2.1) Resistência à tração na flexão

Foram moldados e utilizados 3 corpos-de-prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada formulação com o objetivo de realizar o ensaio de resistência à tração na flexão na idade de 28 dias, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando a máquina universal de ensaios, modelo DL 10.000 marca EMIC com velocidade de carregamento de  $50 \pm 10$  N/s, conforme mostra a Figura. 3.6.



FIGURA 3.6 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO  
FONTE: O autor (2009)

### C.2.2) Resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada na idade de 28 dias, utilizando 3 corpos-de-prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 mm, em conformidade com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando a máquina universal de ensaios, EMIC modelo DL 10000 com velocidade de carregamento de  $500 \pm 50$  N/s. A Figura 3.7 mostra a execução do ensaio.





FIGURA 3.7 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO  
FONTE: O autor (2009)

O objetivo desses ensaios é verificar o comportamento das argamassas moldadas com os diferentes tipos de agregado miúdo natural e de origem de britagem e realizar um comparativo que possibilite investigar a influência que o agregado miúdo de britagem, possivelmente, pode provocar nas propriedades das argamassas no estado endurecido.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica permitiram avaliar como o tipo de agregado miúdo influencia nesses resultados, provavelmente devido à densidade de massa no estado endurecido, conseqüência da quantidade de material fino e consumo de água proporcionada por cada uma das argamassas.

#### C.3) Densidade de massa no estado endurecido

Esse ensaio foi realizado em 06 corpos de provas com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm, para cada argamassa, com idade de 28 dias, segundo os procedimentos prescritos na norma NBR 13280 (ABNT, 2005).

O objetivo foi verificar se há agregado miúdos com baixa absorção de água (resultando numa redução de perda de água adsorvida às partículas no estado fresco) e como se comportam as agregado miúdos com maior e menor teor de material pulverulento na avaliação da densidade de massa no estado endurecido. Argamassas com baixos valores de densidade de massa no estado endurecido podem indicar a presença de um número maior de vazios prejudicando, assim, a resistência mecânica.

#### C.4) Absorção de água, índice de vazios e massa específica

A absorção de água, índice de vazios e massa específica foram calculados baseados na NBR 9778 (ABNT, 2005), onde o índice de vazios é a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total. Para este ensaio foram utilizados os mesmos 3 corpos-de-prova do ensaio de densidade de massa aparente, aos 28 dias.

O objetivo foi obter resultados que auxiliem na verificação de como os diferentes tipos de agregados miúdos influenciaram as propriedades das argamassas, através da morfologia, do teor de finos e da distribuição granulométrica.

#### C.5) Coeficiente de capilaridade

O ensaio foi realizado em corpos de prova prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm, aos 28 dias de idade seguindo os procedimentos da norma NBR 15529 (ABNT, 2005).

O objetivo desse ensaio foi detectar a influência dos agregados miúdos nas propriedades das argamassas. O coeficiente de capilaridade permitiu avaliar a influência dos finos dos agregados miúdos, pois argamassas com maiores teores de finos, provavelmente aumentam o valor do coeficiente de capilaridade, uma vez que, os finos ocasionam a diminuição dos poros capilares aumentando a velocidade de ascensão da água nos moldes prismáticos.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir apresentam-se os resultados da caracterização física e química de cada um dos materiais com os dados complementares apresentados no Anexo 1:

### 4.1 CAL HIDRATADA

Utilizou-se a cal hidratada CH-III (NBR 7175) de um único fabricante e de um mesmo lote, com seus dados físicos e químicos obtidos e apresentados na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA CAL HIDRATADA

Ensaio		Método de ensaio	Resultado
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )		NBR NM 23	2,27
Massa unitária no estado solto (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 45	0,643
Finura	resíduo na peneira # 200 (%)	NBR 9289	7,3
Componentes químicos (%)	perda ao fogo	NBR 6473	26,3
	resíduo insolúvel		2,9
	óxido de magnésio (MgO)		27,3
	óxido de cálcio (CaO)		42,5
	óxido totais (MgO + CaO)		94,7
	óxidos totais não hidratados		7,9
	dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )		6,7

FONTE: O autor (2009)

### 4.2 CIMENTO

Utilizou-se o cimento Portland composto com filler CPII-F-32 (NBR 11578), de um mesmo lote, fornecido pelo fabricante em sacos de 50 kg. A caracterização física e química do cimento consta na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM FILER

Ensaio		Método de ensaio	Resultado
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )		NBR NM 23	3,05
Massa unitária no estado solto (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 45	1,15
Finura	resíduo na peneira # 200 (%)	NBR 11579	7,3
	resíduo na peneira # 325 (%)	NBR 9202	19
Expansibilidade a quente (mm)		NBR 3435	0,83
Tempo de pega	Início (h:min)	NBR NM 65	03:33
	Fim (h:min)		04:06
Consistência normal (%)		NBR NM 43	25,5
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		NBR NM 76	3.115
Resistência à compressão (Mpa)	1 dia	NBR 7215	10,1
	3 dias		24,8
	7 dias		32
	28 dias		40,8
Componentes químicos (%)	perda ao fogo	NM 18	5,12
	resíduo insolúvel	NBR NM 15	1,22
	trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )		3,08
	óxido de magnésio (MgO)	NBR 14656	5,33
	dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )		18,53
	óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		2,55
	óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		4,08
	óxido de cálcio (CaO)		59,82
	equivalente alcalino		0,62
	óxido de cálcio livre		NBR NM 12

FONTE: O autor (2009)

### 4.3 AGREGADOS MIÚDOS

A diferença entre a massa específica e a massa unitária, com relação à massa específica, é o índice percentual de vazios do agregado, conforme apresentado na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADO MIÚDOS

areia	massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	índice de vazios (%)
1.0265.09	2,700	1,850	31,48
1.0269.09 - natural	2,520	1,620	35,71
1.0273.09	2,640	1,840	30,30
1.0312.09	2,660	1,760	33,83
1.0348.09	2,800	1,980	29,29

FONTE: O autor (2009)

Analisando-se os valores mostrados na Tabela 4.3, constata-se que quanto maior o teor de material pulverulento dos agregados miúdos, maior será a massa específica e unitária das mesmas e menor o índice de vazios dos agregados, pois ocorre o empacotamento dos grãos, conforme já discutido anteriormente, além da maior densidade de massa no estado endurecido da argamassa que com ele seja confeccionada. O maior índice de vazios de uma agregado miúdo pode, ainda, comprometer o desempenho mecânico da argamassa.

#### 4.3.1 Difração de raios X

Os resultados de difratometria dos agregados miúdos estão apresentados na Figura 4.1 que mostra o difratograma de cada um dos agregados miúdos sem sobreposição, de forma a facilitar a visualização das similaridades entre os picos característicos das espécies químicas existentes nas mesmas. A composição está apresentada na Tabela 4.4.

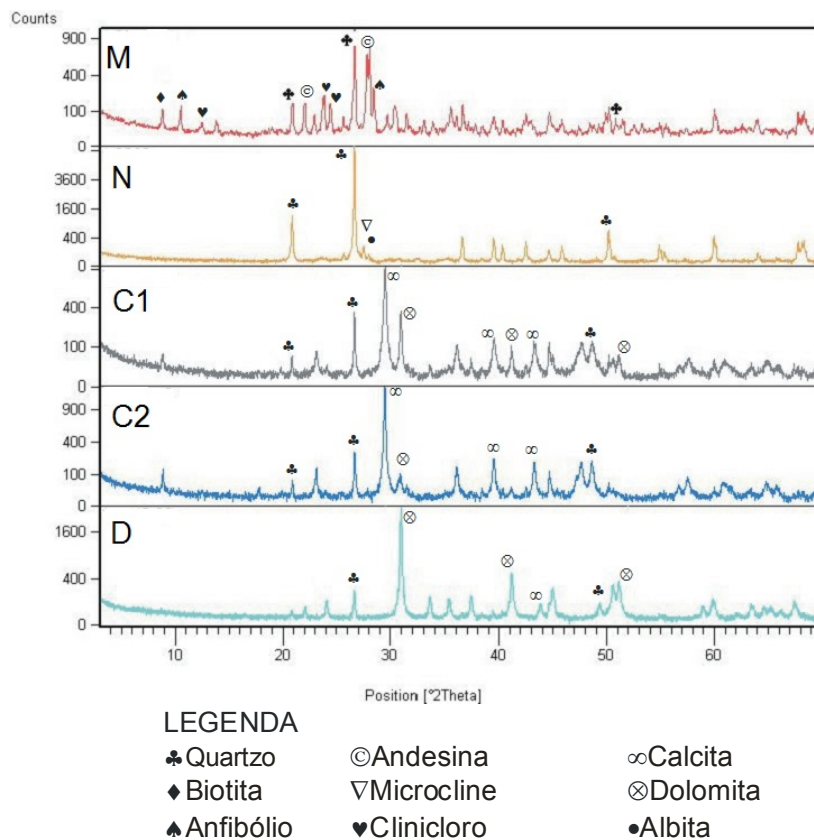


FIGURA 4.1 – DIFRATOGRAMA DOS AGREGADOS MIÚDOS  
 FONTE: O autor (2009)

TABELA 4.4 – MINERAIS IDENTIFICADOS POR DRX

Agregado miúdo	Mineral	Fórmula química
M	Quartzo	$\text{Si O}_2$
	Biotita	$\text{K (Mg, Fe}^{+2})_3 (\text{Al, Fe}^{+3}) \text{Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH, F})_2$
	Anfibólio	$\text{Al Ca Fe K Mg Na Si O}_{44} (\text{OH})_4$
	Clinocloro	$(\text{Mg, Fe}^{+2})_5 \text{Al} (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_8$
	Andesina	$(\text{Na, Ca}) (\text{Si, Al})_4 \text{O}_8$
N	Quartzo	$\text{Si O}_2$
	Microcline	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$
	Albita	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$
C1	Dolomita	$\text{Ca Mg (CO}_3)_2$
	Calcita	$\text{Ca CO}_3$
	Quartzo	$\text{Si O}_2$
C2	Calcita	$\text{Ca (CO}_3)$
	Quartzo	$\text{Si O}_2$
	Dolomita	$\text{Ca Mg (CO}_3)_2$
D	Dolomita	$\text{Ca Mg (CO}_3)_2$
	Quartzo	$\text{Si O}_2$

FONTE: O autor (2009)

Os resultados obtidos no ensaio de difração de raios X confirmaram as informações fornecidas pelos fabricantes dos agregados miúdos de britagem, a respeito dos principais minerais cristalinos presentes nesses agregados.

#### 4.3.2 Análise granulométrica

Foram determinadas as massas unitárias dos agregados miúdos da pesquisa, de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006). Na Figura 4.2 são destacados os valores de massa unitária dos agregados miúdos utilizadas na pesquisa, onde se verifica que os agregados miúdos provenientes da britagem de rochas apresentaram os maiores valores de massa unitária em relação ao agregado miúdo natural. O resultado esperado seria que os agregados miúdos de britagem apresentassem valores de massa unitária menor comparada com o agregado miúdo natural, devido ao caráter irregular (menos arredondado) e muitas vezes lamelar das partículas do agregado miúdo de britagem; porém devido aos maiores teores de material pulverulento observados nos agregados miúdos de britagem, o resultado observado foi o inverso, com o agregado miúdo natural apresentando o menor valor de massa unitária.

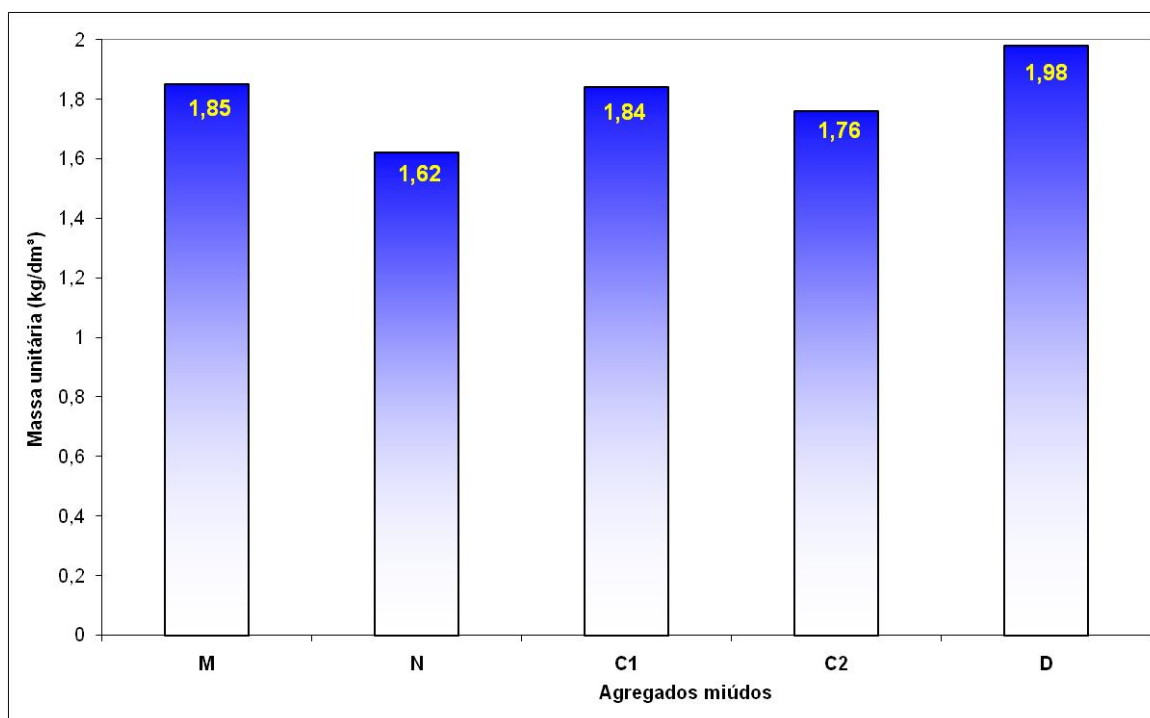


FIGURA 4.2 – MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS MIÚDOS  
FONTE: O autor (2009)

A distribuição granulométrica dos agregados miúdos foi detalhada de forma completa nas peneiras da série normal e separadas as frações retidas em cada peneira, desde a abertura de 4,8 mm (n° 4) até 0,075 mm (n° 200) para a análise morfológica de algumas frações. Além disso, a fração fina passante na peneira n° 200 (fundo), por sua vez, foi caracterizada pelo granulômetro a laser para completar a análise granulométrica dos agregados miúdos.

Na Figura 4.3 estão apresentadas as quantidades relativas da fração graúda (dimensão  $\geq 0,075$  mm) e da fração fina (dimensão  $< 0,075$  mm) obtidas pelo ensaio de peneiramento dos agregados miúdos, e na Figura 4.4 o detalhamento dos teores de grãos retidos em cada peneira para a fração graúda. Os valores individuais de cada agregado miúdo estão detalhados no Anexo 2, inclusive com o valor do módulo de finura.

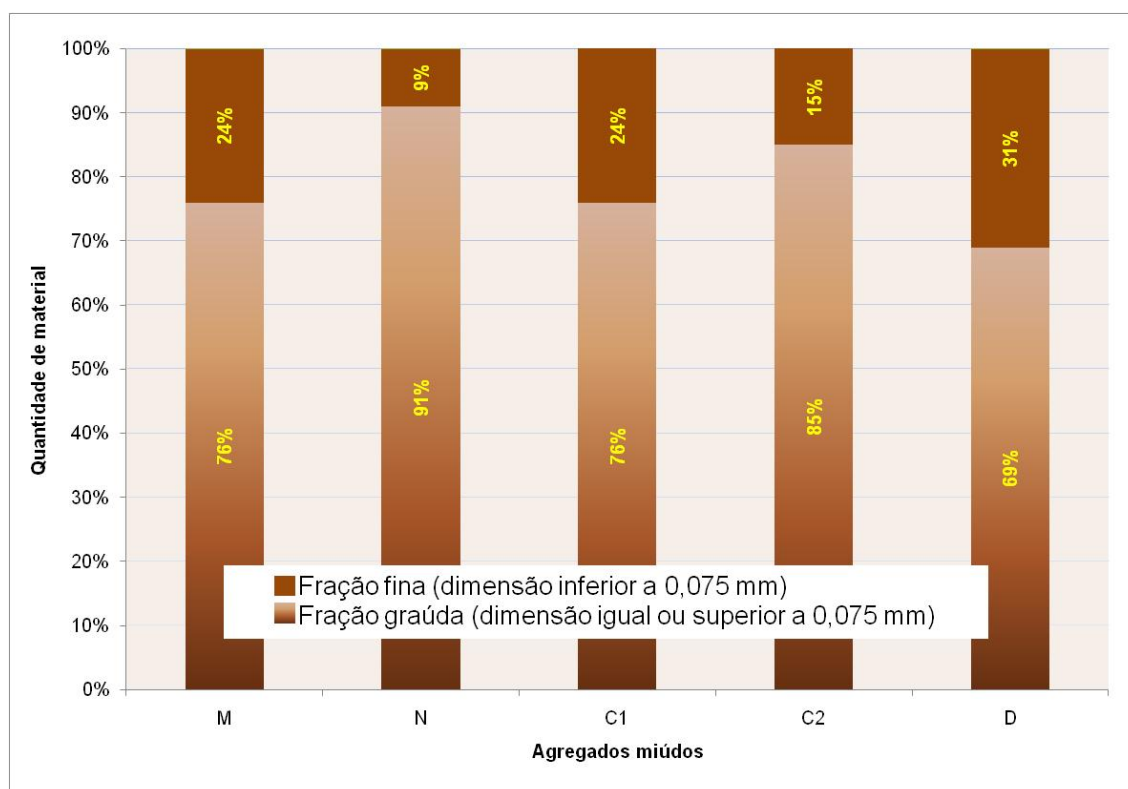


FIGURA 4.3 – QUANTIDADE DE FRAÇÃO GRAÚDA E FRAÇÃO FINA DOS AGREGADOS MIÚDOS.

FONTE: O autor (2009)



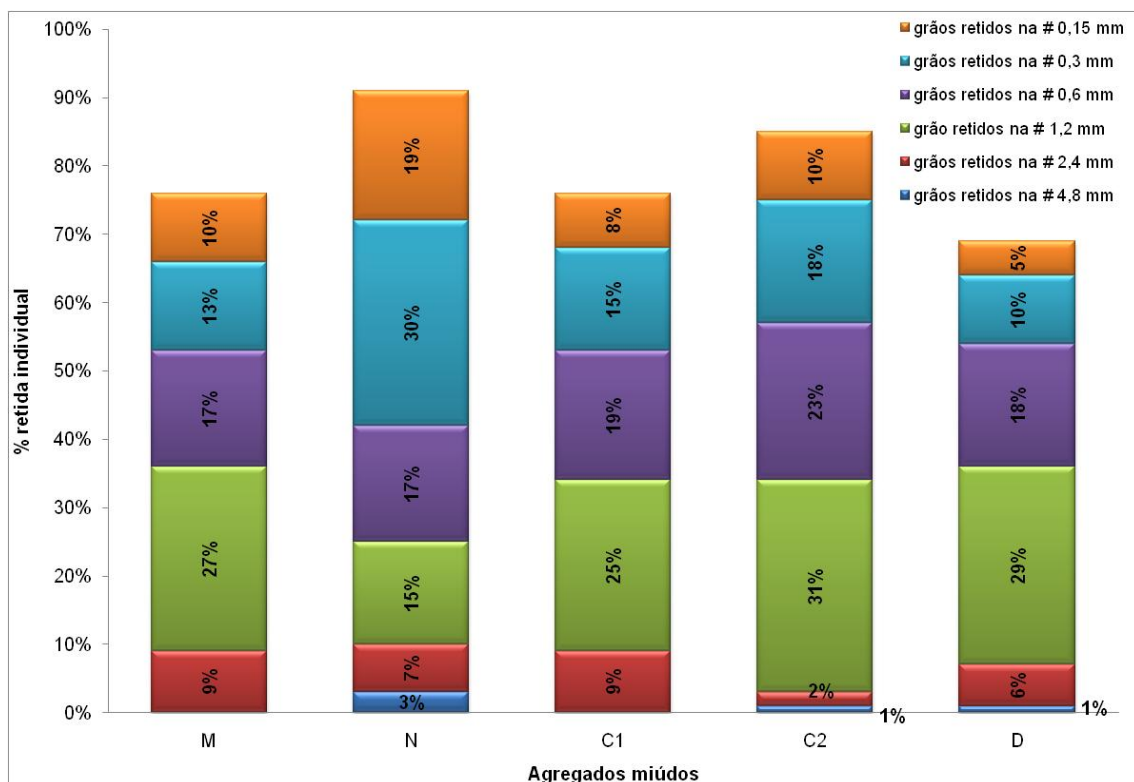


FIGURA 4.4 – TEOR COMPARATIVO DAS PARTÍCULAS DA FRAÇÃO GRAÚDA RETIDA NAS PENEIRAS  
 FONTE: O autor (2009)

Na Figura 4.5 está apresentada a distribuição granulométrica completa dos agregados miúdos e na Figura 4.6 a distribuição específica da fração fina (dimensão inferior a 75 $\mu$ m), com os valores individuais de cada agregado detalhados no Anexo 3.

Pela análise granulométrica, e observando-se a Figura 4.3, pode-se concluir que os agregados miúdos, caracterizados neste trabalho são constituídos por uma fração graúda, na ordem de 69% a 91% do seu peso total, e por uma fração fina com variação entre 9% (agregado miúdo natural - N) e 31% (agregado miúdo de britagem – D) desse peso total, mostrando que há diferenças significativas na distribuição granulométrica de alguns agregados.

Com os dados obtidos da análise granulométrica pode-se afirmar que os agregados miúdos, apresentam distribuição granulométrica com diferenças de concentração de grãos na faixa de 0,15 mm a 4,8 mm, representada pela fração graúda. Verifica-se, conforme apresentado na Figura 4.4, o agregado miúdo natural (N) teve maiores retenções nas peneiras 0,15 mm (19%) e 0,3 mm (30%) e, em contrapartida, teve a menor retenção na peneira 1,2 mm

(15%). Por outro lado, o agregado miúdo de britagem (D) teve valores opostos se comparados às retenções das mesmas peneiras, 0,15 mm (5%), 0,3 mm (10%) e 1,2 mm (29%).

Da mesma forma, verificaram-se diferenças na fração fina dos agregados miúdos. Nota-se também que as curvas dos agregados miúdos artificiais são semelhantes no formato da distribuição com diferenças nas porcentagens, o que provavelmente determinará empacotamentos diferentes entre os grãos desses agregados miúdos.

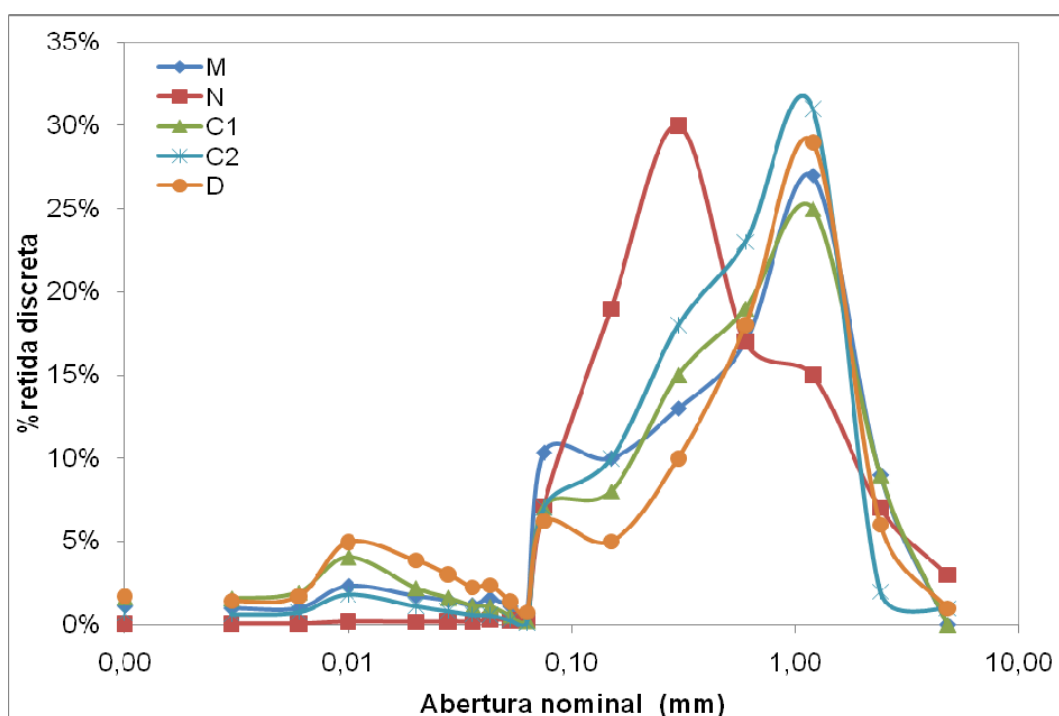


FIGURA 4.5 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA COMPLETA DOS AGREGADOS MIÚDOS  
 FONTE: O autor (2009)

Destacam-se os resultados de dois agregados miúdos: O agregado miúdo natural (N) devido à maior proporção da fração graúda (91%), conforme a Figura 4.3, em relação às demais agregado miúdos que são provenientes de britagem de rochas, observando-se diferenças também na porcentagem retida individual de cada peneira. Observando-se a maior concentração da fração retida na peneira 0,3 mm (30%), conforme a Figura 4.4.

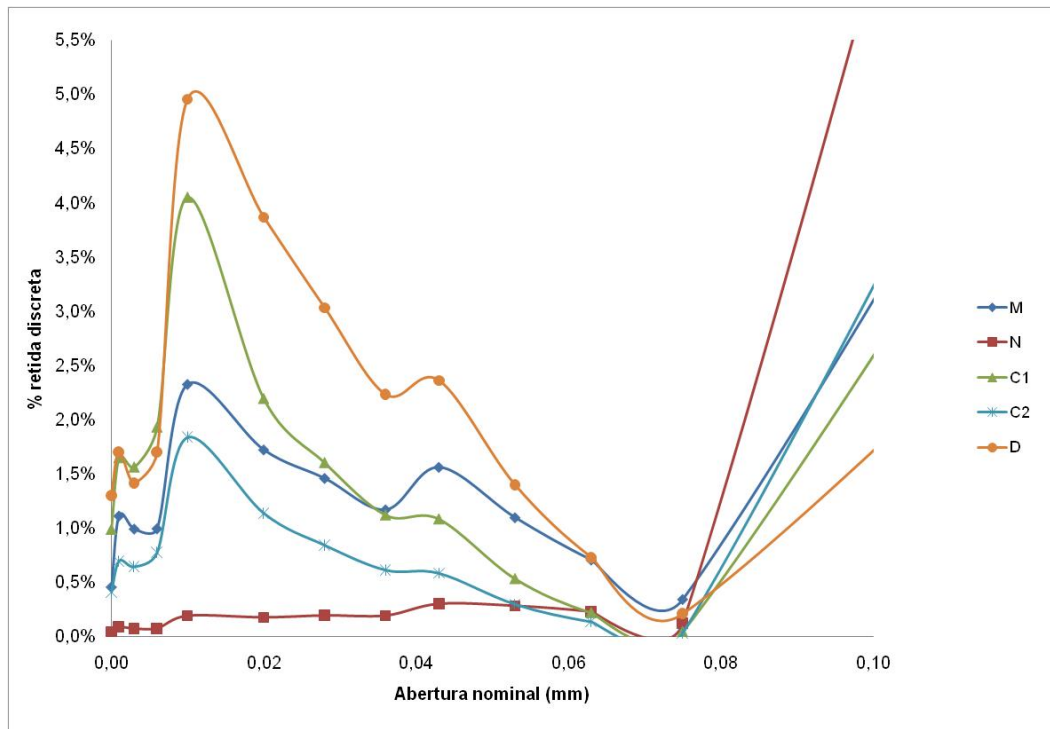


FIGURA 4.6 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA PARA AS PARTÍCULAS COM DIMENSÃO INFERIOR A 75 µm (FRAÇÃO FINA)  
 FONTE: O autor (2009)

O agregado miúdo de britagem de rocha (D) que apresentou a maior proporção de material fino (31%) sendo que desse percentual a maior proporção concentrou-se nas peneiras menores revelando o alto teor de material pulverulento presente no agregado miúdo (Figura 4.6).

No capítulo 2, item 2.5.2, foram apresentadas outras curvas granulométricas de agregado miúdos naturais e de britagem de rochas de outras regiões do país e, inclusive, de outros tipos de rocha, destacando-se a semelhança entre a agregado miúdo natural aluvionar da presente pesquisa proveniente do Rio Iguaçu/PR com a agregado miúdo natural proveniente da região de Juiz de Fora/MG apresentada por Sampaio e Bastos (2009) (Figura 2.16), onde de maneira semelhante verifica-se a maior concentração de material retido na peneira 0,3 mm. Por outro lado o comparativo entre as agregado miúdos provenientes de rochas de britagem de origem gnaisse com a de origem calcária apresentaram-se diferentes, pois a agregado miúdo gnaisse apresentou uma granulometria mais aberta enquanto que a agregado miúdo de origem calcária apresentou a sua granulometria estreita.

As curvas granulométricas dos agregados miúdos provenientes da britagem de rocha basáltica apresentadas por Tristão *et al.* (2005) (Figura 2.15) apresentaram semelhanças com as agregado miúdos de britagem de rochas calcárias pesquisadas, tanto na proporção das frações graúda com maior concentração de grãos retidos na peneira 1,2 mm nos dois tipos de agregado miúdo, como nas faixas de granulometria entre 0,1 mm e 4,8 mm, mostrando-se ambas com granulometria estreita.

#### 4.3.3 Morfologia das partículas

Para cada agregado miúdo foram fotografados pelo menos 100 grãos das frações retidas nas peneiras de abertura 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm separadas após o ensaio de granulometria com a série normal de peneiras.

As Figuras 4.7 a 4.11 mostram as imagens capturadas através da lupa, marca OLYMPUS, modelo SZ 40 CTV, das frações de agregado miúdo de britagem e agregado miúdo natural retidas na peneira de malha 0,6 mm.

As observações realizadas foram qualitativas, tornando-se possível observar através das fotos que o agregado miúdo natural (Figura 4.7) apresenta a superfície dos grãos mais lisa do que os agregados miúdos de britagem (Figuras 4.8 a 4.11) e, quanto à angulosidade, um leve arredondamento nas pontas dos grãos e um formato mais cúbico do que os agregados miúdos de britagem, ou seja, pontos favoráveis a um melhor desempenho reológico da argamassa.

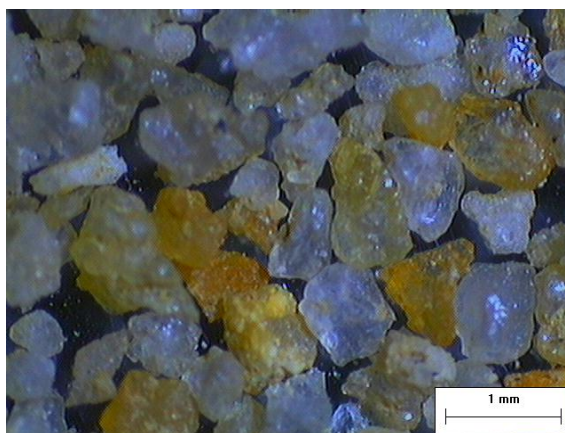


FIGURA 4.7 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO NATURAL (N)

FONTE: O autor (2009)



FIGURA 4.8 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (M)  
FONTE: O autor (2009)



FIGURA 4.9 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C1)  
FONTE: O autor (2009)



FIGURA 4.10 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C2)

FONTE: O autor (2009)

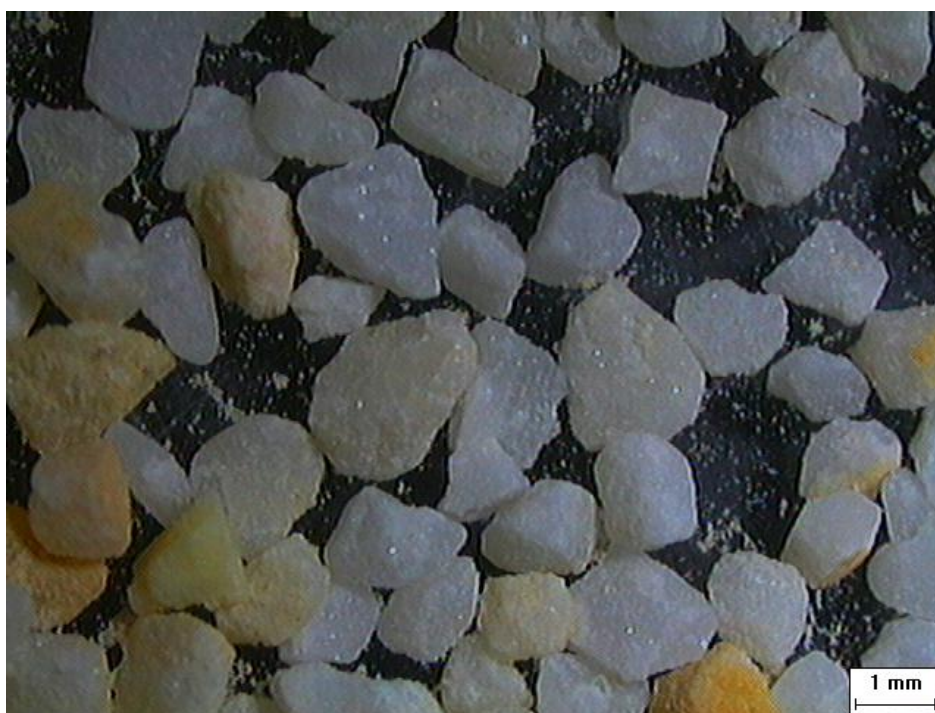


FIGURA 4.11 - IMAGEM CAPTURADA DA FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA DE MALHA 0,6 mm ATRAVÉS DE LUPA ELETRÔNICA – AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (D).

FONTE: O autor (2009)

#### 4.3.4 Conclusões a respeito da influência dos agregados miúdos

Uma distribuição granulométrica estreita, ou seja, com concentração de partículas de uma mesma dimensão, ocasiona a redução na distância média de separação entre partículas (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009), sendo um importante parâmetro na análise do comportamento reológico das argamassas.

Por outro lado a distribuição granulométrica aberta, ou seja, com distribuição dimensional harmônica entre as partículas, sem picos de concentração em algumas dimensões, beneficia o fluxo, pois os grãos menores ocasionam o distanciamento entre os maiores, reduzindo o atrito entre eles.

Tanto as partículas finas quanto as partículas graúdas são reologicamente importantes para o desempenho da argamassa, pois ambas alteram a movimentação das linhas de fluxo no estado fresco. De um modo geral, o agrupamento das partículas finas de cimento forma uma estrutura no estado fresco, a matriz, que envolve as partículas do agregado miúdo mantendo a coesão do sistema (CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G., 2009).

Os resultados dos ensaios, citados anteriormente, inferem que os elevados teores de finos presentes nos agregado miúdos de britagem elevam consideravelmente o consumo de água para se obter determinada trabalhabilidade das argamassas. Porém, há que se considerar também a morfologia das partículas e a sua distribuição granulométrica que também tem importância nas propriedades das argamassas.

### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

#### 4.4.1 Propriedades no estado fresco

A Tabela 4.5 apresenta o resumo dos resultados de caracterização das argamassas no estado fresco com a utilização dos agregados miúdos de britagem e natural.

Analisando-se os resultados obtidos e apresentados na Tabela 4.5, verifica-se que as argamassas com maior densidade de massa, M, C1 e D, foram exatamente as mesmas que apresentaram maior teor de fração fina na

distribuição granulométrica, respectivamente 24%, 24% e 31% (Figura 4.4), bem como apresentaram inclusive os maiores teores de massa específica dos agregados miúdos (Tabela 4.3). Observa-se ainda, que essas argamassas devido ao maior teor de pasta proveniente desta fração fina obtiveram valores de índice de consistência dentro da faixa determinada no ensaio da mesa de fluidez, mesmo com teores mais baixos de água (destaque para os agregados M e C1).

TABELA 4.5 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Argamassa	Relação água/materiais secos	Índice de consistência (mm)	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)	Retenção de água (%)
<b>M</b>	0,183	252	1322	9	85
<b>N</b>	0,245	251	1219	8	80
<b>C1</b>	0,183	251	1375	5	87
<b>C2</b>	0,180	255	1316	7	84
<b>D</b>	0,210	257	1422	6	82

FONTE: O autor (2009)

Constata-se ainda que, como os procedimentos de mistura e moldagem foram mantidos constantes para todas as argamassas, o maior ou menor teor de ar incorporado se deve, provavelmente, a uma relação entre a viscosidade e o teor de pasta; ou ainda viscosidade e o arraste das partículas dos agregados.

Como o ensaio de consistência na mesa de fluidez promove deformações decorrentes da força de gravidade nas argamassas, devido a sua granulometria, o teor de ar incorporado das argamassas produzidas com agregado miúdo britado provavelmente pode ser correlacionado ao teor de material pulverulento desses agregados miúdos quando comparadas ao agregado miúdo natural. De fato, pois se analisando as Figuras 4.4 e 4.5 verifica-se que o agregado miúdo natural possui 9% de fração fina, sendo a



menor de todas e, em contrapartida, dos 91% da fração graúda, 30% corresponde ao material retido na peneira 0,3 mm, ocasionando a existência de muitos vazios entre pasta e agregado.

De acordo com a classificação apresentada na Tabela 5 da norma NBR 13281 (ABNT, 2005), quanto ao requisito densidade de massa no estado fresco, todas as argamassas com agregado miúdo natural e agregado miúdo britada são da classe D2, isto é, com valores situados na faixa entre 1200 kg/m<sup>3</sup> a 1600 kg/m<sup>3</sup>. Com relação à retenção de água e segundo a Tabela 6 da referida norma, pertencem à classe U3, isto é, com valores situados na faixa entre 80 a 90%.

#### 4.4.2 Caracterização do comportamento reológico das argamassas

A seguir apresenta-se a caracterização do comportamento reológico das argamassas pelo ensaio “Squeeze flow”. Os dados da composição física das argamassas, itens já apresentados e discutidos anteriormente, embasarão a análise do seu comportamento reológico.

O perfil das curvas obtido no ensaio “Squeeze flow” realizado imediatamente após a mistura das argamassas está apresentado na Figura 4.12.

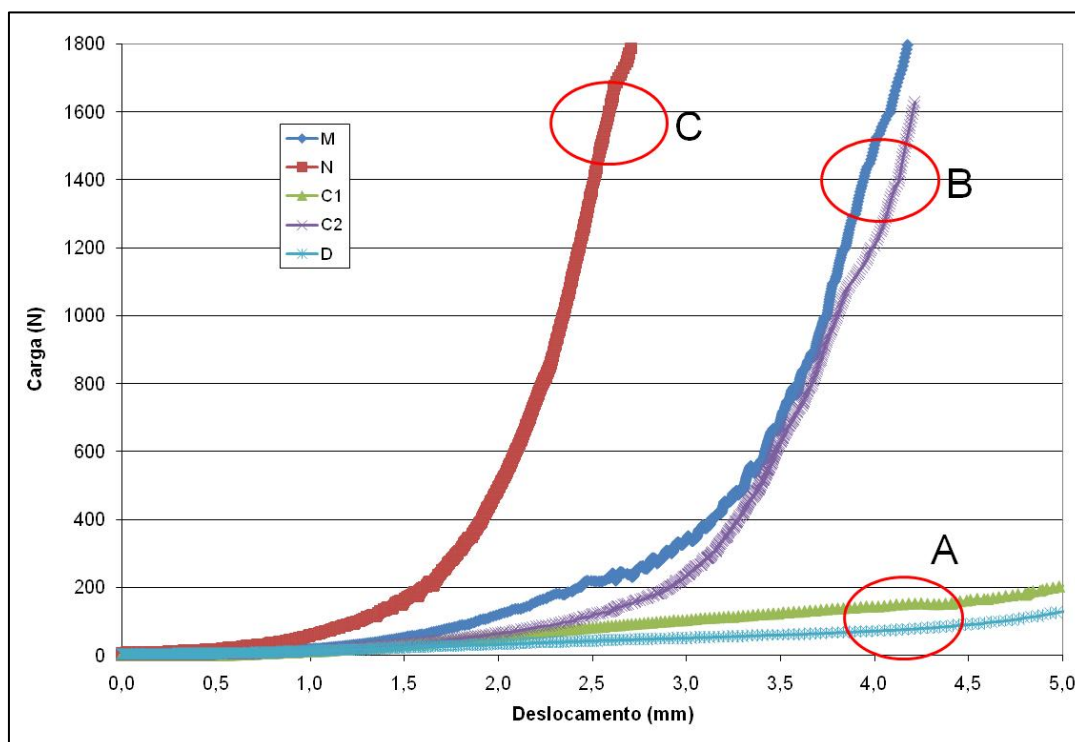


FIGURA 4.12 - RESULTADOS DE *SQUEEZE FLOW* DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS IMEDIATAMENTE APÓS A MISTURA  
FONTE: O autor (2009)

Para uma melhor visualização, as 5 argamassas foram classificadas em 3 grupos de acordo com os níveis de carga máxima resultante: A) 0 – 210N, B) 0 – 6500N e C) 0 – 35000N .

No grupo A observa-se a presença das argamassas C1 e D, com níveis de carga abaixo de 210N. Essas argamassas classificadas nesta faixa de carga apresentaram perfis típicos dos estágios I e II e, com ausência do terceiro estágio, de acordo com a Figura 2.9. Ambas as argamassas apresentaram distribuição granulométrica aberta com efeito decisivo na carga de compressão, ou seja, teve seu efeito prevalecido sobre o baixo teor de ar incorporado e o efeito da alta viscosidade apresentada pelas mesmas. Este comportamento é resultado dos maiores valores de densidade de massa no estado fresco, conforme apresentado na Tabela 4.5, aumentando o teor de pasta e mantendo os agregados distantes e lubrificados, mesmo com deformações de 5 mm. Como consequência, o enrijecimento por deformação não ocorre, e as cargas permanecem baixas.

No grupo B observa-se a presença de argamassa com teor de ar incorporado mais elevado como a M e teor de ar intermediário como a argamassa C2. Verifica-se a predominância dos estágios I e II, sendo que a argamassa M apresenta indícios da influência do terceiro estágio.

Já no grupo C, está a argamassa N, apresentando a curva com perfil passando direto do estágio inicial para o estágio de enrijecimento por deformação, sendo que a carga aumenta muito para pequenos deslocamentos e a deformação plástica não ocorre. O crescimento exponencial da carga caracteriza o enrijecimento por deformação, causado por altos níveis de atrito entre os agregados. Como a argamassa apresentou uma baixa densidade de massa devido ao baixo teor de finos do agregado miúdo, isto é, o teor de pasta é menor fazendo com que os agregados fiquem muito próximos dificultando o fluxo do material.

De uma forma geral, esses 3 tipos de comportamentos tendem a influenciar a produtividade de aplicação desses produtos. A grande maioria

dessas argamassas é aplicável, entretanto o quão fácil é a aplicação depende do comportamento avaliado pelo *Squeeze flow*. Argamassas com granulometria aberta e baixas cargas determinadas por *Squeeze flow* são possivelmente de fácil espalhamento, entretanto podem ser excessivamente fluidas, apresentando baixa viscosidade, tal que não seja possível a aplicação de camadas espessas ou que a aplicação não possa ser imediata, logo após a sua mistura. Já as argamassas com cargas intermediárias, independente do teor de ar, tendem a possibilitar uma maior produtividade, especialmente aquelas que não apresentam indícios do terceiro estágio. Por outro lado, os produtos que necessitam de cargas muito maiores para serem deformados, possivelmente são de difícil aplicação resultando em baixa produtividade.

O índice de vazios dos agregados miúdos influenciou no comportamento reológico das argamassas, uma vez que, conforme verificado no ensaio *Squeeze flow* as argamassas que apresentaram as menores cargas aplicadas dentro do deslocamento proposto apresentaram também agregados miúdos com os menores índice de vazios, C1 e D e de maneira oposta a agregado miúdo natural (N) que apresentou o maior índice de vazios, também registrou a maior carga aplicada no ensaio *Squeeze flow*.

Realizando-se um comparativo entre as curvas obtidas no ensaio *Squeeze flow*, com as agregado miúdos da presente pesquisa, e curvas de argamassas industrializadas, conforme Vasco, Costa e Silva (2009), mostradas nas Figuras 4.13 e 4.14, verifica-se que as argamassas da presente pesquisa apresentaram os resultados semelhantes para o ensaio *Squeeze flow*, inclusive quando se observam os dois diferentes grupos apresentados em comparação com os grupos mostrados na Figura 4.12.

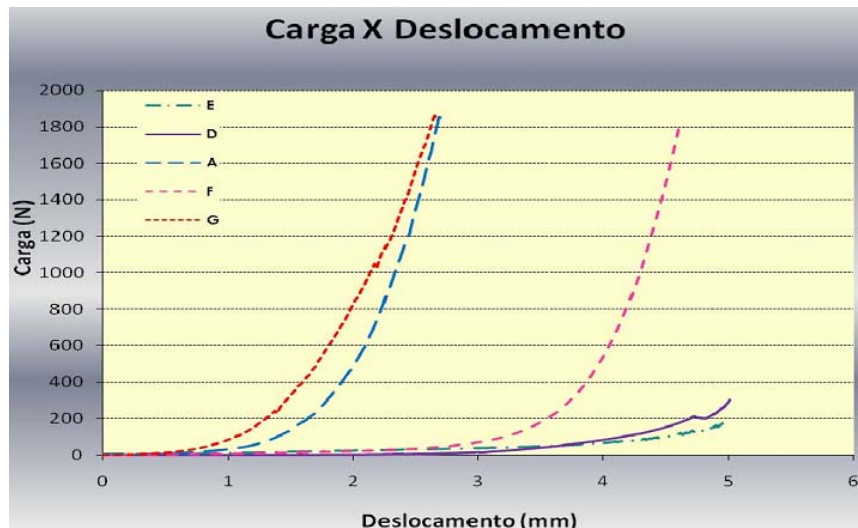


FIGURA 4.13 – CURVAS CARGA VERSUS DESLOCAMENTO OBTIDAS NO ENSAIO SQUEEZE FLOW PARA ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS DO GRUPO 1<sup>15</sup>  
 FONTE: VASCO, COSTA E SILVA (2009)

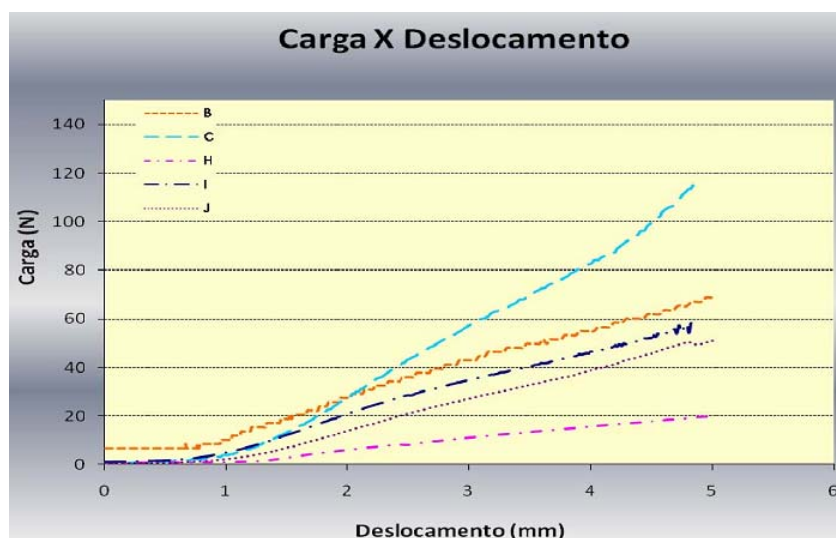


FIGURA 4.14 – CURVAS CARGA VERSUS DESLOCAMENTO OBTIDAS NO ENSAIO SQUEEZE FLOW PARA ARGAMASSAS INDUSTRIALIZADAS DO GRUPO 2<sup>16</sup>  
 FONTE: VASCO, COSTA E SILVA (2009)

<sup>15</sup> Grupo 1 – Argamassas que atingiram o estágio III

<sup>16</sup> Grupo 2 – Argamassas que não atingiram o estágio III

#### .4.4.3 Conclusões sobre o impacto dos agregados no desempenho das argamassas no estado fresco

Os resultados obtidos e apresentados na análise granulométrica, item 4.3.2, influenciaram os resultados dos ensaios realizados com as argamassas nos estados fresco e endurecido, tais como densidade de massa características, retenção de água e no ensaio *Squeeze flow*.

Destaque para o teor de finos dos agregados miúdos, que ajudou a formar pasta na mistura e, conseqüentemente, agiram como lubrificante atenuando os choques entre grãos de agregado miúdo. Esses choques se tornam mais pronunciadas e impactantes no comportamento reológico da argamassa, tanto quanto mais pontiagudos se apresentem esses grãos.

Cabe ressaltar ainda a importância dos resultados obtidos no ensaio *Squeeze flow* onde foi possível observar o comportamento das argamassas quando submetidas a aplicação do carregamento e realizar a analogia com a aplicação na prática, isto é, como irá se comportar a argamassa quando efetivamente empregada na execução do revestimento.

#### 4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As análises foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura marca Philips, modelo XR-30 localizado no LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento em amostras com 28 dias de idade.

Na Figura 4.15 é possível verificar a pouca formação de pasta envolvendo os grãos e a ocorrência do choque entre as partículas do agregado miúdo natural devido essa pouca formação de pasta. Em contrapartida, na Figura 4.16 ocorre o contrário, com os grãos envoltos pela pasta e não se percebendo o contato entre eles

As demais micrografias das argamassas resultantes da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) encontram-se no Anexo 5.

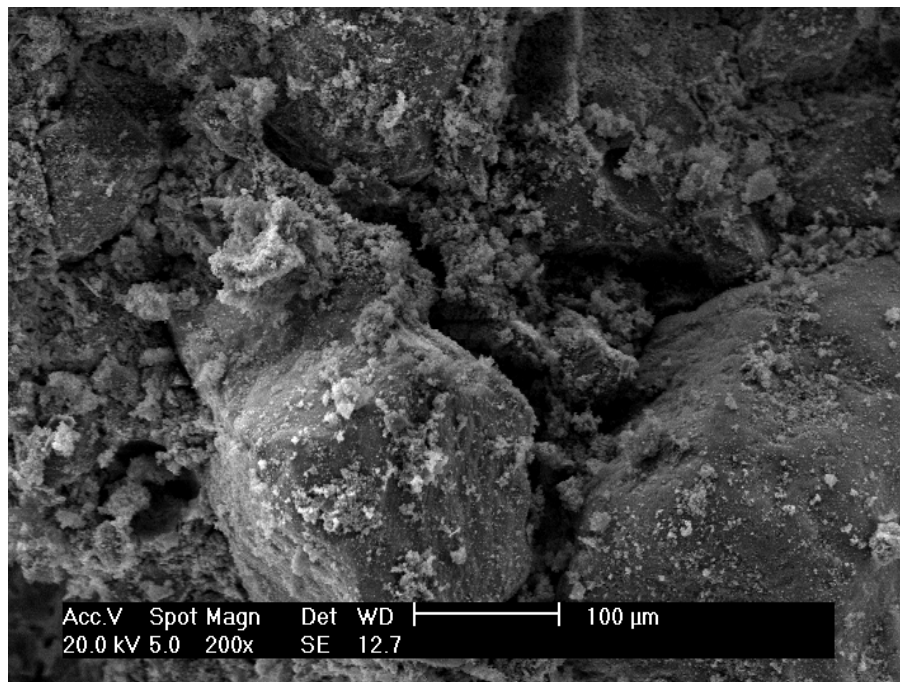


FIGURA 4.15 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO NATURAL (N)  
FONTE: O autor (2010)

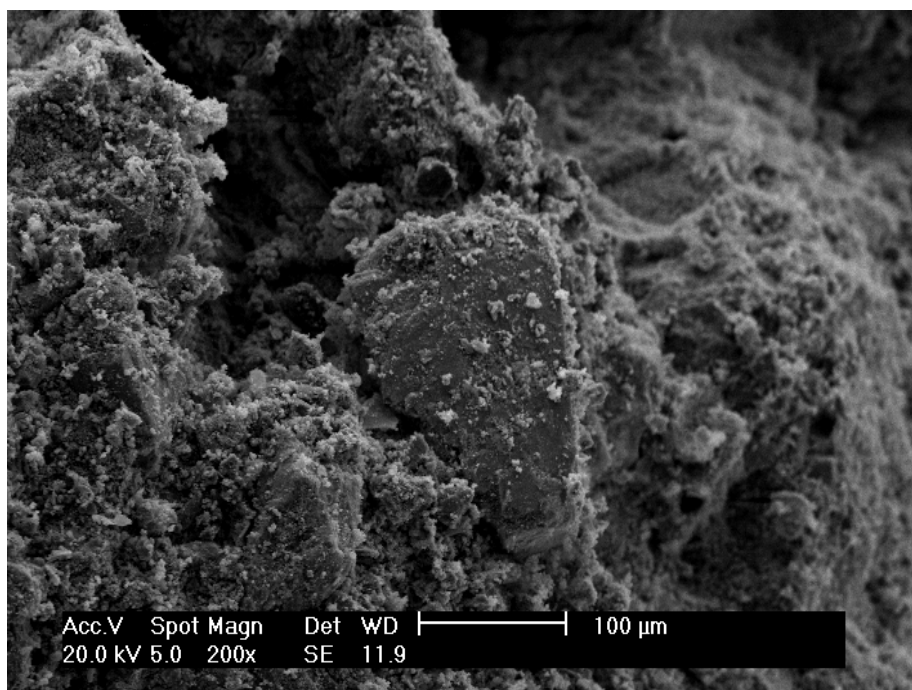


FIGURA 4.16 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C2)  
FONTE: O autor (2010)

## 4.6 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

### 4.6 1 Densidade de massa no estado endurecido

A Figura 4.17 apresenta os resultados médios obtidos da densidade de massa no estado endurecido e no Anexo 4, encontram-se os resultados detalhados dos ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido .

Constatou-se na Figura 4.17 que, para o agregado miúdo natural o menor teor da fração fina e o menor valor da massa específica (Tabela 4.3) em relação aos agregados miúdos de britagem, diminuiu a densidade de massa no estado endurecido.

Com o aumento da fração fina dos agregados em conjunto com a fração fina dos aglomerantes, houve a maior formação de pasta nas argamassas aumentando a absorção de água no estado endurecido, devido, principalmente, a perda de água que ficou adsorvida às partículas no estado fresco, ocasionando, assim, a diminuição da densidade de massa no estado endurecido.

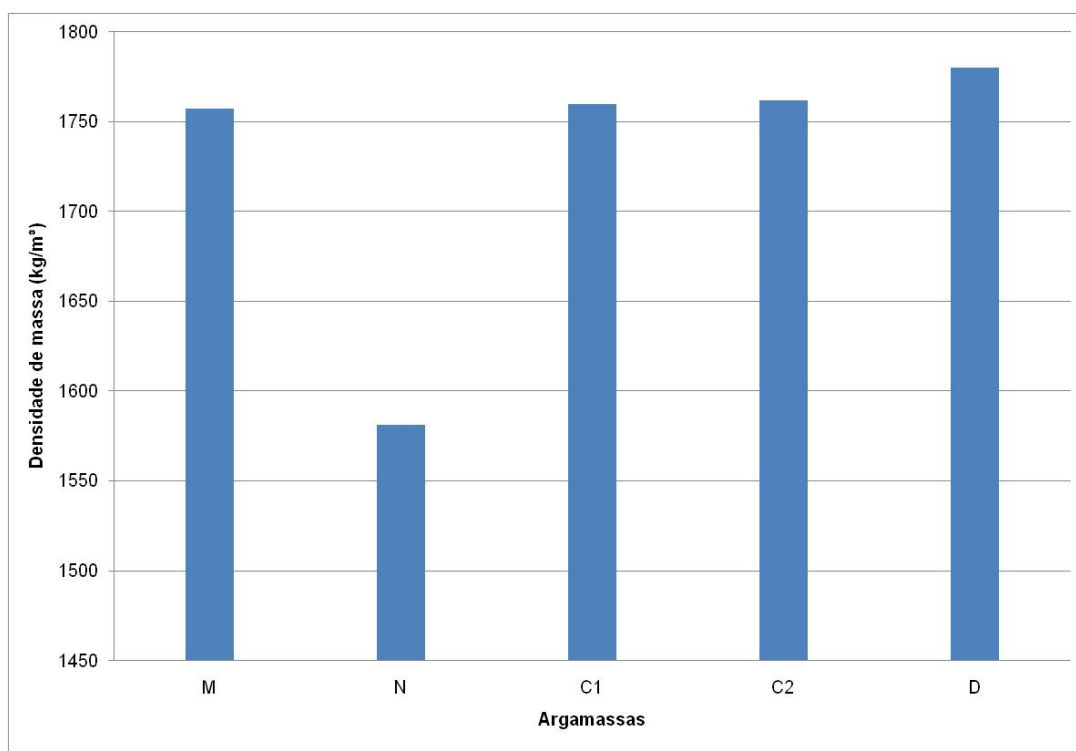


FIGURA 4.17 – DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO AOS 28 DIAS

FONTE: O autor (2009)

Todas as argamassas produzidas com agregado miúdo britado apresentaram densidade de massa maior do que aquela produzida com agregado miúdo natural. Isto pode ser explicado pelo fato de que os agregados miúdos de britagem possuem maior teor de fração fina, bem como o valor da massa específica é maior para os agregados de britagem. A fração fina, além de gerar maior teor de pasta na argamassa, ocupa os vazios entre a fração graúda de agregado miúdo, aumentando assim o empacotamento dos grãos.

Esses resultados obtidos justificam-se devido as agregado miúdos com menor índice de vazios apresentarem um maior teor de material pulverulento preenchendo os vazios e conseqüentemente facilitando a formação de pasta, enquanto que o agregado miúdo natural com o maior índice de vazios, apresentou um baixo teor de pulverulento, conseqüentemente pouca formação de pasta ocasionando a maior necessidade de carga para o mesmo deslocamento que a carga verificada nos agregado miúdos de britagem.

Quanto ao requisito densidade de massa no estado endurecido, segundo a classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005), apresentado na Tabela 2 da referida norma, a argamassa com agregado miúdo natural pertence a classe M3 onde a faixa de valores situa-se entre  $1200 \text{ kg/m}^3$  a  $1600 \text{ kg/m}^3$ . As argamassas de agregado miúdo britada pertencem a classe M5 onde a faixa de valores situa-se entre  $1600 \text{ kg/m}^3$  a  $2000 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.6.2 Resistência à compressão e à tração na flexão

Os resultados médios da resistência à tração na flexão para cada tipo de agregado miúdo estão apresentados na Figura 4.18.

A maior relação água/cimento é a responsável pela menor resistência à tração na flexão, neste caso, para a argamassa com agregado miúdo natural (N), que associada ao maior valor do índice de vazios desse agregado miúdo e a pouca quantidade de pasta formada contribuíram para o baixo valor de resistência à tração dessa argamassa. De maneira semelhante verificou-se com o agregado miúdo de britagem (D) que mesmo possuindo o menor índice de vazios, proporcionado pelo maior teor de fração fina, teve seu valor de resistência a tração na flexão menor que dois agregados miúdos que apresentaram maiores índice de vazios e menores teores da fração fina, ou



seja, provavelmente o que determinou a menor resistência à tração foi a maior relação água/cimento para essa argamassa, conforme esperado.

Para as argamassas de revestimento a avaliação da argamassa quanto à resistência à tração na flexão representa o esforço ao qual a argamassa está solicitada na prática, ao contrário da resistência à compressão que se torna representativa para o caso das argamassas de assentamento.

Os resultados médios da resistência à compressão para cada tipo de agregado miúdo estão apresentados na Figura 4.19.

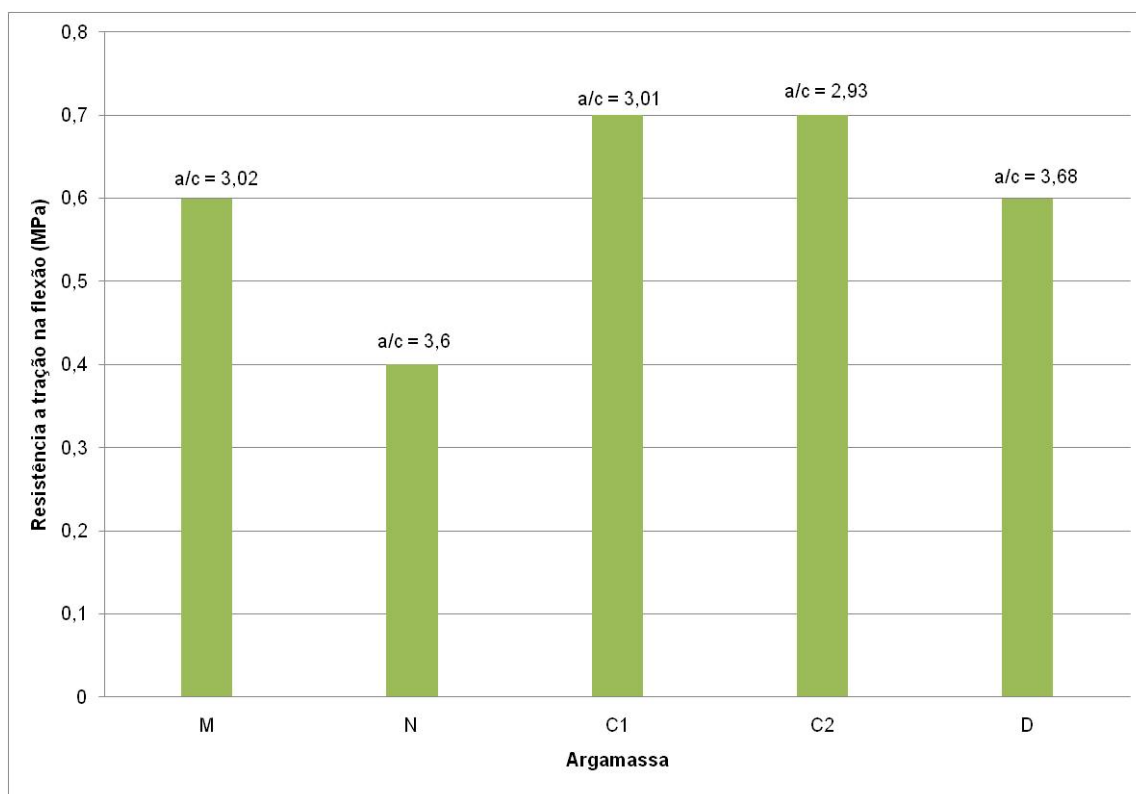


FIGURA 4.18 – RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO

FONTE: O autor (2009)

Todas as argamassas com agregado miúdo de britagem apresentaram resultados para as resistências mecânicas maiores do que a argamassa com agregado miúdo natural, provavelmente devido ao fato de possuírem maior densidade de massa no estado endurecido, conseqüência do maior teor da fração fina dos agregados miúdos de britagem em relação ao agregado miúdo natural e também pelos menores valores para o índice de vazios, ou seja,

houve maior formação de pasta nas argamassas com agregado miúdo de britagem e menor relação água/cimento do que na argamassa com agregado miúdo natural.

Ainda verifica-se, segundo a Tabela 3 da NBR 13281 (ABNT, 2005), que todas as argamassas, deste estudo, enquadram-se na classe R1 para resistência à tração na flexão onde os valores são menores que 1,5 MPa.

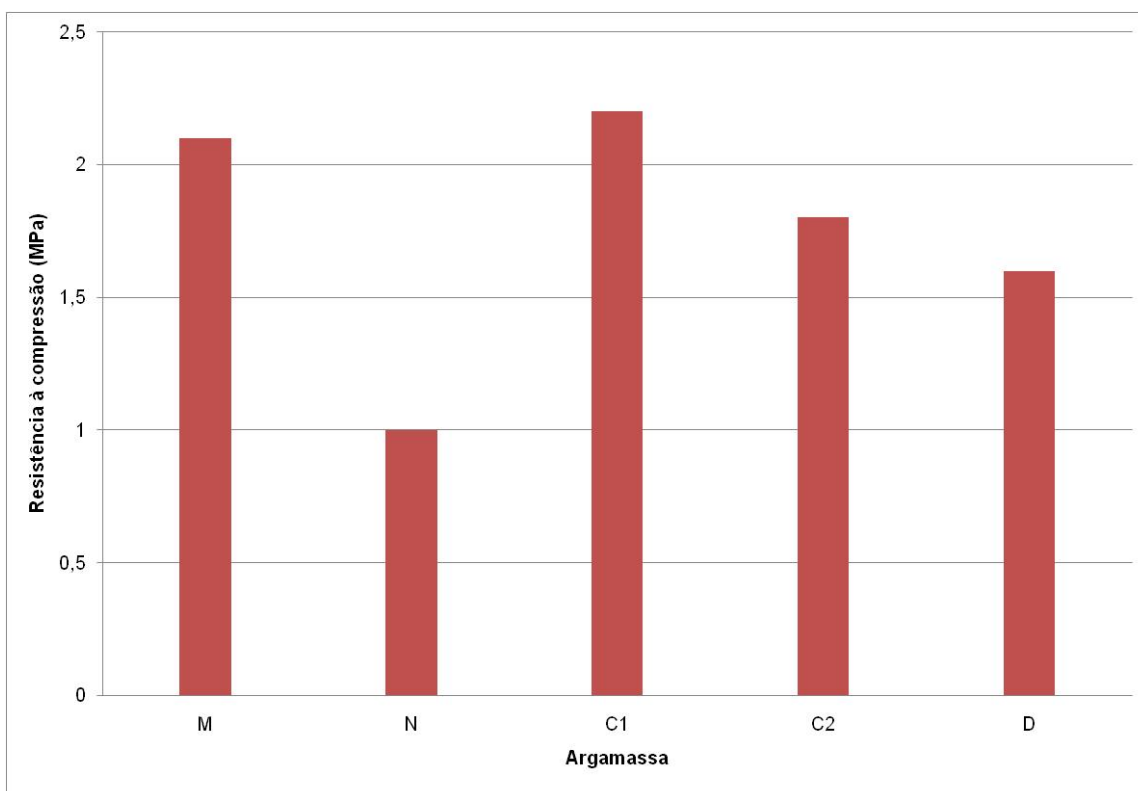


FIGURA 4.19 – RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

FONTE: O autor (2009)

#### 4.6.3 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Os resultados médios para cada tipo de agregado miúdo estão apresentados nas Figuras 4.20 e 4.21.

Analisando os primeiros 10 minutos de absorção as argamassas comportaram-se de maneira muito semelhante, mantendo-se a relação inclusive aos 90 minutos do ensaio. Observou-se apenas que a argamassa D teve uma absorção mais acentuada provavelmente devido o aumento do teor

de material fino, isto é, ocorre a diminuição do raio dos capilares elevando o nível de absorção da argamassa.

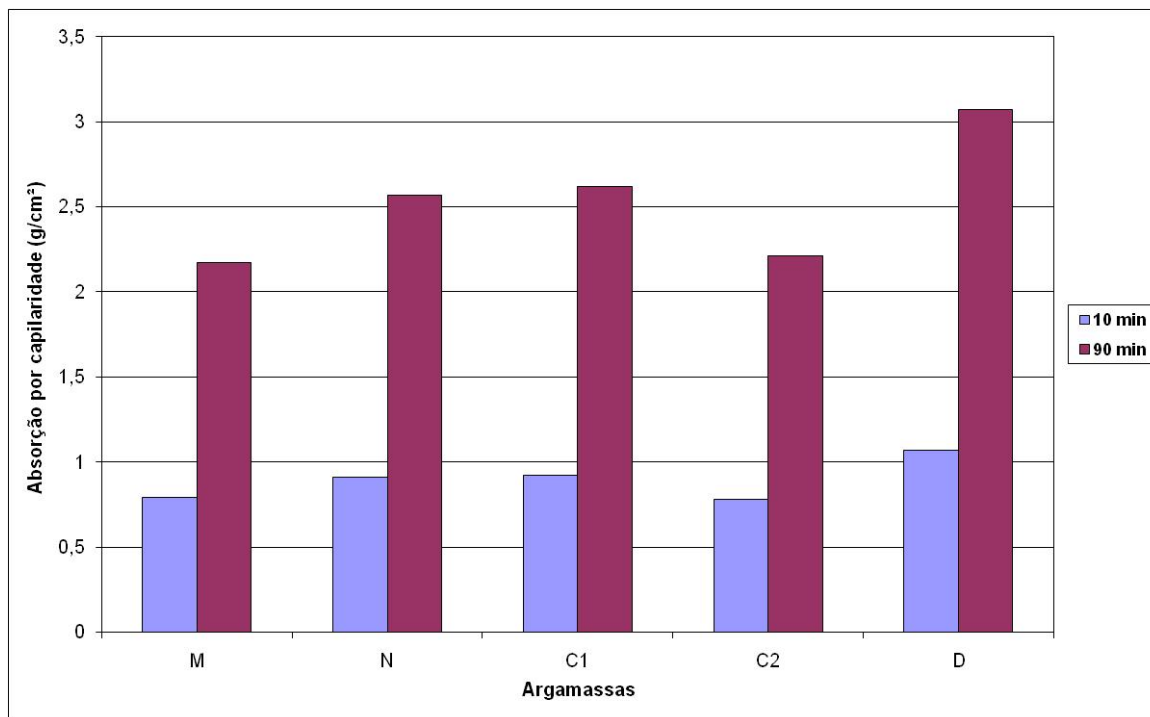


FIGURA 4.20 – RESULTADOS MÉDIO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE  
 FONTE: O autor (2009)

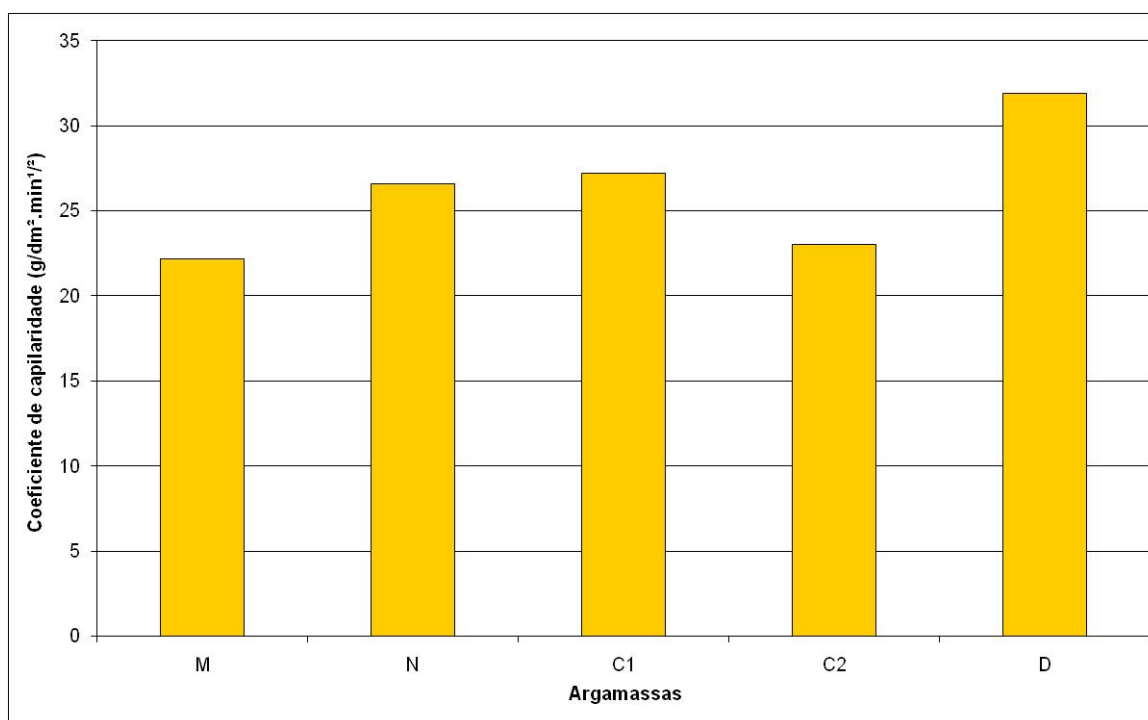


FIGURA 4.21 – RESULTADOS MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE CAPILARIDADE  
 FONTE: O autor (2009)

A altura de penetração da água é inversamente proporcional ao raio dos capilares, ou seja, quanto menor o raio dos capilares, maior será a altura que a água atingirá no corpo de prova. Observando os resultados da Figura 4.19, o teor da fração fina do agregado miúdo na argamassa D possivelmente provocou a diminuição do raio dos capilares devido ao empacotamento dos grãos, com isso, a argamassa apresentou coeficiente de capilaridade superior em relação às demais argamassas deste estudo. Além disso, o agregado miúdo D foi a que apresentou o menor índice de vazios entre todos os agregados miúdos, ou seja, fica evidenciado o preenchimento dos vazios pelos finos do agregado miúdo e ocasionando o menor raio dos capilares da argamassa e o maior coeficiente de capilaridade.

A classificação das argamassas para o requisito coeficiente de capilaridade segundo a Tabela 4 da norma NBR 13281 (ABNT, 2005) indica a classe C6, isto é, valores superiores a  $10 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$  para todas as argamassas estudadas.

#### 4.6.4 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

A Tabela 4.6 apresenta os resultados de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica para as argamassas produzidas com agregado miúdo natural e agregado miúdo de britagem.

Argamassa	Absorção		Índice de vazios		Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )			
	Após saturação	Após saturação e fervura	Após saturação	Após saturação e fervura	Seca	Após saturação	Após saturação e fervura	Real
M	15,46%	18,06%	28,12%	32,89%	1,821	2,055	2,151	2,715
N	16,51%	19,07%	28,30%	33,05%	1,735	1,975	2,066	2,593
C1	17,66%	19,22%	31,28%	34,03%	1,771	2,055	2,111	2,684
C2	15,54%	16,67%	28,28%	30,52%	1,831	2,087	2,136	2,635
D	17,15%	18,82%	31,20%	34,26%	1,820	2,099	2,163	2,769

TABELA 4.6 – ABSORÇÃO DA ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

FONTE: O autor (2009)

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4.6, a morfologia do agregado miúdo britado pode ter influenciado nos valores do índice de vazios das argamassas devido o agregado miúdo de britagem ser mais anguloso e

menos esférico do que as partículas do agregado miúdo natural, dificultando o empacotamento entre os grãos do agregado miúdo.

Verificou-se que os teores das frações dos agregados miúdos influenciaram o comportamento da massa específica das argamassas no estado endurecido, pois a agregado miúdo natural com o menor teor da fração fina e o maior índice de vazios gerou também uma argamassa com um baixo valor de massa específica no estado endurecido e em contrapartida a agregado miúdo D com o maior teor da fração fina e o menor índice de vazios foi a que apresentou o maior valor de massa específica.

A Figura 4.22 mostra a correlação linear, com expressivo coeficiente de determinação, entre os índices de vazios e absorção de água após saturação e fervura aos 28 dias, ou seja, na medida em que aumenta o índice de vazios da argamassa aumenta a absorção de água que possivelmente vai ocupando esses vazios na argamassa.

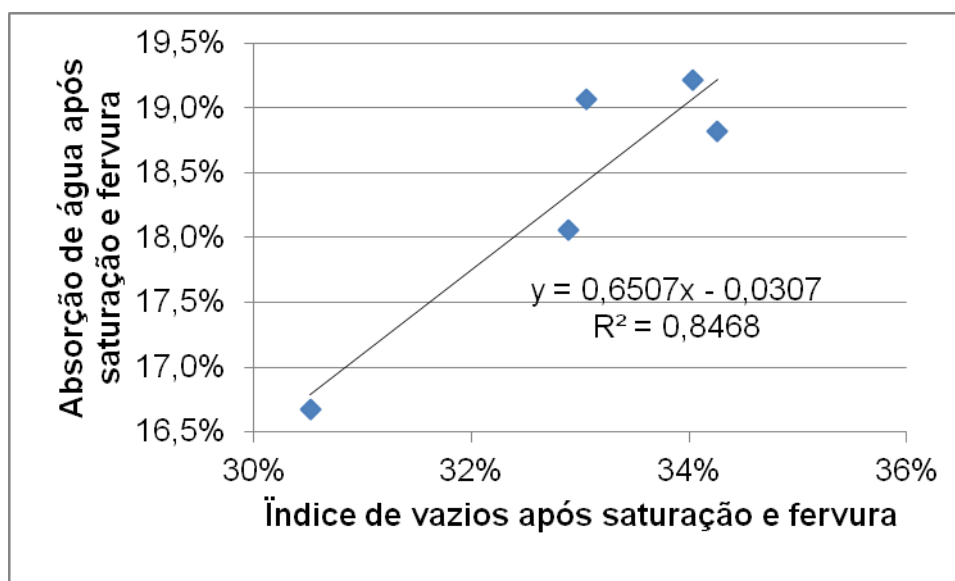


FIGURA 4.22 – CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE O ÍNDICE DE VAZIOS E A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS SATURAÇÃO E FERVURA NA IDADE DE 28 DIAS

FONTE: O autor (2009)

#### 4.7 CONCLUSÕES SOBRE O ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS

O teor de material pulverulento presente nos agregados miúdos teve influência decisiva nas propriedades das argamassas no estado endurecido,

uma vez que as argamassas com agregado miúdo de britagem apresentaram os maiores valores médios para os ensaios de densidade de massa e resistências à tração na flexão e compressão axial, pelo fato de que os agregados miúdos de britagem possuem maior teor de fração fina, bem como o valor da massa específica é maior para os agregados de britagem. A fração fina, além de gerar maior teor de pasta na argamassa, ocupa os vazios entre a fração graúda de agregado miúdo, aumentando assim o empacotamento dos grãos.

A importância do estudo do comportamento das argamassas no estado endurecido através da realização dos ensaios laboratoriais pretende antecipar possíveis ocorrências de manifestações patológicas. Assim, investigar-se como determinado agregado pode contribuir favoravelmente ou não nas propriedades das argamassas indica o correto uso e estimula a aplicação de técnicas para a correção e uso das argamassas com os diversos tipos de agregados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

A pesquisa resultou em avanços no conhecimento do comportamento das argamassas formuladas com a utilização do agregado miúdo proveniente de britagem de rochas. A partir da fixação dos aglomerantes e variando-se apenas o tipo de agregado miúdo, é possível estabelecer o comportamento de cada argamassa, indicando aos fabricantes e ao mercado consumidor subsídios para a continuidade da utilização destes agregados miúdos, bem como o incentivo à continuidade e avanços em novas pesquisas.

Para isso, o comparativo realizado dos agregados miúdos constantes da presente pesquisa com agregado miúdos pesquisadas em outras regiões demonstra a relevância e abrangência do presente trabalho.

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

Quanto ao tipo de agregado miúdo

- O teor das frações fina e graúda de cada agregado miúdo do estudo teve influência no comportamento das argamassas através dos ensaios realizados tanto no estado fresco quanto no endurecido. A argamassa formulada com agregado miúdo natural que apresentou o menor teor da fração fina na maioria dos ensaios teve desempenho abaixo das argamassas formuladas com agregado miúdo de britagem, pois a argamassa com agregado miúdo natural teve menor quantidade de pasta demandando maior relação água/materiais secos para manter-se dentro do índice de consistência fixado. Assim, devido o maior índice de vazios do agregado miúdo natural, houve queda das resistências mecânicas das argamassas e provavelmente ocasionará problemas na trabalhabilidade dessa argamassa verificado pelo seu comportamento reológico.

Desempenho reológico das argamassas estudadas

- A distribuição granulométrica é o fator de maior influência no comportamento reológico das argamassas, sendo que outros parâmetros como

teor de ar incorporado e morfologia dos agregados miúdos também se mostraram influentes, ou seja, os teores das frações fina e graúda das agregado miúdos e o empacotamento desses grãos influenciaram no comportamento reológico das argamassas.

- O ensaio “Squeeze flow se mostrou adequado na caracterização reológica das argamassas de revestimento. A curva de carga *versus* deslocamento permitiu a compreensão do comportamento reológico das argamassas, através do seu perfil e dos níveis de carga atingidos, devido a sensibilidade para diferenciar as argamassas estudadas e o impacto dos agregados miúdos no comportamento dessas argamassas.

- As argamassas apresentaram comportamento reológico diferente no deslocamento máximo de 5 mm, imposto no estudo, devido, muito provavelmente, ao imbricamento dos agregados e a quantidade de material fino. Atingiram esse deslocamento ampliando a carga de compressão, em função da maior ou menor interferência do atrito dos mesmos no seu fluxo.

Ao efetuar-se um comparativo entre as argamassas da pesquisa e argamassas industrializadas pode-se observar que a utilização do agregado miúdo artificial em argamassas de revestimento demonstra-se viável, uma vez que, os resultados obtidos assemelham-se ao das argamassas industrializadas, tradicionais no mercado consumidor, isto é, os agregados miúdos de britagem desta pesquisa (M, C1, C2, D) podem ser utilizados como argamassa de revestimentos.

## 5.2 TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

Todo o trabalho deve ter como finalidade a contribuição ao meio técnico e à indústria, através de publicações e palestras, para que o conhecimento adquirido possa contribuir para o avanço tecnológico.

Pretende-se publicar trabalhos técnicos em congressos e simpósios nacionais e internacionais, tendo em vista que se trata de um trabalho de interesse ao setor da indústria de agregados miúdos e argamassas. Dentro os eventos nacionais de maior importância na área, descata-se o Simpósio de



Tecnologia de Argamassas – SBTA, realizado a cada dois anos e o Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC. Também está prevista a publicação em revistas nacionais e internacionais, procurando ampliar a divulgação do trabalho.

### 5.3 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos e discussões conduzidas ao longo do trabalho, são os seguintes os temas indicados para estudos futuros, com o objetivo na continuidade ao avanço de conhecimento em agregado miúdos de britagem de rochas:

- Estudo da composição entre as agregado miúdos de britagem de modo a obter argamassas com desempenho, durabilidade e baixo custo, satisfazendo os requisitos normativos e propondo alterações quando se fizerem necessárias;

- Estudo da dosagem de materiais finos proveniente da britagem de rochas na formulação de argamassas.

- Realizar a medida do empacotamento dos grãos dos agregados miúdos verificando a sua influência no comportamento das argamassas.

- Analisar a aplicação dessas argamassas em painéis com o objetivo de verificar as propriedades do revestimento.

- Realizar estudo da forma dos grãos dos agregados miúdo para verificar a influência destes nas propriedades das argamassas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M.; SANTOS, L. S. **Areia artificial para uso em construção civil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008. Boletim Técnico.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H.. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 162 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175** Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7200** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

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

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 9779** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13277** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13279** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13530** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 15529** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBRNM 23** Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBRNM 45** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBRNM 52** Agregado miúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBRNM 248** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AZEREDO, G.; MOREL, J. – C.; LAMARQUE, C. – H. Applicability of rheometers to characterizing earth mortar behavior. Part I: experimental device and validation. **Materials and Structures**, n. 41, p. 1465 – 1472, 2008

BANFILL, P. F. G. The rheology of fresh mortar: a review In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 73-82.

BARBOSA, M. P. Fundamentos Teóricos e Práticos em Reologia de Materiais. Nota de aula.UNESP, Ilha Solteira, 2007.

BAUER, E. *et al.* Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 95-105.

BONIN, L. C. *et al.* Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curva granulométrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. p. 3 - 26.

BOUQUETY, M. N. *et al.* Experimental study of crushed aggregate shape. **Construction and Building Materials**, n. 21 , p. 865 – 872, 2007.

BUEST NETO, G. T. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento portland.** 169 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CARASEK, H. *et al.* Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2001. p. 43 - 67.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 121-143.

CARDOSO, F. A. *et al.* Caracterização física de argamassas de revestimento do mercado nacional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VIII., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 74-75.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. **Cement and Concrete Research**, n. 39, p. 748 - 753, 2009

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas**

**granulométricas.** 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CASTRO, A.L.; PANDOLFELLI, V.C. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, n. 55, p. 18-32, 2009.

CINCOTTO *et al.* Aplicação de método de ensaio de permeabilidade ao ar em argamassas moldadas em laboratório. In: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VII., 2007, Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - COMEC. **Extração de areia na região de Araucária.** 2002. 1 fotografia, color.

CORTES, D. D. *et al.* Rheological and mechanical properties of mortars prepared with manufactured sands. **Cement and Concrete Research**, n. 38, p. 1142 - 1147, 2008

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos.** 131 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COSTA, M. R. M. M.; CINCOTTO, M. A. PILEGGI, R. Análise do deslizamento da argamassa colante através do seu comportamento reológico In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VII., 2007, Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

COSTA, M. R. M. M.; MATTANA, A. Estudo da influência do tipo de cimento no comportamento reológico de argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VIII., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 30-31.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB. **Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation.** Modalités d'essais. Cahiers du CSTB, Paris, Livrasion 341, n. 2669-4, juil-août, 1993.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro.** Brasília, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba.** Brasília, 2004.

ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A.S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, n. 132, p. 1-27, 2005.

FERRARIS, C. F.; LARRARD, F. Testing and modeling of fresh concrete rheology. NISTIR 6094. **National Institute of Standards and Technology**, 1998.

FREEDONIA GROUP. **World Construction Aggregates to 2006**. Cleveland, 2006. Disponível em:  
<<http://www.freedoniagroup.com/DocumentDetails.aspx?DocumentId=4605>>.  
Acesso em 03/12/2008.

GOMES, A. M.; NERO, J. M. G.; APPLETON, J. A. S. Novo método para a avaliação da trabalhabilidade e consistência das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 83-91.

GONÇALVES, J. P. *et al.* Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. **Cement and Concrete Research**, n. 37, p. 924-932, 2007.

GONÇALVES, J. P. *et al.* Comportamento de argamassas contendo areia industrial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, VII, 2007, Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

GREEN, K.M. *et al.* The effects of lime and admixtures on the water-retaining properties of cement mortars. **Cement and Concrete Research**, n. 29, p. 1743 - 1747, 1999

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO – LACTEC. **Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2010.

JOHN, V. M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 47-63.

KOLENDA, F. *et al.* A. identification of rheological parameters by the squeezing test. **Powder Technology**, n. 130, p. 56 – 62, 2003

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 194 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LOFRANO, F. C. *et al.* Influência da rugosidade das placas na caracterização reológica de argamassas por Squeeze flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VIII., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 44 - 45.

LUZ, A. B; LINS, F. A. F. Comunicação Técnica elaborada para o livro rochas minerais industriais: Usos e especificações. Parte 2 – Rochas e minerais industriais: Usos e especificações. Capítulo 5 – p. 103-123. Rio de Janeiro, Rios de Janeiro, 2008.

MATTOS, L. R. S. **Identificação e caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas na cidade de Belém-PA.** 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MINERAIS DO PARANÁ - MINEROPAR. **Aspectos das areias no Paraná.** 2002. 1 fotografia, color.

NAKAKURA, E. H. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a MERUC.** 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PAIVA, H. *et al.* Effects of a water-retaining agent on the rheological behavior of a single-coat render mortar. **Cement and Concrete Research**, n. 36, p. 1257 - 1262, 2006.

PANDOLFO, L. M. *et al.* Propriedades das argamassas de revestimento produzidas com areia natural e areia de basalto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 53 – 58.

PILEGGI, R.G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** 187p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

PILEGGI, R. G., PANDOLFELLI, V. C. Reometria de concretos: Uma realidade brasileira para uma proposta internacional. In: Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, V, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. p.1-20

PÓVOAS, Y. V. **Avaliação da formação de “película” na argamassa colante e sua influência na adesão.** 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas**. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1998. Relatório Técnico EPUSP – USP.

RODOLPHO, P. M. **Estudo do comportamento do concreto no estado fresco contendo areia britada**. 155 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SAMPAIO, R. G.; BASTOS, P. K. X. Estudo da granulometria de areia de britagem para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VIII., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 52-53.

SENN, L. *et al.* Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments. **Construction and Building Materials**, n. 23, p. 3107 - 3111, 2009.

SILVA, D. A. da. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimentos portland**. 263 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA, N. G. da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 180 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 12-22.

SILVA, R. P. *et al.* Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, dropping ball e squeeze flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 106-120.

SILVA, R. P. **Argamassa com adição de fibras de polipropileno – Estudo do comportamento reológico e mecânico**. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.



SOUSA, J. G. G.; LARA, P. L. O. Reologia e trabalhabilidade das argamassas. In: BAUER, E. **Revestimentos de argamassas: características e peculiaridades**. Brasília, UnB, 2005. p. 23-29.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco**. 233 p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

TOUTOU, Z.; ROUSSEL, N.; LANOS, C. The squeezing test: a tool to identify firm cement-based material's rheological behavior and evaluate their ability. **Cement and Concrete Research**, n. 35, p. 1891 - 1899, 2005

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 219f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TRISTÃO, F. A. et al. Uso da areia industrial de basalto em argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 59 - 64.

TUTUMLUER, E.; PAN, T. Aggregate morphology affecting strength and permanent deformation behavior of unbound aggregate materials. **Journal of materials in civil engineering**, p. 617 – 627, 2008

VASCO, C.; COSTA, M. R. M. M; SILVA, N. G. Comparativo do comportamento reológico de argamassas industrializadas de revestimento da região Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VIII., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 36-37.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. B. Caracterização de argamassas no estado fresco: peculiaridade na análise de argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 53-62.

WESTERHOLM, M. **Rheology of the mortar phase of concrete with crushed aggregate**. 198 p. Licentiate Theses - Division of Mineral Processing, Department of Chemical Engineering and Geosciences, Lulea University of Technology, Lulea, 2006.

WESTERHOLM, M. *et al.* Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars. **Cement and Concrete Composites**, n. 30, p. 274 - 282, 2008



## **ANEXOS**

## ANEXO 1 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO CIMENTO E DA CAL

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS				DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CIMENTO PORTLAND E OUTROS MATERIAIS EM PÓ NBR NM 23/2001													
da amostra: 1.0104.09				Data do ensaio: 12.02.09				Reagente: QUELOSWE				Lote nº: 22 FILTRACÃO					
Condições Ambientais da Sala				FRASCO	Massa amostra m (g)	VOLUME MEDIDO (cm³)					MASSA ESPECÍFICA						
Temperatura (24±4)°C		Umidade Relativa (≤65%)				INICIAL (V <sub>i</sub> )		FINAL (V <sub>f</sub> )		V		(g/cm³)					
Medida	Corrigida	Medida	Corrigida	N°	Medido	Corrigido	Medido	Corrigido	V <sub>f</sub> -V <sub>i</sub>	m/V	MÉDIA						
19,5	19,5	60,8	60,8	FLC02	60,00	1,0	1,0	20,3	20,3	19,3	3,10	3,05					
				FLC05	60,00	0,0	0,0	19,9	19,9	19,9	3,01						
Leituras da escala do Frasco de Le Chatelier (cm³)																	
Somente c/ reagente		1,0		1,0		-		-		-		-					
Reagente e Amostra		20,3		20,3		-		-		-		-					
Leituras da escala do Frasco de Le Chatelier (cm³)																	
Somente c/ reagente		0,0		0,0		-		-		-		-					
Reagente e Amostra		19,9		19,9		-		-		-		-					
OBSERVAÇÕES: O resultado deve ser a média de duas determinações que não difiram entre si mais do que 0,01g/cm³.												CHECK LIST					
CP II - F ITAMBÉ												Equipamentos / Pontos de Verificação		Identificação		Status / Calibração	
												Inicial: Balança		BAL 014		OK	
												Final: Câmara Úmida		AM 001		OK	
												Termohigrômetro		TH 001		OK	
												Termômetro		TE 042		OK	
Conferência dos cálculos												OK					
Densidade do reagente												OK					
Temperatura de ensaio												OK					
Nível da balança												OK					
Variação da temp. do banho (±0,5°C)												OK					
ENSAIO REALIZADO POR:				RESPONSÁVEL PE ENSAIO:				ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:									

E - 133

Data: Abr/2004

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS				DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CIMENTO PORTLAND E OUTROS MATERIAIS EM PÓ NBR NM 23/2001													
Registro da amostra: 1.1032.08				Data do ensaio: 13.04.09				Reagente: QUELOSWE				Lote nº: Novo					
Condições Ambientais da Sala				FRASCO	Massa amostra m (g)	VOLUME MEDIDO (cm³)					MASSA ESPECÍFICA						
Temperatura (24±4)°C		Umidade Relativa (≤65%)				INICIAL (V <sub>i</sub> )		FINAL (V <sub>f</sub> )		V		(g/cm³)					
Medida	Corrigida	Medida	Corrigida	N°	Medido	Corrigido	Medido	Corrigido	V <sub>f</sub> -V <sub>i</sub>	m/V	MÉDIA						
19,5	19,5	60,8	60,8	FLC05	53,8	0,2	0,2	23,8	23,8	23,6	2,27	2,27					
				FLC01	53,9	0,0	0,0	23,7	23,7	23,7	2,27						
Leituras da escala do Frasco de Le Chatelier (cm³)																	
Somente c/ reagente		0,2		0,2		x		x		x		x					
Reagente e Amostra		23,8		23,8		x		x		x		x					
Leituras da escala do Frasco de Le Chatelier (cm³)																	
Somente c/ reagente		0,0		0,0		x		x		x		x					
Reagente e Amostra		23,7		23,7		x		x		x		x					
OBSERVAÇÕES: O resultado deve ser a média de duas determinações que não difiram entre si mais do que 0,01g/cm³.												CHECK LIST					
CH-III (cem)												Equipamentos / Pontos de Verificação		Identificação		Status / Calibração	
												Inicial: Balança		BAL 014		✗	
												Final: Câmara Úmida		AM 001		✗	
												Termohigrômetro		TH 001		✗	
												Termômetro		TE 042		✗	
Conferência dos cálculos												✗					
Densidade do reagente												✗					
Temperatura de ensaio												✗					
Nível da balança												✗					
Variação da temp. do banho (±0,5°C)												✗					
ENSAIO REALIZADO POR:				RESPONSÁVEL PE ENSAIO:				ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:									

DOC LAME - 133

Data: Abr/2004

*Adaptação ao 92 910 de 48º graus*

LAME LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		ENSAIO DE DENSIDADE E ABSORÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO		
Amostra		Material		Recabimento
		<i>AL CHIII</i>		
<b>MASSA ESPECÍFICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA - NBR NM 53/02</b>				
	Amostra 1	Amostra 2	Média	
Massa na condição sss ( $m_s$ ) (g)				
Massa imersa ( $m_a$ ) (g)				
Massa seca (m) (g)				
Massa específica do agregado seco $d = m/(m_s - m_a)$			(g/cm <sup>3</sup> )	
Massa específica na condição sss $d_s = m_s/(m_s - m_a)$			(g/cm <sup>3</sup> )	
Massa específica aparente $d_a = m/(m - m_a)$			(g/cm <sup>3</sup> )	
Absorção $A = (m_s - m)/m \cdot 100$			(%)	
Temperatura da água no interior do tanque de imersão durante o ensaio (°C)				
Balança :	Estufa :	Termômetro :	Data de ensaio :	
<b>MASSA UNITÁRIA NO ESTADO SOLTO - NBR NM 45/06</b>				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Massa do Recipiente (kg) <i>9</i>	<i>591.5</i>	<i>591.5</i>	<i>591.5</i>	
Massa do Recipiente + Conteúdo (kg)	<i>591.5</i>	<i>878.4</i>	<i>874.4</i>	
Volume do recipiente $m^3$ <i>887.3</i>	<i>448</i>	<i>448</i>	<i>448</i>	
Massa unitária ( $\rho_{ap}$ )	<i>0,660</i>	<i>0,640</i>	<i>0,631</i>	<i>0,643</i> (kg/m <sup>3</sup> ) <i>9/cm<sup>3</sup></i>
Massa unitária SSS ( $\rho_{as}$ )	<i>295.8</i>	<i>286.9</i>	<i>282.9</i>	(kg/m <sup>3</sup> )
Índice de volume de vazios ( $E_v$ )		(%)		
Balança :	Recipiente :	Data do ensaio :		
<b>MASSA UNITÁRIA COMPACTADA - NBR NM 45/06</b>				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Massa do Recipiente (kg)				
Massa do Recipiente + Conteúdo (kg)				
Volume do recipiente (m <sup>3</sup> )				
Massa unitária ( $\rho_{ap}$ )				(kg/m <sup>3</sup> )
Massa unitária SSS ( $\rho_{as}$ )				(kg/m <sup>3</sup> )
Índice de volume de vazios ( $E_v$ )		(%)		
Balança :	Recipiente :	Data do ensaio :		
Massa Específica da Água durante imersão dos agregados:			998,24	kg/m <sup>3</sup>
Observações:				
Técnico executor :		Técnico conferente:	Engenheiro responsável :	

*AL*

*massa al*

## ANEXO 2 - RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS MIÚDOS

Amostra			Material		Recebimento	Ensaio		
1.0265.09			Areia		30/3/2009	23/9/2009		
ENSAIO DE GRANULOMETRIA - NBR 248/03								
Peneiras			Material Retido		Porcentagem Retida			
Número	mm	Código	Amostra1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	Acumulada
4	4,8		0,0	0,0	0,0%	0,0%	0%	0%
8	2,4		27,5	28,2	9,1%	9,5%	9%	9%
16	1,2		79,7	79,7	26,5%	26,7%	27%	36%
30	0,6		50,3	51,3	16,7%	17,2%	17%	53%
50	0,3		39,4	38,5	13,1%	12,9%	13%	66%
100	0,15		28,1	28,8	9,3%	9,7%	9%	75%
200	0,075		31,0	29,9	10,3%	10,0%	10%	86%
Fundo			44,7	42,0	14,9%	14,1%	14%	90%
Massa Final (g):			300,7	298,4	100,0%	100,0%	100%	-
Massa Inicial (g):			300,9	299,3	<b>Formulário</b> Diferença = $\frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100$ M.F. = $\sum$ das % ret. acum. em peneiras de série normal + 100 D.M.C. = Peneira (mm) com % ret. acumulada $\leq$ 5%			
Diferença (< 0,3%):			0,07	0,30				
Módulo de Finura:			2,39					
D.M.C. (mm):			4,8 mm					

Amostra			Material		Recebimento	Ensaio		
1.0269.09			Areia		9/4/2009	23/9/2009		
ENSAIO DE GRANULOMETRIA - NBR 248/03								
Peneiras			Material Retido		Porcentagem Retida			
Número	mm	Código	Amostra1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	Acumulada
4	4,8		10,0	7,5	3,3%	2,5%	3%	3%
8	2,4		23,8	19,8	7,9%	6,6%	7%	10%
16	1,2		47,3	43,7	15,8%	14,6%	15%	25%
30	0,6		53,6	49,8	17,8%	16,6%	17%	43%
50	0,3		86,9	91,1	28,9%	30,4%	30%	72%
100	0,15		54,4	62,2	18,1%	20,7%	19%	92%
200	0,075		19,0	20,3	6,3%	6,8%	7%	98%
Fundo			5,3	5,7	1,8%	1,9%	2%	93%
Massa Final (g):			300,3	300,1	100,0%	100,0%	100%	-
Massa Inicial (g):			300,5	300,4	<b>Formulário</b> Diferença = $\frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100$ M.F. = $\sum$ das % ret. acum. em peneiras de série normal + 100 D.M.C. = Peneira (mm) com % ret. acumulada $\leq$ 5%			
Diferença (< 0,3%):			0,07	0,10				
Módulo de Finura:			2,45					
D.M.C. (mm):			4,8 mm					

Amostra			Material		Recebimento	Ensaio		
1.0273.09			Areia		9/4/2009	23/9/2009		
ENSAIO DE GRANULOMETRIA - NBR 248/03								
Peneiras			Material Retido		Porcentagem Retida			
Número	mm	Código	Amostra1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	Acumulada
4	4,8		0,0	0,0	0,0%	0,0%	0%	0%
8	2,4		27,4	28,9	9,1%	9,7%	9%	9%
16	1,2		77,1	73,5	25,7%	24,6%	25%	34%
30	0,6		59,5	57,2	19,8%	19,1%	19%	54%
50	0,3		43,1	45,1	14,3%	15,1%	15%	69%
100	0,15		25,7	23,9	8,6%	8,0%	8%	77%
200	0,075		20,1	19,2	6,7%	6,4%	7%	83%
Fundo			47,6	51,5	15,8%	17,2%	17%	93%
Massa Final (g):			300,5	299,3	100,0%	100,0%	100%	-
Massa Inicial (g):			300,7	300,0	<b>Formulário</b> Diferença = $\frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100$ M.F. = $\sum$ das % ret. acum. em peneiras de série normal + 100 D.M.C. = Peneira (mm) com % ret. acumulada $\leq$ 5%			
Diferença (< 0,3%):			0,07	0,23				
Módulo de Finura:			2,43					
D.M.C. (mm):			4,8 mm					



Amostra			Material		Recebimento	Ensaio		
1.0312.09			Areia		17/4/2009	23/9/2009		
ENSAIO DE GRANULOMETRIA - NBR 248/03								
Peneiras			Material Retido		Porcentagem Retida			
Número	mm	Código	Amostra1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	Acumulada
4	4,8		2,3	1,8	0,8%	0,6%	1%	1%
8	2,4		4,7	6,0	1,6%	2,0%	2%	2%
16	1,2		89,9	93,3	30,0%	31,1%	31%	33%
30	0,6		70,4	71,4	23,5%	23,8%	24%	57%
50	0,3		54,8	52,5	18,3%	17,5%	18%	75%
100	0,15		32,1	30,0	10,7%	10,0%	10%	85%
200	0,075		23,8	18,5	7,9%	6,2%	7%	92%
Fundo			22,0	26,4	7,3%	8,8%	8%	93%
Massa Final (g):			300,0	299,9	100,0%	100,0%	100%	-
Massa Inicial (g):			300,1	300,4	<b>Formulário</b> Diferença = $\frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100$ M.F. = $\sum$ das % ret. acum. em peneiras de série normal + 100 D.M.C. = Peneira (mm) com % ret. acumulada $\leq$ 5%			
Diferença (< 0,3%):			0,03	0,17				
Módulo de Finura:			2,52					
D.M.C. (mm):			2,4 mm					



Amostra			Material		Recebimento	Ensaio		
1.0348.09			Areia		27/4/2009	23/9/2009		
ENSAIO DE GRANULOMETRIA - NBR 248/03								
Peneiras			Material Retido		Porcentagem Retida			
Número	mm	Código	Amostra1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	Acumulada
4	4,8		2,6	1,0	0,9%	0,3%	1%	1%
8	2,4		19,6	13,2	6,5%	4,4%	5%	6%
16	1,2		96,8	85,7	32,3%	28,6%	30%	37%
30	0,6		52,3	53,3	17,4%	17,8%	18%	54%
50	0,3		28,9	32,3	9,6%	10,8%	10%	64%
100	0,15		13,7	15,7	4,6%	5,2%	5%	69%
200	0,075		16,9	17,9	5,6%	6,0%	6%	75%
Fundo			69,0	80,3	23,0%	26,8%	25%	94%
Massa Final (g):			299,8	299,4	100,0%	100,0%	100%	-
Massa Inicial (g):			300,2	300,2	<b>Formulário</b> Diferença = $\frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100$ M.F. = $\sum$ das % ret. acum. em peneiras de série normal + 100 D.M.C. = Peneira (mm) com % ret. acumulada $\leq$ 5%			
Diferença (< 0,3%):			0,13	0,27				
Módulo de Finura:			2,31					
D.M.C. (mm):			4,8 mm					



### ANEXO 3 - RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA FRAÇÃO FINA DAS AGREGADO MIÚDOS

 UFPR		<b>RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS LASER</b>				 LAMIR
Cliente:	Larissa Wendling	Penetramento	Laser			
Material:	Areia	Equipamento	Granulômetro CILAS 1064			
Nº Lamir	281/09 A	Tempo de Ultrassom	60 segundos			
Nome da Amostra	1.0265.09	Técnica	Elisiane R. Pescini			
Massa inicial (g)	100,00	Data:	1/6/09			
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADA ABAIXO	
35	0,425	0,00	-	-	100,00	
42	0,355	0,00	-	-	100,00	
48	0,280	0,00	-	-	100,00	
80	0,180	0,00	-	-	100,00	
100	0,150	0,00	-	-	100,00	
170	0,090	0,58	0,58	0,58	99,42	
200	0,075	2,45	2,45	3,03	96,97	
250	0,063	5,03	5,03	8,06	91,94	
270	0,053	7,82	7,82	15,88	84,12	
325	0,043	11,14	11,14	27,02	72,98	
400	0,036	8,34	8,34	35,36	64,64	
500	0,028	10,41	10,41	45,77	54,23	
635	0,020	12,29	12,29	58,06	41,94	
	0,010	16,61	16,61	74,67	25,33	
	0,006	7,09	7,09	81,76	18,24	
	0,003	7,07	7,07	88,83	11,17	
	0,001	7,93	7,93	96,76	3,24	
menor 0,001	0,000	3,24	3,24	100,00	0,00	
MASSA FINAL (g): 100,00		Módulos				
		Diâmetro 10%	2,63	Diâmetro 90%	60,00	
		Diâmetro 50%	25,07	Diâmetro médio	28,92	



		<b>RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS LASER</b>				
Cliente:	Larissa Wendling		Peneiramento	Laser		
Material:	Areia		Equipamento	Granulômetro CILAS 1064		
Nº Lamir	281/09 B		Tempo de Ultrasom	60 segundos		
Nome da Amostra	1.0269.09		Técnica	Elisiane R. Pescini		
Massa Inicial (g)	100,00		Data:	1/6/09		
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADA ABAIXO	
35	0,425	0,00	-	-	100,00	
42	0,355	0,00	-	-	100,00	
48	0,280	0,00	-	-	100,00	
80	0,180	0,00	-	-	100,00	
100	0,150	0,00	-	-	100,00	
170	0,090	2,05	2,05	2,05	97,95	
200	0,075	6,12	6,12	8,17	91,83	
250	0,063	11,39	11,39	19,56	80,44	
270	0,053	14,09	14,09	33,65	66,35	
325	0,043	15,01	15,01	48,66	51,34	
400	0,036	9,61	9,61	58,27	41,73	
500	0,028	9,65	9,65	67,92	32,08	
635	0,020	8,75	8,75	76,67	23,33	
	0,010	9,50	9,50	86,17	13,83	
	0,006	3,71	3,71	89,88	10,12	
	0,003	3,61	3,61	93,49	6,51	
	0,001	4,30	4,30	97,79	2,21	
menor 0,001	0,000	2,21	2,21	100,00	0,00	
MASSA FINAL (g):		100,00	Micrômetros			
			Diâmetro 10%	5,89	Diâmetro 90%	72,49
			Diâmetro 50%	42,03	Diâmetro médio	41,13

		<b>RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS LASER</b>				
Cliente:	Larissa Wendling	Penetramento	Laser			
Material:	Areia	Equipamento	Granulômetro CILAS 1064			
Nº Lamir	281/09 C	Tempo de Ultrassom	60 segundos			
Nome da Amostra	1.0273.09	Técnica	Eliisiane R. Pescini			
Massa Inicial (g)	100,00	Data:	1/6/09			
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADA ABAIXO	
35	0,425	0,00	-	-	100,00	
42	0,355	0,00	-	-	100,00	
48	0,280	0,00	-	-	100,00	
80	0,180	0,00	-	-	100,00	
100	0,150	0,00	-	-	100,00	
170	0,090	0,00	-	-	100,00	
200	0,075	0,27	0,27	0,27	99,73	
250	0,063	1,30	1,30	1,57	98,43	
270	0,053	3,14	3,14	4,71	95,29	
325	0,043	6,38	6,38	11,09	88,91	
400	0,036	6,60	6,60	17,69	82,31	
500	0,028	9,44	9,44	27,13	72,87	
635	0,020	12,92	12,92	40,05	59,95	
	0,010	23,85	23,85	63,90	36,10	
	0,006	11,37	11,37	75,27	24,73	
	0,003	9,20	9,20	84,47	15,53	
	0,001	9,71	9,71	94,18	5,82	
menor 0,001	0,000	5,82	5,82	100,00	0,00	
MASSA FINAL (g):		100,00	Micrômetros Diâmetro 10% 1,74 Diâmetro 90% 44,39 Diâmetro 50% 15,46 Diâmetro médio 19,66			

		<b>RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS LASER</b>				
Cliente:	Larissa Wendling	Penetramento	Laser			
Material:	Areia	Equipamento	Granulômetro CILAS 1064			
Nº Lamir	281/09 E	Tempo de Ultrassom	60 segundos			
Nome da Amostra	1.0312.09	Técnica	Eliisiane R. Pescini			
Massa Inicial (g)	100,00	Data:	1/6/09			
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% A ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADA ABAIXO	
35	0,425	0,00	-	-	100,00	
42	0,355	0,00	-	-	100,00	
48	0,280	0,00	-	-	100,00	
80	0,180	0,00	-	-	100,00	
100	0,150	0,00	-	-	100,00	
170	0,090	0,00	-	-	100,00	
200	0,075	0,41	0,41	0,41	99,59	
250	0,063	1,69	1,69	2,10	97,90	
270	0,053	3,71	3,71	5,81	94,19	
325	0,043	7,29	7,29	13,10	86,90	
400	0,036	7,66	7,66	20,76	79,24	
500	0,028	10,53	10,53	31,29	68,71	
635	0,020	14,22	14,22	45,51	54,49	
	0,010	22,97	22,97	68,48	31,52	
	0,006	9,67	9,67	78,15	21,85	
	0,003	8,05	8,05	86,20	13,80	
	0,001	8,71	8,71	94,91	5,09	
menor 0,001	0,000	5,09	5,09	100,00	0,00	
MASSA FINAL (g):		100,00	Micrômetros Diâmetro 10% 2 Diâmetro 90% 46,67 Diâmetro 50% 17,95 Diâmetro médio 21,66			

		<b>RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS LASER</b>				
Cliente:	Larissa Wendling		Penetramento	Laser		
Material:	Areia		Equipamento	Granulômetro CILAS 1064		
Nº Lamir	281/09 F		Tempo de Ultrassom	60 segundos		
Nome da Amostra	1.0348.09		Técnica	Eliisiane R. Pescini		
Massa Inicial (g)	100,00		Data:	1/6/09		
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	%EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADA ABAIXO	
35	0,425	0,00	-	-	100,00	
42	0,355	0,00	-	-	100,00	
48	0,280	0,00	-	-	100,00	
80	0,180	0,00	-	-	100,00	
100	0,150	0,00	-	-	100,00	
170	0,090	0,00	-	-	100,00	
200	0,075	0,84	0,84	0,84	99,16	
250	0,063	2,93	2,93	3,77	96,23	
270	0,063	5,61	5,61	9,38	90,62	
325	0,043	9,48	9,48	18,86	81,14	
400	0,036	8,96	8,96	27,82	72,18	
500	0,028	12,17	12,17	39,99	60,01	
635	0,020	15,53	15,53	55,52	44,48	
	0,010	19,90	19,90	75,42	24,58	
	0,006	6,83	6,83	82,25	17,75	
	0,003	5,68	5,68	87,93	12,07	
	0,001	6,84	6,84	94,77	5,23	
menor 0,001	0,000	5,23	5,23	100,00	0,00	
MASSA FINAL (g):		100,00	Micrômetros			
			Diâmetro 10%	2,24	Diâmetro 90%	52,21
			Diâmetro 50%	22,63	Diâmetro médio	25,61

## ANEXO 4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280/2005</b>					
Registro	Amostra	Altura (h) (cm)	Largura (l) (cm)	Comprimento (c) (cm)	Massa (m) (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )
1.0265.09	1	4,0	4,3	16,0	470,8	269,1	1750
		4,0	4,1	16,0			
	média	4,0	4,2	16,0			
1.0265.09	2	4,2	4,0	16,0	470,4	265,9	1769
		4,1	4,0	16,0			
	média	4,2	4,0	16,0			
1.0265.09	3	4,3	4,0	16,0	474,3	270,7	1752
		4,2	4,0	16,0			
	média	4,2	4,0	16,0			

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280/2005</b>					
Registro	Amostra	Altura (h) (cm)	Largura (l) (cm)	Comprimento (c) (cm)	Massa (m) (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )
1.0269.09	1	4,0	4,1	16,0	413,6	259,8	1592
		4,0	4,0	16,0			
	média	4,0	4,1	16,0			
1.0269.09	2	4,1	4,0	16,0	409,5	259,4	1579
		4,0	4,0	16,0			
	média	4,0	4,0	16,0			
1.0269.09	3	4,0	4,1	16,0	411,0	261,4	1572
		4,1	4,0	16,0			
	média	4,1	4,0	16,0			

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280/2005</b>					
Registro	Amostra	Altura (h) (cm)	Largura (l) (cm)	Comprimento (c) (cm)	Massa (m) (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )
1.0273.09	1	4,0	4,2	16,0	478,2	268,4	1781
		4,0	4,2	16,0			
	média	4,0	4,2	16,0			
1.0273.09	2	4,2	4,2	16,2	482,0	274,9	1754
		4,0	4,1	16,2			
	média	4,1	4,2	16,2			
1.0273.09	3	4,2	4,0	16,1	475,3	272,6	1744
		4,2	4,0	16,2			
	média	4,2	4,0	16,2			

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280/2005</b>					
Registro	Amostra	Altura (h) (cm)	Largura (l) (cm)	Comprimento (c) (cm)	Massa (m) (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )
1.0312.09	1	4,0	4,2	16,0	475,8	269,5	1765
		4,0	4,2	16,0			
	média	4,0	4,2	16,0			
1.0312.09	2	4,0	4,3	16,0	478,7	273,3	1752
		4,0	4,3	16,0			
	média	4,0	4,3	16,0			
1.0312.09	3	4,2	4,0	16,0	477,6	270,1	1768
		4,2	4,0	16,0			
	média	4,2	4,0	16,0			

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280/2005</b>					
Registro	Amostra	Altura (h) (cm)	Largura (l) (cm)	Comprimento (c) (cm)	Massa (m) (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )
1.0348.09	1	4,0	4,2	16,0	477,3	267,4	1785
		4,0	4,1	16,0			
	média	4,0	4,2	16,0			
1.0348.09	2	4,2	4,0	16,0	479,4	268,7	1784
		4,2	4,0	16,0			
	média	4,2	4,0	16,0			
1.0348.09	3 *	4,3	4,0	16,0	476,3	269,0	1771
		4,1	4,0	16,0			
	média	4,2	4,0	16,0			

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO - NBR 13279/2005</b>				
Tipo:	Cor:	Lote/Fabricação:	Fabricante:	Proporção água/arg. (massa)	Marca comercial:	
<b>RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO - NBR 13279/2005</b>						
Registro	Amostra	Distância entre os suportes (100,0 ± 0,5 mm)	Carga Aplicada (N)	Resistência à tração na flexão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Absoluto Máximo (Mpa)
1.0265.09	1	100,0	291,0	0,68	0,6	0,2
	2		167,0	0,39		
	3		308,0	0,72		
1.0269.09	1	100,0	165,0	0,39	0,4	0,0
	2		179,0	0,42		
	3		162,0	0,38		
<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - NBR 13279/2005</b>						
Registro	Amostra	Carga Aplicada (N)	Resistência à compressão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	
1.0265.09	1	2646,0	1,65	2,1	0,4	
	2	3365,0	2,10			
	3	3244,0	2,03			
	4	3416,0	2,14			
	5	3564,0	2,23			
	6	3626,0	2,27			
1.0269.09	1	1947,0	1,22	1,0	0,2	
	2	1524,0	0,95			
	3	1636,0	1,02			
	4	1681,0	1,05			
	5	1560,0	0,98			
	6	1569,0	0,98			
Idade (dias): 28	Paquímetro: PAQ - 017	Maquina de ensaios: MAQ - 005		Data de ensaio : 3/9/2009		
<b>Requisitos da NBR 13279/2005:</b> <b>Resistência à tração na flexão:</b> Caso o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 Mpa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova. <b>Resistência à compressão axial:</b> Caso o desvio absoluto máximo for superior a 0,5 Mpa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo quatro corpos-de-prova.						

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO NBR 13279/2005</b>				
Tipo:	Cor:	Lote/Fabricação:	Fabricante:	Proporção água/arg. (massa)	Marca comercial:	
<b>RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO - NBR 13279/2005</b>						
Registro	Amostra	Distância entre os suportes (100,0 ± 0,5 mm)	Carga Aplicada (N)	Resistência à tração na flexão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Absoluto Máximo (Mpa)
1.0273.09	1	100,0	365,0	0,86	0,7	0,2
	2		282,0	0,66		
	3		237,0	0,56		
1.0274.09	1	100,0	201,0	0,47	0,5	0,1
	2		260,0	0,61		
	3		225,0	0,53		
<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - NBR 13279/2005</b>						
Registro	Amostra	Carga Aplicada (N)	Resistência à compressão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	
1.0273.09	1	3771,0	2,36	2,2	0,1	
	2	3619,0	2,26			
	3	3578,0	2,24			
	4	3495,0	2,18			
	5	3390,0	2,12			
	6	3447,0	2,15			
1.0274.09	1	2611,0	1,63	1,9	0,3	
	2	3208,0	2,01			
	3	3263,0	2,04			
	4	3079,0	1,92			
	5	2964,0	1,85			
	6	3138,0	1,96			
Idade (dias): 28	Paquímetro: PAQ - 017	Maquina de ensaios: MAQ - 005		Data de ensaio : 3/9/2009		
<b>Requisitos da NBR 13279/2005:</b> <b>Resistência à tração na flexão:</b> Caso o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 Mpa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova. <b>Resistência à compressão axial:</b> Caso o desvio absoluto máximo for superior a 0,5 Mpa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo quatro corpos-de-prova.						

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO - NBR 13279/2005</b>				
Tipo:	Cor:	Lote/Fabricação:	Fabricante:	Proporção água/arg. (massa)	Marca comercial:	
<b>RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO - NBR 13279/2005</b>						
Registro	Amostra	Distância entre os suportes (100,0 ± 0,5 mm)	Carga Aplicada (N)	Resistência à tração na flexão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Absoluto Máximo (Mpa)
1.0312.09	1	100,0	292,0	0,68	0,7	0,0
	2		304,0	0,71		
	3		306,0	0,72		
1.0348.09	1	100,0	213,0	0,50	0,6	0,1
	2		261,0	0,61		
<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - NBR 13279/2005</b>						
Registro	Amostra	Carga Aplicada (N)	Resistência à compressão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	
1.0312.09	1	2890,0	1,81	1,8	0,1	
	2	2935,0	1,83			
	3	2917,0	1,82			
	4	2991,0	1,87			
	5	3065,0	1,92			
	6	2704,0	1,69			
1.0348.09	1	2647,0	1,65	1,6	0,1	
	2	2733,0	1,71			
	3	2654,0	1,66			
	4	2627,0	1,64			
	5	2472,0	1,55			
	6	2501,0	1,56			
Idade (dias): 28	Paquímetro: PAQ - 017	Maquina de ensaios: MAQ - 005		Data de ensaio : 3/9/2009		
<b>Requisitos da NBR 13279/2005:</b> <b>Resistência à tração na flexão:</b> Caso o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 Mpa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova. <b>Resistência à compressão axial:</b> Caso o desvio absoluto máximo for superior a 0,5 Mpa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo quatro corpos-de-prova.						



<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E CONSTRUTIVAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E DO COEFICIENTE DE CAPILARIDADE - NBR 15259/2005</b>						
Tipo:	Cor:	Lote/Fabricação:		Marca comercial:		Fabricante:	Proporção água/argamassa:	
0	0	0				0	0	
Registro	Amostra	10 min		90 min		Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	média	desvio absoluto máximo (%)
		Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	média	Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	média			
1.0265.09	1	0,78	0,79	2,21	2,17	22,9	22,2	3,1%
	2	0,76		2,12		21,8		
	3	0,83		2,19		21,9		
1.0269.09	1	0,88	0,91	2,43	2,57	24,8	26,6	6,5%
	2	0,94		2,63		27,1		
	3	0,91		2,65		27,7		
1.0273.09	1	0,92	0,92	2,66	2,62	27,8	27,2	2,1%
	2	0,88		2,59		27,2		
	3	0,94		2,60		26,6		
1.0274.09	1	0,77	0,78	2,33	2,34	25,0	25,0	2,5%
	2	0,81		2,41		25,6		
	3	0,76		2,28		24,4		
Idade das amostras (dias) :		28			Data do ensaio:	10/9/2009		
<b>Requisitos da NBR 15259/2005:</b> Quando o desvio relativo máximo for superior a 20%, calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o no relatório de ensaio, com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova, caso contrário o ensaio deve ser refeito.								

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E DO COEFICIENTE DE CAPILARIDADE - NBR 15259/2005</b>						
Tipo:	Cor:	Lote/Fabricação:		Marca comercial:		Fabricante:	Proporção água/argamassa:	
0	0	0				0	0	
Registro	Amostra	10 min		90 min		Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	média	desvio absoluto máximo (%)
		Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	média	Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	média			
1.0312.09	1	0,77	0,78	2,22	2,21	23,2	23,0	1,8%
	2	0,76		2,17				
	3	0,79		2,24				
1.0348.09	1	1,06	1,07	3,04	3,07	31,8	31,9	0,6%
	2	1,07		3,07				
	3	1,09		3,09				
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	#DIV/0!
	0	0,00		0,00				
	0	0,00		0,00				
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	#DIV/0!
	0	0,00		0,00				
	0	0,00		0,00				
Idade das amostras (dias) :		28		Data do ensaio:		10/9/2009		
<b>Requisitos da NBR 15259/2005:</b>								
Quando o desvio relativo máximo for superior a 20%, calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o no relatório de ensaio, com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova, caso contrário o ensaio deve ser refeito.								

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		<b>ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA - NBR 9778/05</b>									
<b>Registro LAME:</b> 1.0265.09			<b>Data de início do ensaio:</b> 11/9/2009			<b>Idade da amostra:</b> 29 dias					
<b>Corpo de prova:</b> Moldado			<b>Forma:</b> Prismático - 4 x 4 x 16 cm			<b>Cura:</b> -					
Corpo de Prova	Massa (g)					Absorção		Índice de Vazios			
	Ambiente	Seca	Saturada Condição S.S.S	Imersa Após Saturação	Saturada Após Imersão e Fervura	Imersa Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	
		A	B	D	C	E					
1	504,1	461,7	533,1	279,0	545,2	291,7	15,46%	18,09%	28,10%	32,94%	
2	506,7	463,5	535,1	281,0	546,6	292,4	15,45%	17,93%	28,18%	32,69%	
3	495,6	457,2	527,9	276,1	540,2	289,1	15,46%	18,15%	28,08%	33,05%	
							<b>MÉDIA</b>	<b>15,46%</b>	<b>18,06%</b>	<b>28,12%</b>	<b>32,89%</b>
Corpo de Prova	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )				Massa Seca (g)			Massa Saturada (g)			
	Seca	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Real	24 horas	48 horas	72 horas	24 horas	48 horas	72 horas	
1	1,821	2,151	2,151	2,716				461,7		533,1	
2	1,823	2,015	2,150	2,709				463,5		535,1	
3	1,821	1,999	2,151	2,720				457,2		527,9	
<b>MÉDIA</b>	<b>1,822</b>	<b>2,055</b>	<b>2,151</b>	<b>2,715</b>							

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA - NBR 9778/05									
Registro LAME: 1.0269.09			Data de início do ensaio: 11/9/2009			Idade da amostra: 29 dias					
Corpo de prova: Moldado			Forma: Prismático - 4 x 4 x 16 cm			Cura: -					
Corpo de Prova	Massa (g)						Absorção		Índice de Vazios		
	Ambiente	Seca	Saturada Condição S.S.S	Imersa Após Saturação	Saturada Após Imersão e Fervura	Imersa Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	
		A	B	D	C	E					
1	471,5	431,5	502,1	250,6	516,9	266,7	16,36%	19,79%	28,07%	34,13%	
2	480,6	434,2	506,3	252,7	507,9	261,9	16,61%	16,97%	28,43%	29,96%	
3	481,1	435,6	507,8	253,6	524,6	270,7	16,57%	20,43%	28,40%	35,05%	
							<b>MÉDIA</b>	<b>16,51%</b>	<b>19,07%</b>	<b>28,30%</b>	<b>33,05%</b>
Corpo de Prova	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )				Massa Seca (g)			Massa Saturada (g)			
	Seca	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Real	24 horas	48 horas	72 horas	24 horas	48 horas	72 horas	
1	1,725	2,066	2,066	2,618			431,5			502,1	
2	1,765	1,984	2,065	2,520			434,2			506,3	
3	1,716	1,874	2,066	2,642			435,6			507,8	
<b>MÉDIA</b>	<b>1,735</b>	<b>1,975</b>	<b>2,066</b>	<b>2,593</b>							

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA - NBR 9778/05									
Registro LAME: 1.0273.09			Data de início do ensaio: 11/9/2009			Idade da amostra: 29 dias					
Corpo de prova: Moldado			Forma: Prismático - 4 x 4 x 16 cm			Cura: -					
Corpo de Prova	Massa (g)						Absorção		Índice de Vazios		
	Ambiente	Seca	Saturada Condição S.S.S	Imersa Após Saturação	Saturada Após Imersão e Fervura	Imersa Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	
		A	B	D	C	E					
1	501,0	456,0	536,8	279,3	543,8	286,0	17,72%	19,25%	31,38%	34,06%	
2	503,6	454,0	534,4	277,9	541,6	284,9	17,71%	19,30%	31,35%	34,13%	
3	500,4	452,8	532,3	276,9	539,3	284,1	17,56%	19,10%	31,13%	33,89%	
							<b>MÉDIA</b>	<b>17,66%</b>	<b>19,22%</b>	<b>31,28%</b>	<b>34,03%</b>
Corpo de Prova	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )				Massa Seca (g)			Massa Saturada (g)			
	Seca	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Real	24 horas	48 horas	72 horas	24 horas	48 horas	72 horas	
1	1,769	2,109	2,109	2,682			456,0			536,8	
2	1,769	2,027	2,110	2,685			454,0			534,4	
3	1,774	2,029	2,113	2,684			452,8			532,3	
<b>MÉDIA</b>	<b>1,771</b>	<b>2,055</b>	<b>2,111</b>	<b>2,684</b>							

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA - NBR 9778/05									
Registro LAME: 1.0274.09			Data de início do ensaio: 11/9/2009			Idade da amostra: 29 dias					
Corpo de prova: Moldado			Forma: Prismático - 4 x 4 x 16 cm			Cura: -					
Corpo de Prova	Massa (g)						Absorção		Índice de Vazios		
	Ambiente	Seca	Saturada Condição S.S.S	Imersa Após Saturação	Saturada Após Imersão e Fervura	Imersa Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	
		A	B	D	C	E					
1	502,3	465,4	544,3	286,1	549,4	291,2	16,95%	18,05%	30,56%	32,53%	
2	509,2	467,7	546,4	286,7	541,2	286,8	16,83%	15,72%	30,30%	28,89%	
3	510,6	468,7	548,4	287,2	555,6	293,5	17,00%	18,54%	30,51%	33,16%	
							<b>MÉDIA</b>	<b>16,93%</b>	<b>17,43%</b>	<b>30,46%</b>	<b>31,53%</b>
Corpo de Prova	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )				Massa Seca (g)			Massa Saturada (g)			
	Seca	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Real	24 horas	48 horas	72 horas	24 horas	48 horas	72 horas	
1	1,802	2,128	2,128	2,672			465,4			544,3	
2	1,838	2,147	2,127	2,585			467,7			546,4	
3	1,788	2,043	2,120	2,675			468,7			548,4	
<b>MÉDIA</b>	<b>1,810</b>	<b>2,106</b>	<b>2,125</b>	<b>2,644</b>							

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA - NBR 9778/05									
Registro LAME: 1.0312.09			Data de início do ensaio: 11/9/2009			Idade da amostra: 29 dias					
Corpo de prova: Moldado			Forma: Prismático - 4 x 4 x 16 cm			Cura: -					
Corpo de Prova	Massa (g)						Absorção		Índice de Vazios		
	Ambiente	Seca	Saturada Condição S.S.S	Imersa Após Saturação	Saturada Após Imersão e Fervura	Imersa Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	
		A	B	D	C	E					
1	509,1	470,4	543,2	285,2	548,8	292,1	15,48%	16,67%	28,22%	30,54%	
2	513,7	470,6	543,8	285,0	546,7	290,6	15,55%	16,17%	28,28%	29,71%	
3	511,5	469,7	542,9	284,7	550,3	292,7	15,58%	17,16%	28,35%	31,29%	
							<b>MÉDIA</b>	<b>15,54%</b>	<b>16,67%</b>	<b>28,28%</b>	<b>30,52%</b>
Corpo de Prova	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )				Massa Seca (g)			Massa Saturada (g)			
	Seca	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Real	24 horas	48 horas	72 horas	24 horas	48 horas	72 horas	
1	1,832	2,138	2,138	2,638			470,4			543,2	
2	1,838	2,078	2,135	2,614			470,6			543,8	
3	1,823	2,044	2,136	2,654			469,7			542,9	
<b>MÉDIA</b>	<b>1,831</b>	<b>2,087</b>	<b>2,136</b>	<b>2,635</b>							

<b>LAME</b> LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDO - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA - NBR 9778/05									
Registro LAME: 1.0348.09			Data de início do ensaio: 11/9/2009			Idade da amostra: 29 dias					
Corpo de prova: Moldado			Forma: Prismático - 4 x 4 x 16 cm			Cura: -					
Corpo de Prova	Massa (g)						Absorção		Índice de Vazios		
	Ambiente	Seca	Saturada Condição S.S.S	Imersa Após Saturação	Saturada Após Imersão e Fervura	Imersa Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	
		A	B	D	C	E					
1	510,8	462,4	541,6	287,5	549,1	295,2	17,13%	18,75%	31,17%	34,15%	
2	514,0	461,9	541,5	287,2	549,3	295,1	17,23%	18,92%	31,30%	34,38%	
3	511,1	459,8	538,4	286,0	546,2	294,0	17,09%	18,79%	31,14%	34,26%	
							<b>MÉDIA</b>	<b>17,15%</b>	<b>18,82%</b>	<b>31,20%</b>	<b>34,26%</b>
Corpo de Prova	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )				Massa Seca (g)			Massa Saturada (g)			
	Seca	Após Saturação	Após Saturação e Fervura	Real	24 horas	48 horas	72 horas	24 horas	48 horas	72 horas	
1	1,821	2,163	2,163	2,766			462,4			541,6	
2	1,817	2,066	2,161	2,769			461,9			541,5	
3	1,823	2,069	2,166	2,773			459,8			538,4	
<b>MÉDIA</b>	<b>1,820</b>	<b>2,099</b>	<b>2,163</b>	<b>2,769</b>							

## ANEXO 5 – MICROGRAFIAS RESULTANTES DO ENSAIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Nas Figuras 4.23 a 4.27 são apresentadas as micrografias resultantes das análises por MEV.

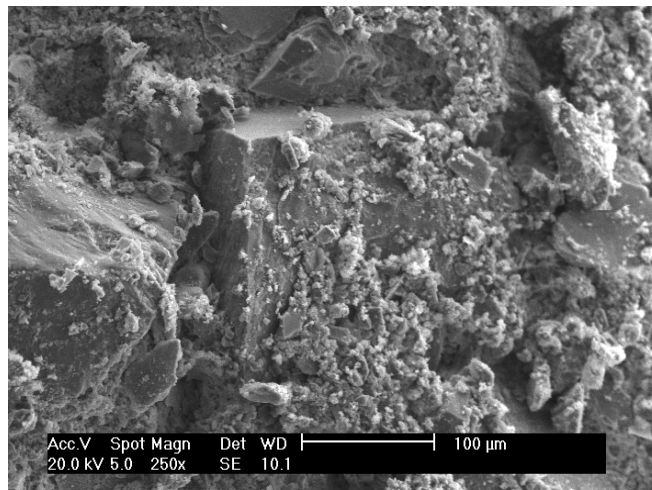


FIGURA 4.23 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (M)  
FONTE: O autor (2010)

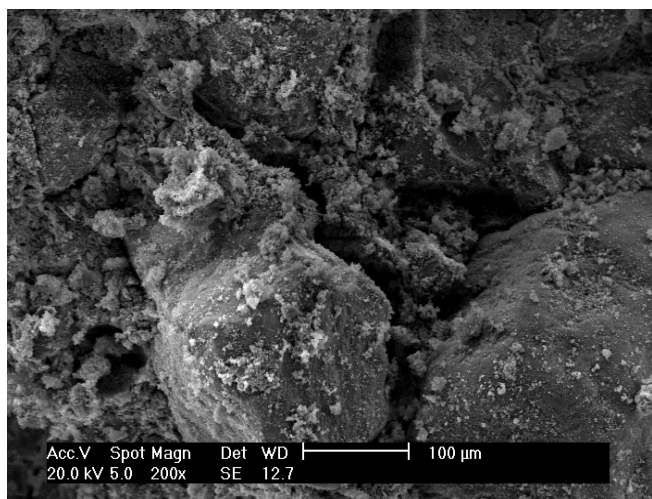


FIGURA 4.24 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO NATURAL (N)  
FONTE: O autor (2010)

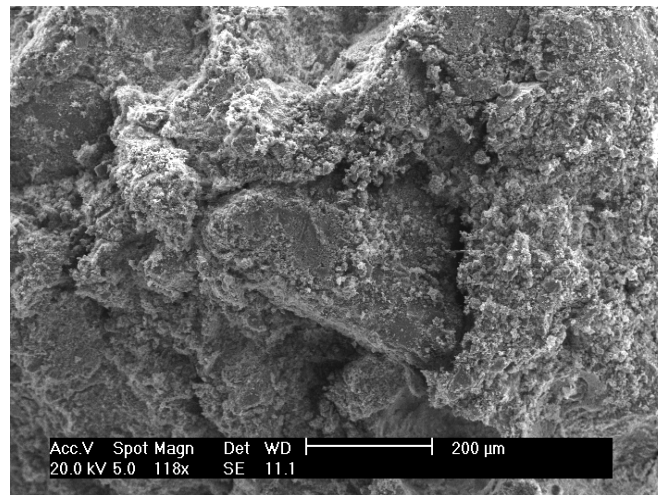


FIGURA 4.25 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C1)  
 FONTE: O autor (2010)

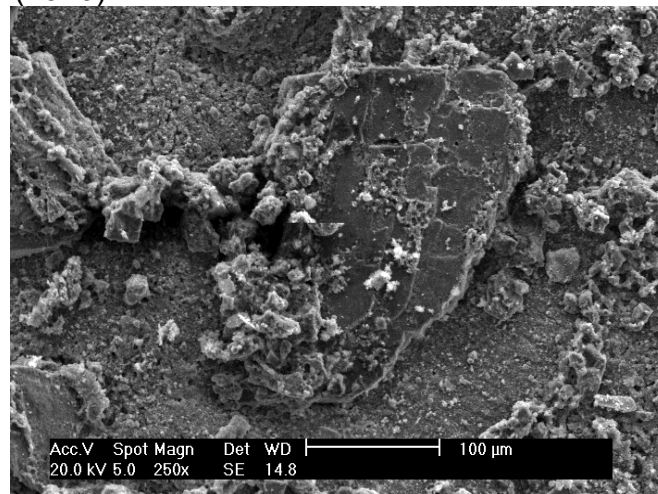


FIGURA 4.26 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (C2)  
 FONTE: O autor (2010)

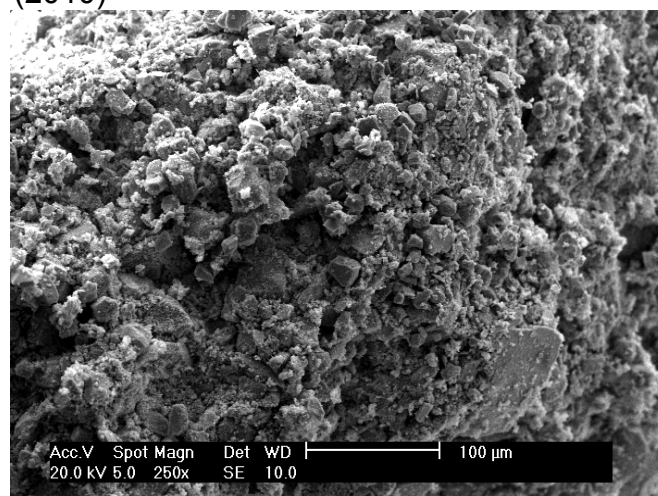


FIGURA 4.27 – MICROGRAFIA DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (D)  
 FONTE: O autor (2010)