



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA  
GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PROCESSOS**



**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA  
DURABILIDADE DE BLOCOS DE CONCRETO  
PRODUZIDOS  
COM A UTILIZAÇÃO DE ENTULHO DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Djane de Fátima Oliveira**

**Campina Grande – Paraíba  
Julho de 2004**

**DJANE DE FÁTIMA OLIVEIRA**  
**CCT / PRAI / UFCG**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DURABILIDADE DE BLOCOS DE  
CONCRETO PRODUZIDOS COM A UTILIZAÇÃO DE ENTULHO DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Área de concentração**  
**Engenharia de Materiais (Cerâmica)**

**Orientadores**

**Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira**  
**Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho**  
**Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo**  
**Profª Dra. Maria Claudia Silva (In memoriam)**

**Campina Grande – Paraíba**

**Julho de 2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PROCESSOS**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DURABILIDADE DE BLOCOS DE  
CONCRETO PRODUZIDOS COM A UTILIZAÇÃO DE ENTULHO DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Djane de Fátima Oliveira**

**Tese apresentada ao programa de Pós  
– graduação em Engenharia Processos  
em cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de DOUTOR EM  
ENGENHARIA DE PROCESSOS.**

**Orientadores**

**Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira**

**Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho**

**Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo**

**Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Claudia Silva (In memoriam)**

**Campina Grande – Paraíba**

**Julho de 2004**



048c

Oliveira, Djane de Fatima

Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulho da construção civil / Djane de Fatima Oliveira. - Campina Grande, 2004.

220 f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

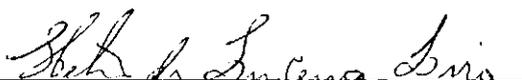
1. Reciclagem 2. Materiais Não-Metálicos 3. Meio Ambiente 4. Entulho 5. Durabilidade 6. Concreto 7. Tese I. Lira, Helio de Lucena II. Carvalho, Joao Batista Queiroz de III. Melo, Aluisio Braz de IV. Silva, Maria Claudia V. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) VI. Título

CDU 620.284(043)

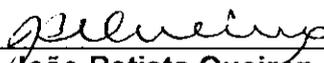
**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO  
EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DE DJANE DE FÁTIMA  
OLIVEIRA**

Apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos do  
Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande,  
em 06 de julho de 2004.

**BANCA EXAMINADORA:**



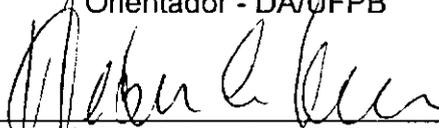
**Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira**  
Orientador - DEMa/UFCG



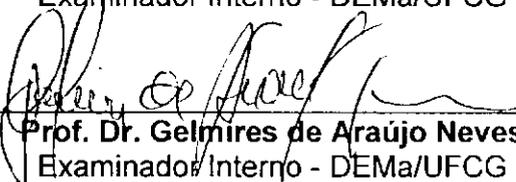
**Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho**  
Orientador - DEC/UFCG



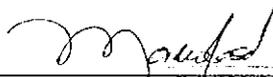
**Prof. Dr. Aluisio Braz de Melo**  
Orientador - DA/UFPB



**Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira**  
Examinador Interno - DEMa/UFCG



**Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves**  
Examinador Interno - DEMa/UFCG



**Prof. Dr. José Marcos Sasaki**  
Examinador Externo - DF/UFC



**Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa**  
Examinador Externo - DTCC/UFPB

## DEDICATÓRIA

A Deus

A meus pais Severino e Maria de  
Oliveira (in memoriam)

A minha amiga Maria Claudia Silva (in  
memoriam)

A aqueles que lutam em defesa do meio  
ambiente.

## AGRADECIMENTOS

As nossas conquistas são frutos de muito esforço, dedicação e colaboração de muitos, que foram de essencial importância para a conclusão deste trabalho, por isso aproveito a oportunidade para externar a minha profunda admiração e gratidão a aqueles que direto ou indiretamente colaboraram para a realização desta pesquisa.

A Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Claudia Silva (in memoriam) pela amizade e apoio constante. Obrigado, sobretudo por ter acreditado no meu potencial. O seu exemplo será sempre valioso para todos que estiveram a seu lado.

Aos professores Dr. Hélio de Lucena Lira, Dr. Aluísio Braz de Melo e ao Dr. João Batista Queiroz de Carvalho que durante toda a pesquisa se mostraram como excelentes orientadores e amigos, sempre presentes nos momentos mais difíceis e a quem muito devo esta etapa da minha formação acadêmica.

A coordenação do Doutorado em Engenharia de Processo, nas pessoas das professoras Odelsia Leonor Sanchez de Alcina e Laura Hecker de Carvalho, pela oportunidade, colaboração e apoio dados no transcorrer do curso.

A ATECEL na pessoa do Prof. Francisco Edmar Brasileiro pelo apoio técnico e financeiro durante o período de realização deste trabalho.

A Universidade Estadual da Paraíba pela colaboração para conclusão deste trabalho.

Aos alunos bolsistas de iniciação científica Valterlin da Silva Santos, Camilo Allyson Simões de Farias e Francinaldo de Oliveira Queiroz Júnior pela colaboração e disponibilidade constante na execução da parte experimental desta pesquisa.

Ao Dr. Gelmires de Araújo Neves, a quem tenho como irmão, pela amizade e incentivo. Participou ativamente na elaboração deste trabalho acrescentando muitas idéias. Sua participação é e sempre será fundamental para a minha vida profissional.

Aos meus amigos do doutorado, em especial a Vilma Maria Sudério, pela amizade e companheirismo.

Aos meus amigos pela amizade, companheirismo, ajuda e incentivo em tantos momentos de alegria e também de dificuldades.

Ao GEARES, grupo dedicado as pesquisa sobre estudos de coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos e aos Professores Dr. José Afonso Gonçalves de Macedo e Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento pela colaboração e apoio.

Ao Dr. José Marcos Sasaki do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará e a André Gustavo de Souza Galdino pela colaboração e apoio técnico na realização dos ensaios de difração de raios-X.

A Mestre Solange Nascimento pela amizade e apoio técnico na realização dos ensaios.

Ao Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira, por estar sempre presente nos momentos mais importante da minha vida acadêmica e sempre disponível a colaborar com meus trabalhos.

Enfim, aos meus familiares, que sempre me transmitiram sentimentos de união fraterna. A meus pais "in memoriam" pelas suas bênçãos. A meus irmãos e ao meu esposo Webister, pela presença e apoio constante.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xiv
RESUMO .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
RELAÇÃO DE PUBLICAÇÕES SOBRE O TEMA.....	xx
CAPÍTULO I .....	1
<b>1.1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
<b>1.3 Justificativa.....</b>	<b>3</b>
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
<b>2.1 Resíduos da construção civil e de demolição (RCD): definições e classificações:.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Desperdício na construção civil .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Origem do entulho .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Composição do entulho da construção civil .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Reciclagem do entulho na construção civil.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6 Vantagens para a reciclagem de entulho.....</b>	<b>22</b>
<b>2.7 Reciclagem de entulho da construção civil no canteiro de obra.....</b>	<b>25</b>
<b>2.8 Opções de uso para o aproveitamento de entulho .....</b>	<b>26</b>
2.8.1 Em argamassas .....	27
2.8.2 Na produção de blocos de vedação.....	28
2.8.3 Em pavimentação .....	30
2.8.4 Na produção de concreto estrutural.....	31
<b>2.9 Reciclagem de resíduos .....</b>	<b>32</b>
<b>2.10 Metodologia para estudos de reciclagem .....</b>	<b>37</b>
<b>2.11 Durabilidade de componentes com resíduos da construção civil.....</b>	<b>40</b>
<b>2.12 Concreto de cimento portland .....</b>	<b>48</b>
2.12.1 Cimento Portland comum.....	48
2.12.2 Hidratação do Cimento Portland Simples .....	51
<b>2.13 Identificação de compostos na pasta de cimento hidratado.....</b>	<b>56</b>
<b>2.14 Agregados.....</b>	<b>58</b>
2.14.1 Areia e cascalho .....	58
2.14.2 Agregados miúdos .....	58
2.14.3 Agregados graúdos.....	59

2.14.4 Agregados reciclados .....	59
<b>2.15 Atividade pozolânica do agregado reciclado.....</b>	<b>61</b>
<b>2.16 Considerações gerais.....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>67</b>
<b>3.1 Estudo experimental.....</b>	<b>67</b>
<b>3.2 Materiais.....</b>	<b>70</b>
3.2.1. Cimento Portland.....	70
3.2.2. Agregados naturais.....	72
3.2.2.1 Areia (agregado miúdo).....	72
3.2.2.2 Cascalho (agregado graúdo).....	72
3.2.3. Agregado alternativo (entulho da construção civil).....	73
3.2.3.1 Agregados reciclados (entulho da construção civil).....	73
3.2.4. Água.....	74
3.2.5. Composição do entulho.....	74
<b>3.3 Métodos para ensaios específicos.....</b>	<b>76</b>
3.3.1. Preparação das amostras.....	76
3.3.2. Análise química.....	76
3.3.3. Análises térmicas.....	76
3.3.4. Difração de raios-X.....	77
<b>3.4 Estudo de dosagem para produzir blocos convencionais.....</b>	<b>78</b>
3.4.1 Determinação do menor volume de vazios entre os agregados.....	79
3.4.2 Definição da relação agregado/cimento (m).....	79
3.4.3 Determinação do teor ótimo de água na mistura.....	81
3.4.4 Definição das idades de controle de ensaio.....	82
3.4.5 Procedimento para moldagem das amostras.....	82
3.4.5.1 Equipamentos.....	82
3.4.6 Processo de cura adotado.....	84
3.4.7 Escolha da dosagem adequada.....	85
3.4.8 Absorção.....	87
3.4.9 Resistência à compressão simples (fc).....	87
<b>3.5 Estudo para produzir blocos alternativos com entulho.....</b>	<b>88</b>
<b>3.6 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos - tipo 1.....</b>	<b>90</b>
<b>3.7 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos - tipo 2.....</b>	<b>90</b>
<b>3.8 Ensaio de durabilidade.....</b>	<b>92</b>
3.8.1 Método molhagem e secagem modificado.....	92
3.8.2 Método molhagem e secagem equivalente.....	96
<b>CAPÍTULO VI – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>103</b>
<b>4.1 Caracterização dos Materiais.....</b>	<b>103</b>
4.1.1 Agregados.....	103
4.1.1.1 Naturais.....	103
4.1.1.2 Alternativo (entulho da construção civil).....	107
<b>4.2 Caracterização quanto à absorção de água dos blocos de concreto.....</b>	<b>112</b>
4.2.1 Blocos estruturais.....	112
4.2.2 Blocos de vedação.....	115

<b>4.3 Caracterização quanto à resistência à Compressão Simples (<math>f_c</math>) de blocos de concreto</b> .....	<b>118</b>
4.3.1 Blocos Estruturais.....	118
4.3.2 Blocos de vedação.....	121
<b>4.4 Ensaios de durabilidade – método molhagem e secagem</b> .....	<b>126</b>
4.4.1 Envelhecimento acelerado modificado – primeira fase.....	126
4.4.2 Envelhecimento acelerado modificado – segunda fase.....	133
<b>4.4 Caracterização dos constituintes após ensaio de durabilidade</b> .....	<b>140</b>
4.4.1 Análise térmica diferencial.....	140
4.4.1.1 Análise térmica diferencial das amostras dos corpos-de-prova tipo 1140	140
4.4.1.2 Análise térmica diferencial das amostras dos corpos-de-prova tipo 2142	142
4.4.2 Análise termogravimétrica.....	144
4.4.2.1 Análise termogravimétrica das amostras dos corpos-de-prova tipo 1144	144
4.4.2.2 Análise termogravimétrica das amostras dos corpos-de-prova tipo 2145	145
4.4.3 Análise por difração de raios-X.....	147
4.4.3.1 Curvas de difração de raios-X das amostras dos corpos-de-prova tipo 1	147
4.4.3.2 Curvas de difração de raios-X das amostras dos corpos-de-prova tipo 2	152
<b>CAPÍTULO V - CONCLUSÕES</b> .....	<b>156</b>
<b>CAPÍTULO VI - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS</b> .....	<b>160</b>
<b>CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>162</b>
<b>6.1 Referências Bibliográficas</b> .....	<b>162</b>
<b>6.2 Obras Consultadas</b> .....	<b>176</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>183</b>
ANEXO A - Método de molhagem e secagem equivalente – Segunda fase.....	184
ANEXO B - Determinação do fator água cimento utilizados para a confecção dos blocos de concreto convencionais e com agregados alternativos na 2ª fase.....	187
ANEXO C - Valores de resistência à compressão simples blocos de concreto analisados neste trabalho.....	188
ANEXO D - Valores de absorção de água para os blocos de concreto analisados neste trabalho.....	190
ANEXO E - Valores da resistência a compressão simples ( $f_c$ ) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, na 1ª e 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem.....	192
ANEXO F - Composições ideais para fabricação dos blocos.....	194
ANEXO G - Estudo da dosagem.....	195
ANEXO H - Consumo de cimento para os blocos de concreto.....	199
ANEXO I - Análise de custos.....	202

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1:</b>	Exemplo de entulho gerado em um canteiro de obra. ....	12
<b>FIGURA 2.2:</b>	Fontes de distribuição de entulhos existente na cidade de Hong Kong. ....	14
<b>FIGURA 2.3:</b>	Modelo hipotético de hierarquia para seleção das alternativas para reciclagem. ....	34
<b>FIGURA 2.4:</b>	Hierarquia da disposição de resíduos de construção e demolição. ....	35
<b>FIGURA 3.1:</b>	Fluxograma do estudo experimental deste trabalho. ....	69
<b>FIGURA 3.2:</b>	Amostra da areia utilizada. ....	72
<b>FIGURA 3.3:</b>	Amostra do cascalho. ....	73
<b>FIGURA 3.4:</b>	Amostra do entulho. ....	73
<b>FIGURA 3.5:</b>	Britador de mandíbulas. ....	74
<b>FIGURA 3.6:</b>	Recipientes para armazenamento dos materiais utilizados. ....	74
<b>FIGURA 3.7:</b>	Percentagens médias dos constituintes do entulho utilizado nesta pesquisa.....	75
<b>FIGURA 3.8:</b>	Procedimentos experimentais para a determinação do teor ideal de água na mistura e a betoneira utilizada no preparo da massa. .	82
<b>FIGURA 3.9:</b>	Matérias e balança utilizada para a pesagem dos materiais. ....	83
<b>FIGURA 3.10:</b>	Máquina utilizada para a fabricação de blocos de vedação. ....	83
<b>FIGURA 3.11:</b>	Máquina utilizada para a fabricação de blocos de estruturais. ....	83
<b>FIGURA 3.12:</b>	Câmara úmida. ....	84
<b>FIGURA 3.13:</b>	Vista do tanque de cura com os blocos de vedação e estruturais imersos em água respectivamente. ....	85
<b>FIGURA 3.14:</b>	Máquina utilizada para ensaios de resistência à compressão simples ( $f_c$ ) de blocos estruturais. ....	87
<b>FIGURA 3.15:</b>	Máquina utilizada para ensaios de resistência à compressão	

	simples ( $f_c$ ) de blocos de vedação. ....	88
<b>FIGURA 3.16:</b>	Moldagem dos corpos-de-prova tipo 1. ....	90
<b>FIGURA 3.17:</b>	Moldes cilíndricos tipo 2. ....	91
<b>FIGURA 3.18:</b>	Corpos de provas cilíndricos tipo 2. ....	91
<b>FIGURA 3.19:</b>	Corpos de corpos de provas cilíndricos, tipo 1 com cimento CP II-F-32, quando submetidos ao ciclo de molhagem e secagem durante a primeira fase. ....	95
<b>FIGURA 3.20:</b>	Corpos de corpos de provas cilíndricos, tipo 2 com cimento CP II-Z-32, quando submetidos ao ciclo de molhagem e secagem durante a segunda fase. ....	96
<b>FIGURA 3.21:</b>	Máquina utilizada para ensaios de resistência à compressão simples de corpos de provas cilíndricos para os ensaios de durabilidade. ....	96
<b>FIGURA 3.22:</b>	Divisão dos corpos-de-prova para o ensaio de molhagem e secagem equivalente. ....	98
<b>FIGURA 3.23:</b>	Diagrama do ciclo de molhagem e secagem equivalente. ....	99
<b>FIGURA 4.1:</b>	(a) Amostra da porção de entulho bruto conforme coletada em obra, e do (b) entulho depois de beneficiado por trituração respectivamente. ....	110
<b>FIGURA 4.2:</b>	Curva de análise termodiferenciais da amostra do entulho utilizado neste trabalho. ....	110
<b>FIGURA 4.3:</b>	Curva de análise termogravimétrica da amostra de resíduo da construção civil utilizado neste trabalho. ....	110
<b>FIGURA 4.4:</b>	Difratograma de raios-X da amostra de entulho utilizado neste trabalho. ....	112
<b>FIGURA 4.5:</b>	Valores de absorção de água para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com traço 1:4 na primeira fase. ....	113
<b>FIGURA 4.6:</b>	Valores de absorção de água para blocos estruturais de concreto	

	(convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com traço 1:4 na segunda fase. ....	113
<b>FIGURA 4.7:</b>	Valores de absorção de água para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com traço 1:6 na primeira fase. ....	114
<b>FIGURA 4.8:</b>	Resultados de absorção de água para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com o traço 1:6 na primeira fase. ....	116
<b>FIGURA 4.9:</b>	Resultados de absorção de água para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:6 na segunda fase. ....	116
<b>FIGURA 4.10:</b>	Resultados de absorção de água para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:8 na segunda fase. ....	117
<b>FIGURA 4.11:</b>	Resistência à compressão simples para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com o traço 1:4 na primeira fase. ...	119
<b>FIGURA 4.12:</b>	Resistência à compressão simples para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:4 na segunda fase. ...	119
<b>FIGURA 4.13:</b>	Resistência à compressão simples para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:6 na segunda fase. ...	120
<b>FIGURA 4.14:</b>	Resistência à compressão simples para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com o traço 1:6 na primeira fase. ....	122
<b>FIGURA 4.15:</b>	Resistência à compressão simples para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:6 na segunda fase. ....	122
<b>FIGURA 4.16:</b>	Resistência à compressão simples para os blocos de vedação	

(convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:8 na segunda fase. ....	123
<b>FIGURA 4.17:</b> Efeito da correção do teor de água nas misturas para compensar a alta absorção de água pelo entulho realizado na primeira fase. .	124
<b>FIGURA 4.18:</b> Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:4 (1:m), primeira fase. ....	128
<b>FIGURA 4.19:</b> Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6 (1:m), primeira fase. ....	131
<b>FIGURA 4.20:</b> Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6 (1:m), segunda fase. ....	136
<b>FIGURA 4.21</b> Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:8 (1:m), segunda fase. ....	138
<b>FIGURA 4.22</b> Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 1 sem adição de entulho. ....	140
<b>FIGURA 4.23</b> Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 30% de entulho. ....	140
<b>FIGURA 4.24</b> Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 60% de entulho. ....	141
<b>FIGURA 4.25</b> Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 100% de entulho. ....	141
<b>FIGURA 4.26</b> Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 2 sem adição de entulho. ....	142
<b>FIGURA 4.27</b> Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 30% de entulho. ....	142
<b>FIGURA 4.28</b> Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho. ....	143

	com adição de 60% de entulho. ....	
<b>FIGURA 4.29</b>	Curvas de análise termodiferenciais dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 100% de entulho. ....	143
<b>FIGURA 4.30</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 sem a adição de entulho. ....	144
<b>FIGURA 4.31</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 30% de entulho. ....	144
<b>FIGURA 4.32</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 60% de entulho. ....	145
<b>FIGURA 4.33</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 100% de entulho. ....	145
<b>FIGURA 4.34</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 sem a adição de entulho. ....	146
<b>FIGURA 4.35</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 30% de entulho. ....	146
<b>FIGURA 4.36</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho. ....	146
<b>FIGURA 4.37</b>	Curvas de análise termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 100% de entulho. ....	146
<b>FIGURA 4.38</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto convencional dos corpos-de-prova tipo 1. ....	148
<b>FIGURA 4.39</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 30% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 1. ....	149
<b>FIGURA 4.40</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 60% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 1. ....	150
<b>FIGURA 4.41</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 100% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 1. ....	151
<b>FIGURA 4.42</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto convencional dos corpos-de-prova tipo 2. ....	152

<b>FIGURA 4.43</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 30% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 2. ....	153
<b>FIGURA 4.44</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 60% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 2. ....	154
<b>FIGURA 4.45</b>	Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 100% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 2. ....	155

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1:</b>	Perda de materiais em processos construtivos convencionais, conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores. ....	9
<b>TABELA 2.2:</b>	Fontes e causas da ocorrência de resíduos de construção. ....	13
<b>TABELA 2.3:</b>	Índices médios de perdas na construção civil (%). ....	15
<b>TABELA 2.4:</b>	Índices dos principais constituintes do entulho gerado em Campina Grande. ....	16
<b>TABELA 2.5:</b>	Média de geração de entulho em diferentes fases de construção do município de Campina Grande em 2001. ....	16
<b>TABELA 2.6:</b>	Comparação da composição de resíduo da construção e demolição gerada em diversos países. ....	17
<b>TABELA 2.7:</b>	Composição de entulho nos canteiros de obras em Londrina – PR. ....	17
<b>TABELA 2.8:</b>	Composição do entulho de demolições de Londrina – PR. ....	18
<b>TABELA 2.9:</b>	Estudo de dosagem para determinação do traço e resistência à compressão média dos blocos produzidos com resíduos da construção e demolição. ....	29
<b>TABELA 2.10:</b>	Teores de óxidos do cimento Portland simples. ....	49
<b>TABELA 2.11:</b>	Compostos do cimento Portland simples. ....	51
<b>TABELA 2.12:</b>	Temperaturas de referência (ATD) para a identificação dos fenômenos correspondentes. ....	57
<b>TABELA 2.13:</b>	Temperaturas de referência (ATG) para a quantificação dos fenômenos correspondentes. ....	57
<b>TABELA 3.1</b>	Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP II-F-32. ....	70
<b>TABELA 3.2:</b>	Propriedades químicas do cimento Portland CP II-F-32. ....	71

<b>TABELA 3.3:</b>	Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP II-Z-32. ....	71
<b>TABELA 3.4</b>	Propriedades químicas do cimento Portland CP II-Z-32. ....	71
<b>TABELA 3.5:</b>	Determinação da melhor proporção entre areia e cascalho, obtida pelo ensaio da massa unitária no estado compactado seco. ....	79
<b>TABELA 3.6:</b>	Consumo aproximado de cimento (C) em função de "m", levando em conta o teor ótimo de água na mistura.....	80
<b>TABELA 3.7</b>	Determinação da relação agregado/cimento e o teor ótimo de água na mistura (a/c), para a confecção de blocos de vedação. ..	80
<b>TABELA 3.8:</b>	Determinação do teor ótimo de água na mistura para blocos convencionais. ....	82
<b>TABELA 3.9:</b>	Valores admissíveis para a resistência à compressão e absorção de água de blocos de concreto.....	87
<b>TABELA 3.10:</b>	Traço utilizado nas moldagens dos blocos.....	89
<b>TABELA 3.11:</b>	Determinação do teor ótimo de água na mistura.....	89
<b>TABELA 3.12:</b>	Parâmetros utilizados para a confecção dos corpos-de-prova, tipo 2. ....	92
<b>TABELA 3.13:</b>	Identificação das amostras confeccionadas com cimento CP II-F-32 ensaiadas na primeira fase em função dos traços (em massa). ....	93
<b>TABELA 3.14:</b>	Identificação das amostras confeccionadas com cimento CP II-Z-32 ensaiadas na segunda fase em função dos traços (em massa). ....	93
<b>TABELA 3.15:</b>	Detalhamento das etapas do ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) para cada composição avaliada. ....	94
<b>TABELA 3.16:</b>	Identificação das amostras ensaiadas na segunda fase em função dos traços (em massa). ....	97

<b>TABELA 4.1:</b>	Granulometria do agregado miúdo (areia). .....	104
<b>TABELA 4.2:</b>	Granulometria do agregado graúdo (cascalho). .....	104
<b>TABELA 4.3:</b>	Determinações da massa específica e massa unitária dos agregados naturais. ....	106
<b>TABELA 4.4:</b>	Determinações do teor de materiais pulverulentos e do teor de argila em torrões da areia. ....	107
<b>TABELA 4.5:</b>	Composição química de entulho da construção civil (%). ....	107
<b>TABELA 4.6</b>	Resultado da granulometria do entulho da construção civil utilizado neste trabalho (%). ....	108
<b>TABELA 4.7:</b>	Determinações da massa específica e massa unitária do entulho da construção civil utilizado. ....	109
<b>TABELA 4.8:</b>	Legenda adotada para as fases identificadas nos difratogramas das amostras em estudo. ....	111
<b>TABELA 4.9:</b>	Dosagens ideais para os blocos de concreto analisados nesta pesquisa, considerando o limite máximo preconizado pela norma da ABNT. ....	118
<b>TABELA 4.10:</b>	Valores de resistência mecânica os blocos de concreto estudados nesta pesquisa, considerando os valores mínimos preconizado pelas normas da ABNT. ....	126
<b>TABELA 4.11:</b>	Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:4, 1ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à hidratação normal. ....	127
<b>TABELA 4.12:</b>	Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$ e $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:4, 1ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal. ....	129
<b>TABELA 4.13:</b>	Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 1ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à	

hidratação normal. ....	132
<b>TABELA 4.14:</b> Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$ e $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 1ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal. ....	133
<b>TABELA 4.15:</b> Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à hidratação normal. ....	134
<b>TABELA 4.16:</b> Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$ e $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 2ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal. ....	135
<b>TABELA 4.17:</b> Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:8, 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à hidratação normal. ....	137
<b>TABELA 4.18:</b> Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$ e $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:8, 2ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal. ....	137

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>A</b>	Óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ )
A-28h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 sem adição de entulho hidratado aos 28 dias
A-52h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 sem adição de entulho hidratado aos 52 dias
A-52e-cp	Corpos-de-prova tipo 1 sem adição de entulho envelhecido aos 52 dias
A-28h-b	Corpos-de-prova tipo 2 sem adição de entulho hidratado aos 28 dias
A-52h-b	Corpos-de-prova tipo 2 sem adição de entulho hidratado aos 52 dias
A-52e-b	Corpos-de-prova tipo 2 sem adição de entulho envelhecido aos 52 dias
<b>a</b>	areia
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>a/c</b>	Relação água cimento
<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials
<b>ATD</b>	Análise térmica diferencial
<b>ATECEL</b>	Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior
<b>ATG</b>	Análise termogravimétrica
B-28h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 30% de entulho hidratado aos 28 dias
B-52h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 30% de entulho hidratado aos 52 dias
B-52e-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 30% de entulho envelhecido aos 52 dias
B-28h-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 30% de entulho hidratado aos 28 dias
B-52h-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 30% de entulho hidratado aos 52 dias
B-52e-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho envelhecido

	aos 52 dias
BDI	Benefícios de despesas de indiretas
C	Óxido de cálcio (CaO)
C-28h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 60% de entulho hidratado aos 28 dias
C-52h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 60% de entulho hidratado aos 52 dias
C-52e-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 60% de entulho envelhecido aos 52 dias
C-28h-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho hidratado aos 28 dias
C-52h-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho hidratado aos 52 dias
C-52e-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho envelhecido aos 52 dias
C	Consumo de cimento
CA	Concreto com adição de entulho
CC	Concreto convencional
C <sub>3</sub> A	Celita (Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )
C <sub>4</sub> AF	Ferro aluminato tetracalcico ((Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia e Desenvolvimento
CIMEPOR	Cimentos de Portugal
CIMEPAR	Companhia da Paraíba de Cimento Portland
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C <sub>2</sub> S	Belita (Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> )
C <sub>3</sub> S	Alita (Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub> )

C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
CPS	Cimento Portland simples
D-28h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 100% de entulho hidratado aos 28 dias
D-52h-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 100% de entulho hidratado aos 52 dias
D-52e-cp	Corpos-de-prova tipo 1 com adição de 100% de entulho envelhecido aos 52 dias
D-28h-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 100% de entulho hidratado aos 28 dias
D-52h-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 100% de entulho hidratado aos 52 dias
D-52e-b	Corpos-de-prova tipo 2 com adição de 100% de entulho envelhecido aos 52 dias
DEC	Departamento de Engenharia Civil
DEMa	Departamento de Engenharia de Materiais
DEAg	Departamento de Engenharia Agrícola
DRX	Difração de raios-X
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
F	Óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
$f_c$	Resistência à compressão simples
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEARES	Grupo de Estudos de Aproveitamento de Resíduos Sólidos
HC	Portlandita ou hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )
M	Óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ )
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PF	Perda ao fogo

PR	Perda ao rubro
RCD	Resíduos da construção e demolição
RI	Resíduo insolúvel
S	Óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ )
$\bar{\text{S}}$	Óxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ )
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFC	Universidade Federal do Ceará

## CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DURABILIDADE DE BLOCOS DE CONCRETO PRODUZIDOS COM A UTILIZAÇÃO DE ENTULHO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

### RESUMO

O acelerado processo de industrialização e modernização tem contribuído para o aumento significativo na geração de resíduos sólidos urbanos acarretando danos sociais e econômicos. Além das questões ambientais, o esgotamento das reservas confiáveis de matérias-primas causa preocupações em relação ao futuro. A reciclagem destes entulhos na própria construção civil é uma importante alternativa para a preservação ambiental. Para isso, é condição fundamental a avaliação do comportamento de produtos alternativos, com resíduos incorporados, dentro dos princípios de normas aceitáveis pela sociedade. Esta avaliação é o objetivo deste trabalho que trata do aproveitamento de resíduos da construção civil como agregado graúdo na confecção de blocos de concreto. O estudo de envelhecimento acelerado (ciclos de molhagem/secagem) faz parte da metodologia adotada para avaliar a durabilidade dos compósitos alternativos. Os resultados obtidos indicam que o aumento no teor de entulho provoca o aumento da relação água/cimento devido à presença de materiais de alta absorção, tais como argamassa moída e materiais cerâmicos, que influencia o aumento da absorção de água das amostras. O comportamento mecânico dos concretos alternativos indica como composição ideal para a fabricação de blocos estruturais alternativos o traço 1:6, e para a fabricação de blocos de vedação, o traço 1:8, com teor de entulho na proporção de 60%. Quanto à avaliação de durabilidade, pode-se afirmar que a combinação entre menor consumo de cimento (traço 1:8) e 30% de entulho substituindo o total de agregados naturais favorece a redução dos efeitos da degradação devido aos ciclos de molhagem e secagem. Essa amostra destaca-se como aquela que melhor evidencia o provável efeito pozolânico, devido à presença de material cerâmico no entulho triturado.

Palavras chave: reciclagem, meio ambiente, entulho, durabilidade e concreto.

## A CONTRIBUTION TO DURABILITY STUDIES OF BLOCKS MADE WITH CIVIL CONSTRUCTION WASTE MATERIAL

### ABSTRACT

The accelerated process of industrialization and modernization has contributed to a significant increase in the generation of urban solid residue and causing social and economic damages. Beside the environmental problems, the shortage of raw materials can cause concern about the future. This problematic is request the attention of the experts in the way to add value to the re-use of the generated residue from the industrialization process. The trash volume, that is a great source of residue from civil construction, is almost two times the urban solid volume. Therefore, it is necessary to estimate the behavior of the alternative products made with these residues in relation to the conditions acceptable by society. This estimation is the aim of this work that deal with the use of the civil construction residue to make concrete building block. It was studied an accelerated weathering (wetting/drying cycles) as a methodology to evaluate the durability of the alternative composite. The results show that the increase in the residue content can increase the ratio water/cement due to the presence of materials with high water absorption, such as milled mortar and ceramic materials. The mechanical behavior of the alternative concrete indicate that the ideal composition to the alternative structural blocks is to the proportion 1:6 (cement/sand) and 1:8 to the no structural blocks, both with 60% of residues. In relation to the durability, it can be stated that the combination between the small consumption of cement (proportion 1:8) and 30% of residue substituting the natural aggregates can reduce the degradation effects of wetting/drying cycles. This composition is the best sample that stress the pozzolanic effect give by the presence of ceramic material in the milled residue.

Keywords: recycling, environment, residue, durability and concrete

## RELAÇÃO DE PUBLICAÇÕES SOBRE O TEMA

**OLIVEIRA, D. F.; SILVA, M. C.; NEVES, G. A.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.** Blocks Production With Structural Function From the Utilization of Civil Construction Residues. *Materiais 99 - 9º Encontro da Sociedade Portuguesa de Materiais - Universidade do Minho/Guimarães/Portugal*. 21 a 23 de junho de 1999.

**OLIVEIRA, D. F.; SILVA, M. C.; NEVES, G. A.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.** Utilização de Resíduos da Construção Civil Para Produção de Blocos Com Função estrutural – Parte II. *44º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro –SP*. 31 de maio a 4 de junho de 2000.

**OLIVEIRA, D. F.; SILVA, M. C.; NEVES, G. A.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.** Influência do Teor de Resíduos da Construção Civil na Fabricação de Blocos Com Função estrutural. *14º Congresso Brasileiro de Engenharia de ciências dos Materiais. São Pedro SP, 2000*.

**OLIVEIRA, D. F.; SILVA, M. C.; NEVES, G. A.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.** Influência do Teor de Resíduo da Construção Civil na Fabricação de Blocos Sem Função Estrutural. *45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis – SC*. 30 de maio a 2 de junho de 2001.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.** Contribuição Para o Estudo da Durabilidade de Blocos de Concreto Produzidos com Entulho da Construção Civil. *III Congresso de Estudantes de Ciência e Engenharia de Materiais, 15 a 21 de junho de 2001; Campina Grande – PB*.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.; JUNIOR., F. O. Q.; BRASILEIRO, F. E.; NEVES, G. A.** Utilização de Entulho da Construção Civil na Confecção de Blocos de Vedação de

Concreto. III Congresso de Estudantes de Ciência e Engenharia de Materiais, 15 a 21 de junho de 2001; Campina Grande - PB.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.; JUNIOR., F. O. Q.; BRASILEIRO, F. E.; NEVES, G. A.** Estudo Para o aproveitamento de Entulho da Construção Civil na Confecção de Blocos Estruturais de Concreto. III Congresso de Estudantes de Ciência e Engenharia de Materiais, 15 a 21 de junho de 2001; Campina Grande - PB.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; NEVES, G. A.** Avaliação da Degradabilidade Blocos Sem Função Estrutural Utilizando Resíduos da Construção Civil. IX Encontro de Iniciação Científica da UFPB, 11 a 13 de dezembro de 2001; João Pessoa – PB.

**OLIVEIRA, D. F.; CARVALHO, J. B. Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.; NEVES, G. A.** Utilização de Resíduos da Construção Civil na Confecção de Blocos Com Função Estrutural. IX Encontro de Iniciação Científica da UFPB, 11 a 13 de dezembro de 2001; João Pessoa – PB.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR., F. O. Q.; NEVES, G. A.** Estudo da Durabilidade de Blocos de Concreto Confeccionados Com Entulho da Construção Civil. IX Encontro de Iniciação Científica da UFPB, 11 a 13 de dezembro de 2001; João Pessoa – PB.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.** Aproveitamento do Entulho como Agregado na Fabricação de Blocos de Concreto: Avaliação da Durabilidade; V Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Pós-Graduação; São José dos Campos; 2001.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.** Avaliação da Substituição dos Agregados Naturais por Entulho da Construção Civil na Produção de Blocos Estruturais de Concreto; V Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Pós-Graduação; São José dos Campos; 2001.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, J. B. .Q.; MELO, A. B.; NEVES, G. A.** Reciclagem de Entulho da Construção Civil para Confeção de Blocos de Concreto. Simpósio Brasileiro de engenharia ambiental, maio de 2002, Itajaí/SC.

**OLIVEIRA, D. F.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.; SANTOS, V. S.; BRASILEIRO, F. E.** Aproveitamento de Entulho da Construção Civil Como Agregado na Produção de Pré-Moldados de Concreto: Avaliação da Durabilidade. V Encontro de Iniciação Científica –V EPG 2001 I Encontro de Pós-Graduação – I EPG; 17 a 19 de outubro de 2001 na Universidade do Vale do Paraíba.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; LIRA, H. L.; NEVES, G. A.** Aproveitamento do Entulho Como Agregado Artificial na Fabricação de Blocos de Concreto: Avaliação da Durabilidade. 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 26 a 27 de maio de 2002; São Paulo/SP.

**OLIVEIRA, D. F.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.; PATRÍCIO S. M. R.; NEVES, G. A.** Estudo para Confeção de Blocos Estruturais de Concreto com o Aproveitamento de Entulho da Construção Civil. 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 26 a 27 de maio de 2002; São Paulo/SP.

**OLIVEIRA, D. F.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR., F. O. Q.; BRASILEIRO, F. E.; NEVES, G. A.** Caracterização de Blocos de Vedação de Concreto com Entulho da Construção Civil Incorporado. 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 26 a 27 de maio de 2002; São Paulo/SP.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S.; JUNIOR., F. O. Q.; BRASILEIRO, F. E.;** Estudo de Dosagem Para a Reciclagem de Entulho da Construção Civil na Confeção de Blocos de Concreto. 44º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACOM; 26 a 27 de maio de 2002; Belo Horizonte – Minas Gerais.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; LIRA, H. L.** Estudo de Envelhecimento Com Amostras de Concreto de Cimento Portland

Produzidos Com Entulho da Construção Civil. 44º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACOM; 26 a 27 de maio de 2002; Belo Horizonte – Minas Gerais.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S. JUNIOR, F. O. Q.** Avaliação da Eficiência de Blocos Estruturais de Concreto com a incorporação de Resíduo da construção civil. XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais; 09 a 13 de novembro de 2002; Natal – RN.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S. JUNIOR, F. O. Q.** Avaliação do Desempenho de Pré-Moldados de Concreto com Entulho da Construção Civil Submetido ao Ensaio de Envelhecimento Acelerado; XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais; 09 a 13 de novembro de 2002; Natal – RN.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; FARIAS. C. A. S. JUNIOR, F. O. Q.; NEVE, G. A.;** Estudo do Desempenho de Blocos de Vedação Utilizando o Entulho da Construção Civil como Agregado Alternativo; XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais; 09 a 13 de novembro de 2002; Natal – RN.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR, F. O. Q. FARIAS. C. A. S.** Análise da Dosagem para Reciclagem do Resíduo da Construção civil na Fabricação de Blocos de Vedação; VI Encontro de Iniciação Científica e II Encontro de Pós-Graduação; São José dos Campos; 2002.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR, F. O. Q. FARIAS. C. A. S.** Reciclagem de Resíduos da Construção Civil: Dosagem para Fabricação de Blocos Estruturais de Concreto; VI Encontro de Iniciação Científica e II Encontro de Pós-Graduação; São José dos Campos; 2002.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR, F. O. Q. FARIAS. C. A. S.** Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Entulho da Construção Civil; VI Encontro de Iniciação Científica e II Encontro de Pós-Graduação; São José dos Campos; 2002.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR., F. O. Q.; LUCENA, H. L.; NEVES, G. A.** Estudo da durabilidade de Concreto com Entulho da Construção Civil para Fabricação de Pré-moldados. 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 15 a 18 de junho de 2003; João Pessoa – PB.

**OLIVEIRA, D. F.; NASCIMENTO, J. W. B.; NOBREGA, A. R. S.** Qualificação da Geração de Resíduo da Construção Civil no Município de Campina Grande. 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 15 a 18 de junho de 2003; João Pessoa – PB.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR., F. O. Q.; LUCENA, H. L.; NEVES, G. A.** Análise do Efeito da Dosagem para Incorporação do Entulho da Construção Civil na Confeção de blocos de Vedação. 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 15 a 18 de junho de 2003; João Pessoa – PB.

**OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; CARVALHO, J. B. .Q.; MELO, A. B.; JUNIOR., F. O. Q.; LUCENA, H. L.; NEVES, G. A.** Avaliação da durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Resíduos da Construção Civil. 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 15 a 18 de junho de 2003; João Pessoa – PB.

## CAPÍTULO I

### 1.1 Introdução

O acelerado processo de industrialização tem contribuído para o aumento significativo da geração de resíduos sólidos. Paralelo a isso, o tratamento inadequado dado a esses resíduos, depositados muitas vezes a céu aberto de maneira descuidada tem provocado contaminações e agravado consideravelmente os problemas ambientais, sobretudo nos grandes centros urbanos.

Essa problemática vem despertando cada vez mais a atenção de estudiosos no sentido de valorizar o aproveitamento do entulho da construção civil de uma forma geral. Além das questões ambientais que, pode-se dizer, demandam soluções mais imediatas, há outra forte razão que causa preocupações em relação ao futuro: o esgotamento das reservas de matérias-primas.

Uma das alternativas encontradas para o aproveitamento de resíduos sólidos é a sua incorporação em materiais destinados à construção civil, tendo como parâmetro alguns exemplos nacionais e internacionais de experiências bem sucedidas. A atual orientação ambientalista com base na redução, na reciclagem e na reutilização de resíduos deve ser valorizada em contraposição à simples otimização dos sistemas de descarte que apenas protelam a solução do problema. Segundo CINCOTTO (1988), a construção civil é um dos setores com maior potencial para absorver os resíduos industriais. Concorrem para isto a necessidade de redução do custo da construção, a grande quantidade de matéria-prima e a diversidade de materiais empregados na produção, ampliando as opções de uso de resíduos com diferentes funções na edificação.

Vários tipos de resíduos podem ser reaproveitados de alguma forma na atividade de engenharia. Neste trabalho, será avaliado o aproveitamento do entulho da construção civil, incorporado como componente do concreto usado na produção de blocos de concreto, para uso na própria construção civil. Ao se trabalhar com materiais alternativos, como por exemplo, o entulho da construção civil, é importante avaliar a durabilidade, para verificar as possíveis incompatibilidades entre os

materiais produzidos com esses resíduos e suas reações, frente às situações normalmente encontradas na prática, ao longo da vida útil. O objetivo deste trabalho está baseado nesse preceito, levando em conta principalmente às exigências aceitáveis pela sociedade.

## **1.2 Objetivos**

### *1.2.1 Objetivo Geral*

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o grau de confiabilidade da reciclagem do resíduo da construção civil (da parte inorgânica e não metálica do entulho da construção civil) para uso como matéria-prima reaproveitáveis para confecção de blocos de concreto, utilizados na construção de moradias. Pretende-se aumentar a credibilidade dos processos de transformação de resíduos estáveis em materiais de construção alternativos.

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

- Estudar a dosagem de concreto para produção de blocos alternativos, utilizando entulho da construção civil como agregado graúdo, considerando os parâmetros da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT para aplicação desses blocos em vedações de residências de conjuntos habitacionais. Esse tipo de obra pelo seu porte favorece a utilização de pré-moldados em larga escala e, ao mesmo tempo pode contribuir para minorar os problemas de déficit habitacional.
- Contribuir para o estudo da durabilidade de compósitos com vários teores de entulho incorporados, para se estabelecer uma faixa adequada na produção de blocos de concreto com cimento Portland.
- Relacionar o comportamento mecânico dos compósitos com os constituintes desenvolvidos ao longo do período de cura e da duração das avaliações de durabilidade.

- Contribuir para a redução do volume de desperdício de matéria prima através da reciclagem do entulho da construção civil, colaborando com a preservação dos recursos naturais e conseqüentemente amenizar o impacto ambiental ocasionado pela deposição irracional destes resíduos.

### 1.3 Justificativa

O processo de desenvolvimento de um novo produto deve resultar em uma tecnologia pronta para ser utilizada. A abordagem eminentemente tecnológica é insuficiente no seu desenvolvimento, especialmente no caso do aproveitamento de resíduos. A eventual presença de compostos agressivos misturados aos resíduos sólidos pode afetar o comportamento tecnológico do material, neste sentido, é condição fundamental a estimativa do comportamento do novo produto dentro dos princípios de avaliação de desempenho.

Quanto ao entulho da construção civil observa-se que há um crescente interesse no desenvolvimento de pesquisas sobre sua reciclagem. A necessidade de eliminar a nociva deposição desses resíduos sólidos nos leitos dos rios e nas vias públicas tem definido o caráter de emergência no seu tratamento. Muitos autores têm estudado formas variadas para o aproveitamento destes resíduos, destacando que, acima de tudo, os objetivos visam obter materiais alternativos mais baratos e de boa qualidade. Neste processo, a avaliação da durabilidade é um aspecto muito importante. Ressalta-se também que deve haver grande interesse na avaliação do desempenho, ao longo do tempo, dos elementos construtivos propostos (blocos alternativos), tanto do ponto de vista didático quanto tecnológico.

O estudo convencional dos materiais de construção, no nível macroscópico, é geralmente realizado através de ensaios mecânicos, constituindo na determinação das características destes materiais. No nível microscópico, através de ensaios físicos, químicos, difração de raios-X, estudam-se as fases, e os constituintes dos materiais. Esse é o nível de aprofundamento adequado para o estudo científico dos materiais de construção. Conhecendo-se as fases e a composição de um material e sua relação com as propriedades macroscópicas através das Ciências dos Materiais pode-se otimizar assim, as propriedades do material.

A criação da política nacional de entulho pretende disciplinar a deposição e a reciclagem de material nas áreas urbanas – um assunto que, segundo especialistas deve ser tratado no âmbito nacional e não em nível municipal. O problema de preenchimento de cavas de pedreiras e o baixo índice de reciclagem nos principais centros urbano levaram a Câmara dos Deputados a criar uma comissão especial para o assunto. Por isso, tramitam na Câmara Federal, vários projetos de lei que abordam o problema do entulho urbano. Tem sido destacado que o entulho é um problema tão sério quanto à questão do lixo domiciliar e hospitalar. A gravidade do assunto chega ao extremo em algumas cidades como São Paulo. A capital paulista tem um aterro de materiais inertes (que não apodrecem) que recebe, diariamente, 4.500 toneladas de material — número subestimado pelos técnicos do Departamento de Limpeza Pública, (Limpurb), que calculam pelo menos 491 pontos de deposição irregular somente na capital. Os técnicos ainda ressaltam que o problema do entulho nas capitais brasileiras não será resolvido apenas com o preenchimento de cavas de pedreiras, várzeas e terrenos imprestáveis. Uma importante alternativa – pouco utilizada – é a reciclagem, que além de reduzir o volume de entulho evita que seu depósito crie problemas para a drenagem urbana, (CNOL e SINDUSCON, 2001).

Para o desenvolvimento deste trabalho conta-se com a colaboração do Grupo de Estudo e Aproveitamento dos Resíduos Sólidos – GEARES, criado no Centro de Ciências Tecnológicas da então Universidade Federal da Paraíba - CCT/UFPB/Campus II, atualmente Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/Campus I, que é composto por uma equipe multidisciplinar envolvendo os Departamentos de Engenharia de Materiais (DEMa), Engenharia Agrícola (DEAg) e Engenharia Civil (DEC). Esse grupo, desde 1995 vem, obtendo resultados encorajadores na concepção, desenvolvimento e aplicação de materiais alternativos, a partir da idéia da reciclagem de resíduos sólidos estáveis, aplicáveis como insumos na prática da construção civil. Conta também com o apoio financeiro da Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior (ATECEL), da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP/PADCT III (1999) e do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), na concessão de bolsas de estudo.

## **CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Resíduos da construção civil e de demolição (RCD): definições e classificações:**

Na literatura, diversos autores utilizam o termo RCD, outros preferem chamá-los apenas de entulho, não há um consenso na terminologia para o material estudado. Quanto à definição, há discordância não só quanto à abrangência das frações presente como também quanto às atividades geradoras dessas frações.

O MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO (1999) define entulho como um conjunto de fragmentos ou restos de tijolos, concreto, argamassa, aço, madeira etc., provenientes do desperdício na construção, reforma e/ou da demolição de estruturas como prédios, residências e pontes. No qual pode-se identificar, a existência dos resíduos (fragmentos) de elementos pré-moldados, como materiais cerâmicos, blocos de concreto, demolições localizadas, etc., e dos resíduos (restos) de materiais elaborados em obras, como concretos e argamassas, que contêm cimento, cal, areia e brita.

A norma da ABNT NBR 10004 (1987) define resíduos sólidos como sendo os resíduos no estado sólido e semi - sólido, que resultem de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Esta mesma norma classifica os resíduos sólidos de:

- i. perigosos - resíduos classe I - são aqueles que apresentam periculosidade ou uma das características: toxicidade, flamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade e radioatividade;
- ii. não-inertes - resíduos classe II - são aqueles resíduos que podem ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- iii. inertes - resíduos classe III - quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, (segundo a norma da ABNT NBR 10007), e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes

solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, acentuando-se os padrões de aspectos, cor, turbidez e sabor. Como exemplos destes materiais têm-se rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

De acordo com esta norma os resíduos de construção e demolição podem ser classificados em resíduos da classe III – inertes. Isto se deve ao fato deste resíduo possuir componentes minerais não poluentes e ser praticamente inerte quimicamente. Entretanto em muitos casos dependendo da origem, da composição ou do acondicionamento destes resíduos, eles podem apresentar níveis elevados de contaminantes que os classificam em uma das outras classes.

Por estes motivos ZORDAN (2000) enfatiza que o resíduo de construção, a depender da sua origem e materiais constituintes, pode estar inserido em qualquer das classes apresentadas pela NBR 10004 (1987), ou seja, perigoso, não inerte ou inerte. Alerta ainda com relação a esta norma, que estes resíduos são analisados isoladamente e não está disponível um estudo feito com entulho como um todo em que se garanta que ele ainda seria classificado como resíduos inertes, além disso, os entulhos possuem uma dependência direta com a obra que os originou, ou seja, algumas construções poderiam apresentar materiais que os classificariam como não inertes.

Considerando os fatores: tipos diferentes de resíduos disponíveis para a reciclagem; especificações para os agregados reciclados em seus usos atuais e potenciais; sistemas de classificação já disponíveis no Brasil e exterior; condições de operação das centrais de reciclagem; experiências estrangeiras onde a reciclagem já está implantada a mais tempo e necessidade de consumir quantidades significativas de resíduos, LIMA (1999), classifica os resíduos de construção e demolição em classes de 1 a 6.

- i. classe 1 - resíduo de concreto sem impurezas - material composto de concreto estrutural, simples ou armado, com teores limitados de alvenaria, argamassa e impurezas;

- ii. classe 2 - resíduo de alvenaria sem impurezas - material composto de argamassas, alvenaria e concreto, com presença de outros inertes como areias, pedras britadas, entre outros, com teores limitados de impurezas;
- iii. classe 3 - resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas - material composto de argamassa, concreto e alvenaria com baixo teor de materiais cerâmicos, podendo conter outros materiais inertes como areia e pedra britada, entre outros, com teores limitados de impurezas;
- iv. classe 4 - resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação - material composto basicamente pelos mesmos materiais do resíduo da classe 2, porém admite a presença de determinada porcentagem em volume de terra ou terra misturada a vegetação. Admite maior teor de impurezas;
- v. classe 5 - resíduo composto por terra e vegetação - material composto basicamente por terra e vegetação, com teores acima do admitido no resíduo de classe 4. Admite presença de argamassa, alvenarias e concretos, e outros materiais inertes, além de maior teor de impurezas que os anteriores;
- vi. classe 6 - resíduo com predominância de material asfáltico - material composto basicamente de material asfáltico, limitando-se a presença de outras impurezas como argamassas, alvenarias, terra, vegetação, gesso, vidros e outros.

Nestas classificações admite-se a presença de impurezas, e uma classificação mais precisa irá depender do fortalecimento da reciclagem no setor da construção civil, resultando em materiais mais homogêneos e de maior qualidade com grandes possibilidades de usos.

O Ministério do Meio Ambiente – (MMA) através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, resolução 307 – 05/07/2002), apresenta uma definição bastante abrangente. Assim, de acordo com esta resolução os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc.,

comumente chamados de entulho de obras, caliça ou metralha. Estes ainda podem ser classificados da seguinte forma:

- i. classe A - são resíduos reutilizáveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reforma e reparos de pavimentação e de obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reforma e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidos nos canteiros de obras;
- ii. classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- iii. classe C - são os resíduos para os quais, ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- iv. classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

O entulho é considerado como empecilho que atrapalha o bom andamento das construções e para livrar-se deste estorvo, os empresários da construção civil utilizam os componentes minerais, considerados quimicamente inertes e usam como aterros. Quando depositados indiscriminadamente são verdadeiros focos de outros tipos de resíduo, que podem gerar contaminações devido à lixiviação ou solubilização de certas substâncias nocivas. Ou ainda, os próprios resíduos de construção e demolição podem conter materiais de pintura ou substâncias de tratamento de superfícies, entre outras, que podem percolar pelo solo, contaminando-o. Além destes materiais, estes resíduos podem conter amianto ou metais pesados, que mesmo em pequenas quantidades, se misturados ao resíduo, pode contaminá-lo de forma significativa.

## 2.2 Desperdício na construção civil

Estudos recentes têm sido realizados sobre a reciclagem de resíduos sólidos, principalmente nos países subdesenvolvidos que não podem arcar com uma industrialização rápida. Os desperdícios são relativamente altos, chegando a variar entre 40% e 45% do valor total. A reciclagem de resíduos de edificação tem obtido resultados positivos que justificam os investimentos em novas tecnologias, e tem-se disseminado com rapidez, tanto em países desenvolvidos, como em desenvolvimento, podendo destacar entre eles: Japão, França, Alemanha, Itália e Brasil (PINTO, 1995). No Brasil, as informações hoje disponíveis permitem confirmar a significância das perdas na construção e quantificar a geração dos resíduos da construção e demolição, demonstrando sua supremacia na composição dos resíduos sólidos urbanos em cidades de médio e grande porte. A importância de detectar a ocorrência de uma faixa de valores para as perdas foi reforçada pela pesquisa nacional "Alternativas para a Redução do Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obra", promovida pelo ITQC — Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil, com recursos da FINEP, tendo envolvido 16 universidades brasileiras e pesquisado o fluxo de materiais em 99 diferentes canteiros de obra (SOUZA *et al.*, 1998). A Tabela 2.1 apresenta, para a construção empresarial, a significativa variabilidade dos valores detectados para alguns dos materiais, comuns a atividade construtiva. Na mesma tabela são apresentados, também, os resultados obtidos em duas outras pesquisas anteriores sobre o mesmo tema.

**TABELA 2.1** - Perda de materiais em processos construtivos convencionais, conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores

<b>MATERIAIS</b>	<b>PINTO (1)</b>	<b>SOIBELMAN (2)</b>	<b>FINEP/ITQC (3)</b>
Concreto usinado	1,5%	13%	9%
Aço	26%	19%	11%
Blocos e tijolos	13%	52%	13%
Cimento	33%	83%	56%
Cal	102%	-	36%
Areia	39%	44%	44%

(1) Valores de uma obra (PINTO, 1989).

(2) Média de 5 obras (SOIBELMAN, 1993).

(3) Mediana de diversos canteiros (SOUZA *et al.*, 1998)

A existência da continuidade de procedimentos entre essas pesquisas coloca a pesquisa brasileira em uma posição de destaque no tema. Cumpre ressaltar que a primeira pesquisa, de 1989, mostrou a possibilidade e a importância de investigar-se essa temática; a segunda, de SOIBELMAN *et al* (1993), lançou os parâmetros da metodologia de investigação e revelou a variabilidade dos dados obtidos; a terceira pesquisa, trabalho de 16 universidades coordenado pela EPUSP — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo entre 1996 e 1998, consolidou a metodologia e imprimiu dimensão numérica e geográfica ao conjunto dos dados coletados. As informações coletadas apontam uma estimativa média de 27% de perda em massa no universo de obras estudadas, situando-se, portanto, no intervalo de 20 a 30%. É importante ressaltar que, devido à variabilidade das situações diagnosticadas, os agentes construtores devem ter sua atenção voltada para o reconhecimento de seus índices particulares, seu patamar tecnológico, buscando investir em melhorias para conquistar competitividade no mercado e racionalidade no uso dos recursos não renováveis.

Várias publicações têm divulgado alguns dados sugestivos ao aproveitamento preconizado como solução para o problema de entulho da construção civil. Dentre eles, podem ser destacados os trabalhos desenvolvidos no Instituto de Pesquisas e Tecnologia de São Paulo - IPT, em que se quantificou o desperdício na indústria da construção civil (varia entre 30% e 40% do custo total da obra). Destaca-se também que o reaproveitamento dos rejeitos cerâmicos gerados nas edificações, convenientemente beneficiados, pode ser útil como aglomerante pozolânico e agregado em argamassas, podendo reduzir o custo destas (PINTO, 1994; ARAÚJO, NEVES & FERREIRA, 1997). A adição de entulho beneficiado nas argamassas mistas resulta em evidentes melhoras no desempenho mecânico com reduções nos consumos de cimento (30%), da cal (100%) e da areia (15% à 30%), dependendo dos traços avaliados (LEVY, MARTINELLI & HELENE, 1997).

Segundo MIRANDA (2000) a natureza do entulho influencia o consumo de água das argamassas composta com entulho com elevada absorção de água, como no caso de blocos cerâmicos. Assim, faz-se necessário corrigir o valor da relação água/cimento e de água/materiais secos em função do teor de entulho cerâmico na argamassa e da sua absorção de água total. Por exemplo, quando são fixados a distribuição granulométrica e o traço da argamassa e se corrige a relação

água/cimento, não se verifica diferença de consistência entre argamassas distintas (compostas com blocos cerâmicos e com blocos de concreto triturados). Mas, ao contrário, os finos do entulho reciclado de argamassa mista demandam mais água que os finos gerados pela moagem dos blocos cerâmicos e de concreto.

Tendo em vista a grande diversidade dos materiais utilizados na construção civil, é de vital importância o seu conhecimento para o uso em edificações, tanto em elementos estruturais quanto no acabamento. A utilização incorreta dos materiais pode levar a um colapso no setor da construção, conduzir a maiores riscos de vida e com isso causar transtornos aos usuários, gerando altas despesas de manutenção.

Em uma pesquisa realizada em Campina Grande na Paraíba, (NÓBREGA, 2002), os resíduos gerados nas obras de edificação neste município, são utilizados como aterro nas próprias construções sem nenhum tipo de tratamento prévio, transportados por agentes coletores ou depositados em ruas ou terrenos próximos às construções atraindo outros tipos de resíduos como os domiciliares. A quantidade expressiva dos componentes do entulho aumenta o impacto ambiental, pois além de incidir em um consumo de materiais acima do indispensável à produção de um certo bem, esses resíduos são depositados aleatoriamente no meio ambiente.

Os principais tipos de perdas detectadas nas construções desta cidade foram as seguintes:

- i. perdas nos estoques - em algumas edificações os materiais eram estocados em locais abertos no próprio canteiro ou em ruas próximas sem nenhum tipo de proteção em relação a chuvas, sol, roubos e vandalismos, ocasionando tijolos quebrados no local de estocagem;
- ii. perdas por excesso de produção - produção de argamassa em quantidade acima do necessário;
- iii. perdas no processamento em loco - nas incorporações, esse tipo de perda origina-se tanto na execução inadequada de alguns serviços, como na natureza de diversas atividades como, por exemplo, para executar instalações, quebravam-se paredes já emboçadas. Nos condomínios, isso também foi observado, porém o que acarretou a parcela mais significativa neste tipo de perda era a mudança constante nos projetos por parte dos condôminos;

- iv. perdas no transporte - o manuseio dos materiais de construções pelos operários provocava perdas, principalmente, com blocos devido ao equipamento de transporte ser inadequado ou do péssimo manuseio.

A quantidade de entulho descartado em Campina Grande mostra significativo consumo de matérias primas em uma cidade de porte médio que está vivenciando um processo contínuo de urbanização e principalmente na verticalização das construções. O diagnóstico de geração de entulhos neste município é um passo primordial para avaliar o seu uso em potencial. A Figura 2.1 ilustra a quantidade de material gerado e desperdiçado durante a construção de um edifício na cidade de Campina Grande – PB.



**FIGURA 2.1-** Exemplo de entulho gerado num canteiro de obra

### **2.3 Origem do entulho**

O entulho é gerado não só da substituição de componentes pela reforma como pela reconstrução. Muitas vezes é gerado por deficiências no processo construtivo: erros ou indefinições na elaboração dos projetos e na sua execução, qualidade dos materiais empregados, perdas na estocagem e no transporte. Estes desperdícios podem ser atenuados através do aperfeiçoamento dos controles sobre a realização das obras e também através dos trabalhos conjuntos com empresas e trabalhadores da construção civil, visando aperfeiçoar os métodos construtivos, reduzindo a produção de entulho e os desperdícios de material.

O elevado índice de perdas é a principal causa de onde se origina o entulho, entretanto não é toda perda que se transforma neste resíduo, o desperdício gerado em um canteiro de obras poderá ser de dois tipos: o que está inerente à massa de edificação e o entulho da construção civil (GRIGOLI, 2000). A quantidade de entulho gerado é equivalente a 50% do material desperdiçado (PINTO, 1995). Em obras de reforma os principais motivos do surgimento do resíduo da construção e demolição é a falta de costume de reutilização e reciclagem e as demolições, como são realizadas em processos simples, são causas geradoras de entulho (ZORDAN, 1997).

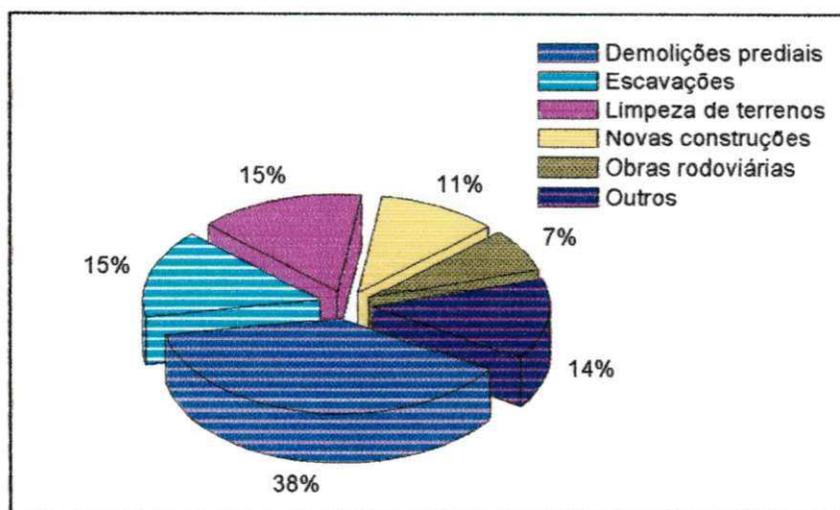
ANDRADE (1999) define como desperdício à fração das perdas que excede o limite mínimo característico da tecnologia considerado inevitável para determinado nível tecnológico. SOUZA *et al* (1999) definem perdas de materiais como um consumo de matérias além do necessário à produção ou manutenção de um bem. A perda física em massa pode não ter o mesmo significado quando analisada em termos financeiros, introduzindo-se, então, o conceito de perda financeira. PICCHI (1993) considera que o entulho gerado pode representar 5% de perda financeira no custo de uma obra. A Tabela 2.2 mostra as principais causa de ocorrência de resíduos de construção.

**TABELA 2.2 - Fontes e causas da ocorrência de resíduos de construção**

<b>FONTE</b>	<b>CAUSA</b>
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- erro nos contratos</li> <li>- contratos incompletos</li> <li>- modificações de projeto</li> </ul>
Intervenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ordens erradas, ausência ou excesso de ordens</li> <li>- erros no fornecimento</li> </ul>
Manipulação de materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- danos durante o transporte</li> <li>- sobras de dosagens</li> </ul>
Operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- erros do operário</li> <li>- mau funcionamento de equipamentos</li> <li>- ambiente impróprio</li> <li>- dano causado por trabalhos anteriores e posteriores</li> <li>- usos de materiais incorretos em substituições</li> <li>- sobras de corte</li> <li>- resíduos do processo de aplicação</li> </ul>
Outros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vandalismo e roubo</li> <li>- falta de controle de materiais e de gerenciamento de resíduos</li> </ul>

Fonte: GALIVAN, BERNOLD, (1994, modificado).

No processo produtivo o alto índice de perdas do setor é a principal causa do entulho gerado. Segundo critérios estabelecidos em pesquisa elaborada pelo Departamento de Proteção do Meio Ambiente de Hong Kong (Environmental Protection Department, 1991) o entulho total existente na cidade era proveniente basicamente de cinco fontes, conforme ilustrado na Figura 2.2.



**FIGURA 2.2** - Fontes de distribuição de entulhos existente na cidade de Hong Kong (Fonte: Environmental Protection Department, 1991).

A construção civil é certamente o maior gerador de resíduos de toda sociedade. O volume de entulho de construção e demolição gerado é até duas vezes maior que o volume de todo o resíduo sólido urbano (lixo). No Brasil até hoje não foi elaborado um levantamento que identifique e quantifique a contribuição das principais fontes geradoras de entulho. Por outro lado, especula-se que as porcentagens de 38% para demolições, 29% para limpeza de terrenos, 11% para novas construções, 15% para escavações e 7% para obras rodoviárias compõem o montante de entulho (LEVY, 1999).

Em cidades brasileiras a maioria destes resíduos é depositada clandestinamente. Estes aterros clandestinos têm obstruído córregos e drenagens, colaborando para enchentes, favorecendo a proliferação de mosquitos e outros vetores, levando boa parte das prefeituras a usar grande parte de seus recursos públicos para a sua retirada.

É importante observar que nas novas construções o que é encontrado na sua maioria são materiais "separados", ou seja, materiais que ainda não foram utilizados em qualquer processo da construção, normalmente em razão do desperdício resultante da própria característica artesanal da construção. Em demolições e reformas pode-se encontrar os materiais residuais na sua forma final, tal como paredes de alvenaria e pisos revestidos, concretos armados, entre outros.

No processo construtivo, o alto índice de perdas do setor é a principal causa do entulho gerado. Embora nem toda perda se transforme efetivamente em resíduo - uma parte fica na própria obra - os índices médios de perdas (em %) apresentadas na Tabela 2.3 fornecem uma noção clara do quanto se desperdiça em materiais de construção - a quantidade de entulho gerado corresponde, em média, a 50% do material desperdiçado.

**TABELA 2.3 - Índices médios de perdas na construção civil (%)**

MATERIAIS	areia	cimento	pedra	cal	concreto	aço	blocos de tijolo	argamassa
AGOPYAN <i>et al</i> (1998)	76	95	75	97	9	10	17	18
PINTO (1995)	39	33	-	-	1	26	27	91

Nas reformas a falta da cultura de reutilização e reciclagem é a principal causa do entulho gerado pelas demolições. Nas demolições, a quantidade de resíduo gerado não depende dos processos empregados ou da qualidade do setor, pois se trata do produto do processo, e essa origem, sempre existirá.

Segundo NÓBREGA (2002) os maiores constituintes de resíduos da construção civil referente a quinze novas edificações pesquisadas no município de Campina Grande são de madeira e tijolo conforme está apresentado na Tabela 2.4, onde estes constituintes estão relacionados com a fase em que a construção se encontra. A quantidade de resíduos da construção civil descartada foi superior a 2000 toneladas em um período correspondente a 6 meses. A quantidade média de entulho em diferentes fases em que as construções se encontravam é apresentada na Tabela 2.5.

**TABELA 2.4 - Índices dos principais constituintes do entulho gerado em Campina Grande**

MATERIAIS	tijolo	argamassa	madeira	pedra	areia	ferro	concreto	gesso	cerâmica
%	34	28	3	1	9	0	0	15	10

Fonte: NÓBREGA (2002).

**TABELA 2.5 - Média de geração de entulho em diferentes fases de construção do município de Campina Grande em 2001**

FASES DAS CONSTRUÇÕES	MÉDIA DE GERAÇÃO DE ENTULHO (ton/mês)
Concretagem + alvenaria	5,1
Alvenaria + revestimento	33,1
Revestimento	36,2

Fonte: NÓBREGA (2002)

A quantidade de resíduos descartados neste município mostra um significativo consumo de matérias primas em uma cidade de porte médio que vivência um processo contínuo de urbanização e principalmente na verticalização das construções.

## 2.4 Composição do entulho da construção civil

A composição do entulho é função da fonte que o originou, ou seja, construções, reformas/manutenção e demolições e também do momento em que foi colhida a amostra. Considera-se que, em razão da natureza da atividade, a composição dos resíduos de reformas/manutenção deve se assemelhar a de resíduos de demolição, porém não há informações a respeito.

O percentual de participação das diferentes origens na geração de entulho é variável em diversos países. No Brasil, em que as atividades de construção são intensas, essa relação pode chegar a 1:1 em comparação com os resíduos de demolição (PINTO, 1999). Conclusões que podem ser observadas na Tabela 6 citada por (ÂNGULO, 2000).

**TABELA 2.6 - Comparação da composição de resíduo da construção e demolição gerada em diversos países**

PAIS	RCD (ton/ano)	RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO (ton/ano)	RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO (ton/ano)	RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO NO RCD (%) (ton/ano)	RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO NO RCD (%) (ton/ano)	ANO
Paises baixos <sup>3</sup>	14 milhões					1996
Inglaterra <sup>5</sup>	70 milhões					1997
Alemanha <sup>7</sup>	32,6 milhões	10 milhões	22,6 milhões	31	69	1994
Estados Unidos <sup>4</sup>	31,5 milhões	10,5 milhões	21,0 milhões	33	66	1994/1997
Brasil <sup>2</sup>	70 milhões <sup>8</sup>	35 milhões	35 milhões	30-50	50-70	1999
Japão <sup>7</sup>	99 milhões	52 milhões	47 milhões	52	48	1993
França <sup>6</sup>			25,0 milhões			1994
Europa Ocidental <sup>1</sup>	215 milhões	40 milhões	175 milhões	19	81	Previsão 2000

<sup>1</sup>PERA (1996); HENDRICKS (1993) *apud* QUEBAUD, BUYLE-BODIN (1999); <sup>2</sup>PINTO (1999), ZORDAN (1997), JOHN (2000); <sup>3</sup>BOSSINK, BROUWERS (1996); <sup>4</sup>PENG *et al.* (1997); <sup>5</sup>CRAIGHILL, POWELL (1997); <sup>6</sup>GIRARDOT (1994) *apud* QUEBAUD, BUYLE-BODIN (1999); <sup>7</sup>LAURITZEN (1994); <sup>8</sup>Para esta estimativa, foi considerada uma população de 150 milhões de habitantes, com uma geração anual de 0,5 ton/hab.ano, média obtida de algumas cidades brasileiras em PINTO (1999). Ressalta-se que não se trata de uma média representativa.

Segundo LEVY (1997) a composição do entulho nos canteiros de obra na cidade de Londrina - PR (Tabela 2.7) é composta basicamente por material cerâmico (52%), argamassa (16%), gesso (15%) e madeira (11%).

**TABELA 2.7 - Composição de entulho nos canteiros de obras em Londrina – PR**

Material	Material cerâmico	Argamassa	Gesso	Madeira	Aço
<b>Composição (%)</b>	52	16	15	11	06

Apresenta-se na Tabela 2.8 a composição do entulho proveniente exclusivamente das demolições, sendo formado predominantemente por material cerâmico (52%) e concreto (33%).

É importante observar a diferença na composição nos dois casos. A incidência de gesso presente no entulho da construção pode comprometer o estudo do aproveitamento do entulho devido a sua propriedade de interagir com o cimento.

Portanto, deve-se estar atento para a escolha do tipo de entulho que se deseja utilizar, para evitar possíveis transtornos.

**TABELA 2.8 - Composição do entulho de demolições de Londrina - PR**

Material	Concreto	Material cerâmico	Argamassa	Madeira	Metal	Vidro
<b>Composição (%)</b>	33	52	5	8	1	1

Fonte: LEVY e HELENE (1997)

## 2.5 Reciclagem do entulho na construção civil

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto grande quantidade de entulho mineral. SCHULZ e HENDRICKS (1992), encontraram registros de que tal fato despertava a atenção dos construtores já na época da edificação das cidades do Império Romano e desta época datam os primeiros registros de reutilização de resíduos minerais da construção civil na produção de novas obras.

Entretanto, só a partir de 1928, começaram a ser desenvolvidos procedimentos de forma sistemática, para avaliar o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados, oriundos de alvenaria britada e de concreto. A primeira aplicação significativa de entulho reciclado, só foi registrada após a segunda Guerra Mundial, na reconstrução das cidades européias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e o escombros ou entulho resultante, foi britado para produção de agregados visando atender a demanda na época (WEDLER, B. e HUMMEL, A. 1946 *apud* LEVY 1997). Assim, pode-se dizer, que a partir de 1946 teve início o desenvolvimento da tecnologia de reciclagem do entulho de construção civil.

Quando se procedem as demolições de residências, edifícios públicos e instalações industriais, os materiais provenientes destas demolições geram volumes de resíduos que, por enquanto, são pouco reciclados. O volume desses resíduos na Europa é cerca de 200 milhões de toneladas/ano (HENDRIKS, 1993 *apud* QUEBAUD & BUYLE-BODIN, 1999). Na França é produzido volume de resíduos de

DE PAUW (1982) estudou a substituição de agregados naturais por reciclados, na produção de blocos de vedação, com traços padrão de 1:8, porém sempre mantendo certa quantidade de areia natural. A Tabela 2.9 apresenta o estudo de dosagem para determinação do traço e da resistência à compressão média de blocos produzidos com resíduos da construção e demolição.

**TABELA 2.9** - Estudo de dosagem para determinação do traço e resistência à compressão média dos blocos produzidos com resíduos da construção e demolição

SÉRIE	DOSAGEM EM MASSA				Resistência à compressão (MPa)	
	Traços utilizados Cimento P15-302(kg)	Areia Natural (kg) Grãos 0-2 mm	Agregados graúdos naturais (kg) Grãos 4-8 mm	Material reciclado (kg) Grãos 0-25 mm		Grãos 3-12 mm
referência	50	100	300		3,7	
1	50	150		250	2,2	
2	50	100		200	3,3	
3	50	200		200	2,9	
4	50	150			300	4,1
5	50	150			250	7,0
6	50	200			200	2,1

Traços utilizados para a produção de 24 blocos (390 x 190 x 190) mm

Fonte: DE PAUW (1982)

Com os resultados apresentados na Tabela 2.9 podemos observar que houve uma queda na resistência à compressão média, com a incorporação do resíduo reciclado da fração de 0-25 mm em relação à fração 3-12 mm. Isto pode ter ocorrido devido o aumento da variabilidade na resistência à compressão simples provocada pela areia e finos ou, simplesmente, pela presença desses materiais ou efeitos da granulometria na compactação dos blocos.

No âmbito nacional, tem-se informação da construção de um alojamento utilizando blocos incorporados com resíduos reciclados, nas dependências da Usina de Asfalto Municipal no bairro da Barra Funda, entre os anos de 1992 e 1993. A EMURB (Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo) também realizou estudos para implantar uma fábrica de blocos junto a usina de reciclagem de

resíduos da construção e demolição de Itatinga (SP) (TOALDO, 1993 *apud* ÂNGULO, 2000)

A resistência à compressão de blocos de concreto é determinada principalmente pelas variáveis: grau de compactação, consumo de cimento e resistência mecânica dos agregados. O grau de compactação conferido ao material dos blocos de concreto é fundamental para a definição de suas características. Este grau de compactação é função direta da granulometria dos agregados, da umidade da mistura e das condições de moldagem.

O entulho quando usado como agregado na produção de concreto apresenta uma absorção de água superior à do agregado tradicional, devido tanto a sua maior porosidade como a maior quantidade de finos existentes neste resíduo. Possivelmente devido às arestas mais arredondadas e por uma certa quantidade de terra presente na parcela miúda, o entulho possibilita uma trabalhabilidade superior à oferecida pelos agregados tradicionais (areia e brita), para uma mesma relação água/cimento. Quanto aos resultados de resistência a compressão simples, realizados com o concreto confeccionado com entulho, pode-se dizer que este tipo de concreto atende perfeitamente as exigências de fabricação de blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural, que segundo a NBR 7173 – “Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural”, necessita de uma resistência à compressão mínima de 2,5 MPa (média) e 2,0 MPa (individual) (ZORDAN; 1997).

Em seus estudos COLLINS (1998) constatou que, a utilização de 75% de agregados reciclados de resíduos da construção e demolição reciclados na produção de blocos é possível sem a mínima dificuldade, apresentando bom desempenho.

### 2.8.3 *Em pavimentação*

A forma mais simples de reciclagem do entulho é a sua utilização em pavimentação (base, sub-base ou revestimento primário) na forma de brita corrida ou ainda em misturas com solo.

As vantagens para essa opção de uso do entulho são:

- i. a forma de reciclagem que exige menor utilização de tecnologia o que implica menor custo do processo;
- ii. permite a utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- iii. favorece uma economia de energia no processo de moagem do entulho (em relação a sua utilização em argamassas), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometria graúda;
- iv. há possibilidade de aproveitamento de entulho proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/trituração;
- v. maior eficiência do resíduo quando utilizado aos solos saprolíticos.

Os pavimentos executados com materiais reciclados normalmente estão situados em vias secundárias de tráfego, existem experiências com mais de 80 km de pavimentação executado nestas condições (PINTO e LIMA, 1993).

Segundo LIMA (1999), a aplicação do reciclado em pavimentação é uma daquelas em que se obtêm os melhores resultados, superiores em muitos casos aos obtidos com o agregado convencional. Há conhecimento do meio técnico para a aplicação do reciclado neste serviço com qualidade e segurança.

#### *2.8.4 Na produção de concreto estrutural*

A utilização de agregados reciclados para a produção de concreto estrutural, capaz de atingir determinada resistência característica específica em projeto ( $f_{ck}$ ) é recente e tem sido difundida e incentivada a partir de meados de 1980, em muitos países como Holanda, Japão e URSS.

No Brasil, não é comum a produção de blocos de concreto, com material reciclado, mas, há uma tendência generalizada tanto da iniciativa privada e do poder público, em equacionar e gerenciar a geração de entulhos da construção, que vem se transformando em problema de grandes proporções nas maiores cidades do país. Logo, os blocos produzidos com estes resíduos, podem ser uma alternativa que

poderá solucionar em parte este problema ambiental; a sua viabilidade técnica vem sendo largamente pesquisada em diversas universidades.

Segundo PINTO (1999), em Belo Horizonte encontra-se em implantação a primeira instalação para produção de artefatos com uso exclusivo de resíduos reciclados como substitutos dos agregados convencionais.

## **2.9 Reciclagem de resíduos**

É necessário reciclar para que seja preservados os recursos naturais não renováveis, e que sejam elaborados leis ambientais severas que dificultem a fabricação de produtos maléficos ao meio ambiente, como também é viável seguir a orientação dos ambientalistas para a redução, reciclagem e a reutilização dos resíduos como um todo, evitando assim o sistema de descartes. Enquanto este objetivo ainda não é totalmente possível, as empresas devem pelo menos evitar a geração de resíduos e optar por programas de reciclagem, como forma de criar produtos com vantagens que justifiquem a produção e aplicação do produto reciclado. Estes produtos, como um todo, apresentam dificuldades perante o mercado consumidor, e precisa de maior atenção perante os pesquisadores por fugirem aos padrões implantados pelo sistema.

Pesquisas sobre reciclagem de resíduos industriais vêm sendo desenvolvidas em todo mundo. No Brasil diversos pesquisadores tem intensificado estudos sobre este assunto. A reciclagem pode ser classificada como primária, secundária ou reaproveitamento.

Reciclagem primária pode ser conceituada como sendo um "re-emprego ou uma reutilização de um produto para mesma finalidade que o gerou" (GPI,1996).

Reciclagem secundária pode ser definida como sendo um "re-emprego ou reutilização de um produto para uma finalidade que não a mesma que o gerou". (GNR, 1996).

O reaproveitamento de resíduo pode ser entendido, como sendo uma forma de utilizá-lo sem que haja necessidade de submetê-lo a qualquer processo de beneficiamento, tal como britagem ou moagem (LEVY, 1997).

A reciclagem de resíduos para produção de novos materiais segundo ENBRI (1994), permitem:

- i. redução do volume de extração de matérias-primas;
- ii. conservação de matérias-primas não renováveis
- iii. redução do consumo de energia;
- iv. menores emissões de poluentes, com o CO<sub>2</sub>;
- v. melhoria da saúde e segurança da população.

A reciclagem e a reutilização de resíduos como novos materiais ultrapassam então o contexto da análise de resistência mecânica e estabilidade dimensional de um novo produto e deve ser inserida em um contexto mais geral de avaliação ambiental.

A reciclagem de resíduos pode ser objeto da ação de profissionais com posições bem diferentes: a) formulador de políticas de gestão ambiental deve ser interessado em selecionar quais os resíduos mais importantes, tanto do ponto de vista da quantidade quanto da agressividade ambiental; b) pesquisador ou o formulador de políticas públicas, deve-se interessar em buscar dentre os resíduos, existentes na sua região, uma alternativa adequada para a produção de um produto específico e c) gerador de um resíduo específico deve buscar alternativas para reciclagem.

Segundo JOHN (1996), duas alternativas, não excludentes, podem ser consideradas quando se busca a redução dos custos de deposição e tratamento de resíduos: a redução do volume de resíduos produzidos e reciclagem dos resíduos. A primeira sempre apresenta limites técnicos difíceis de ser ultrapassados em uma determinada base tecnológica. A segunda (a reciclagem dos resíduos) não apresenta, a priori, qualquer limite desta natureza e é a única alternativa que pode gerar recursos financeiros.

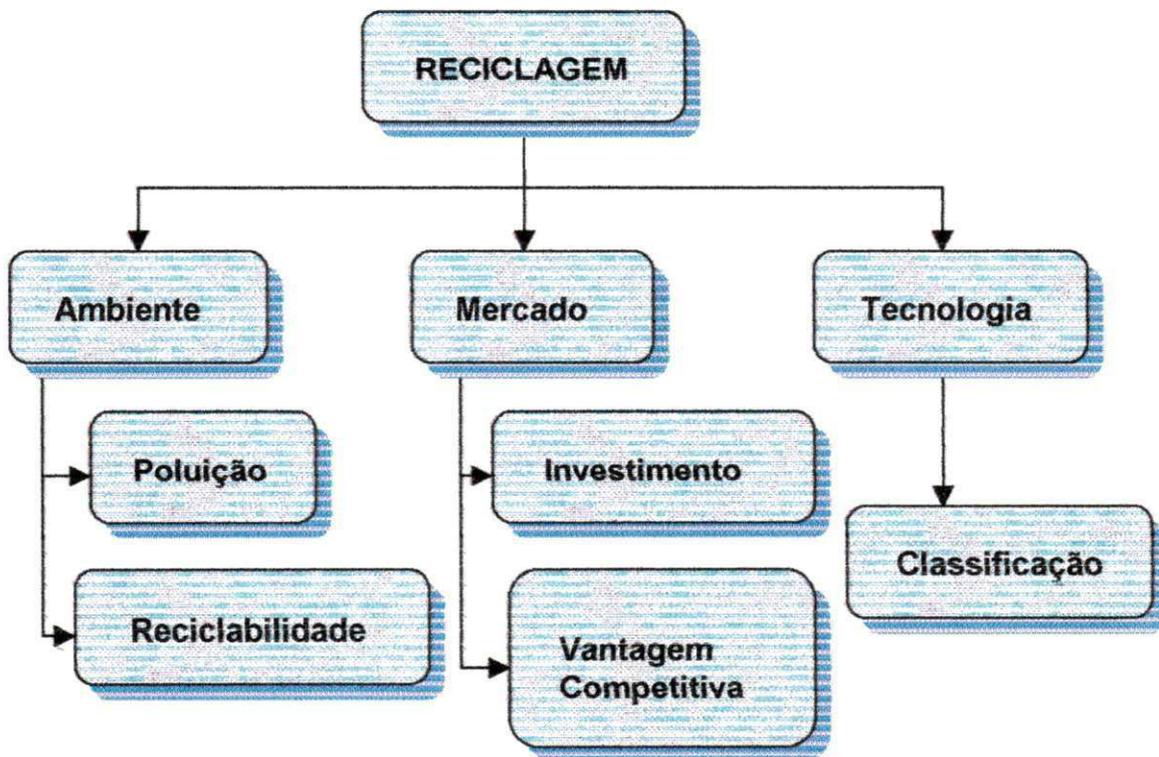
PONTES (2000), afirma que a reciclagem e o aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção é de fundamental importância para controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos de atividades industriais e urbanas, tais como: mineração, metalurgia, química, construção civil e limpeza urbana.

Segundo NAVARRO (2001) os itens que devem ser levados em consideração em um processo padrão de reciclagem são: despesas com coleta e transporte dos resíduos até o local de processamento; despesas na etapa de separação dos

materiais e impurezas; despesas nas etapas de processamento como limpeza, refino, moagem, corte, refundido, etc. e despesas com saúde ocupacional e segurança dos operários.

Alguns resíduos apresentam propriedades que permitem a sua utilização em substituição parcial ou total da matéria-prima, utilizada com o insumo convencional. O aproveitamento destes resíduos na construção civil requer uma avaliação dos aspectos econômicos e tecnológicos, bem como, do risco de contaminação ambiental que o uso de matérias com resíduos incorporados poderá ocasionar durante o ciclo de vida do material e após a sua destinação final.

A Figura 2.3 apresenta um esboço de hierarquia para seleção das alternativas de reciclagem. O ambiente, o mercado e a tecnologia são três variáveis subordinadas à reciclagem.

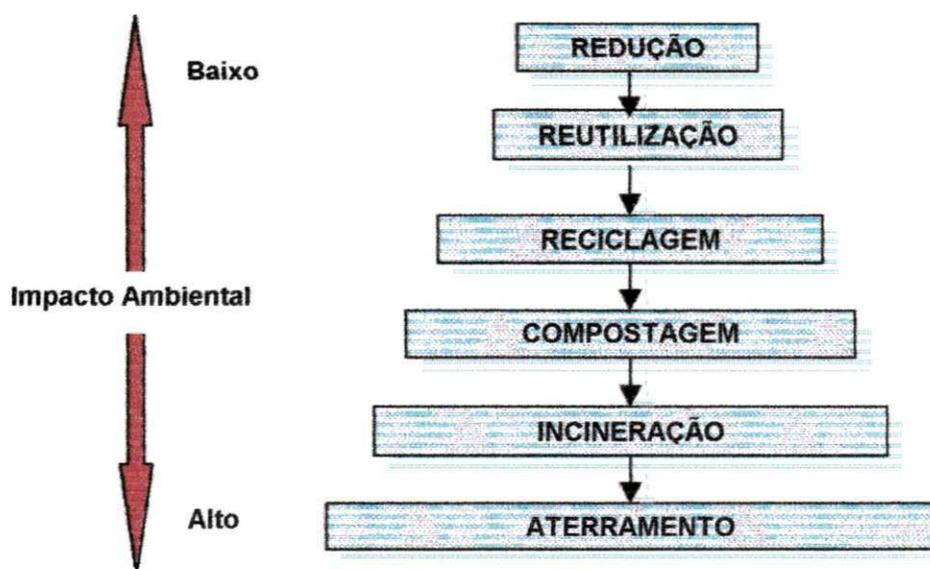


**FIGURA 2.3** - Modelo hipotético de hierarquia para seleção das alternativas para reciclagem (JOHN, 2000 *apud* NEVES, 2002)

A reciclagem vislumbra os seguintes benefícios: eliminação das despesas com descartes, eliminação dos pontos de deposição - focos de problemas -

melhorias das condições de insalubridade e visuais no entorno das cidades produtoras, redução da exploração de agregados naturais - com preservação das áreas de terra com potencial produtivo, instalação de nova atividade produtiva — geração de empregos, mudança cultural na cidade e região com valorização das atividades sustentáveis e fontes de novos recursos para as indústrias.

A Figura 2.4 apresenta a hierarquia da disposição de resíduos de construção e demolição, onde se pode avaliar o nível de impacto causado ao meio ambiente com a disposição destes resíduos.



**FIGURA 2.4** - Hierarquia da disposição de resíduos de construção e demolição (PENG *et al.*, 1997)

A redução da geração de resíduos se mostra como a alternativa mais eficaz para a diminuição do impacto ambiental. Esta seria também a melhor alternativa do ponto de vista econômico. A simples movimentação de materiais de uma aplicação para outra, ou seja, a reutilização, também se apresenta como bom recurso na diminuição do impacto, pois esta decisão utiliza o mínimo de processamento e energia. Depois, vem a reciclagem dos resíduos, ou seja, a transformação destes em novos produtos. No plano inferior da hierarquia encontram-se: a compostagem, que consiste basicamente na transformação da parte orgânica em húmus para o tratamento do solo; a incineração, que pode extrair energia dos materiais sem gerar

substanciais tóxicas, quando é cuidadosamente operacionalizada; e por fim o aterramento.

No caso do concreto, seu uso como agregado reciclado oferece o máximo nível de reutilização e constitui a forma mais fácil de atingir o fechamento do ciclo de vida deste material (BARRA e VAZQUEZ, 1997).

É oportuno ressaltar alguns índices do impacto causado pelas atividades do setor de construção, quando o assunto é o consumo de recursos e os danos causados ao meio ambiente. Para se ter idéia da dimensão dos problemas causados ao meio ambiente com as atividades da construção foram levantados alguns dados bastante interessantes. O setor é responsável, por exemplo, pelo consumo de 20 a 50 % dos recursos naturais extraídos (ALAVEDRA *et al.*, 1997, SIJOSTROM, 1997). O consumo dos agregados naturais varia do 1 a 8 ton/hab.ano. Além dos recursos extraídos, deve-se mencionar a geração da poluição, como emissão da poeira e gás carbônico, principalmente durante a produção do cimento (JOHN, 1998a, PENTALLA, 1997). Segundo GOLDSTEIN (1995), anualmente é produzido no mundo 1 ton/hab de concreto, apesar deste ser um produto que consome menor quantidade de energia quando comparado ao aço, ou ao plástico, sua produção utiliza cimento que é atualmente considerado como um dos processos de manufatura com maior consumo de energia. São necessários entre 11 e 15 % do cimento numa mistura típica do concreto. De acordo com SIJÖSTRÖM (2000), o setor da construção na Comunidade Européia consome aproximadamente 40 % do total de energia e é responsável por 30 % da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

ENBRI, citado por JOHN (1996), constatou em seus estudos que 4,5 % do consumo total da energia é gasto na construção civil e 84 % deste, na fase de produção de materiais. JOHN (2000) estima que o setor de construção civil brasileiro consome cerca de 210 milhões de toneladas/ano de agregados naturais somente para produção de concretos e argamassas. Outro ponto que deve ser levantado quando se fala em impacto ambiental causado pela construção civil, é a geração de resíduos sólidos, que pode ser até duas vezes maior que o volume do lixo urbano gerado (JOHN, 1998a).

## 2.10 Metodologia para estudos de reciclagem

As normas técnicas aplicáveis na construção civil são direcionadas para produtos convencionais e suas técnicas de aplicação. Os trabalhos que pesquisam novos produtos geralmente as utilizam para avaliar o seu desempenho e abordam, principalmente, as questões meramente tecnológicas, isto é, se restringem às aplicações das normas de resistência mecânica. Essa metodologia, usada em inúmeras pesquisas, está sendo questionada no meio técnico-científico. Esse questionamento baseia-se no fato de se tratar de novos produtos, que utilizam matérias-primas diferentes do convencional, estes estão sujeitos a comportamentos diferentes dos produtos convencionais, podendo requerer novas técnicas de aplicação e apresentar novos tipos de patologias.

Por serem confeccionados a partir de resíduos, estes novos produtos devem ser analisados quanto ao risco ambiental desde o manuseio do resíduo bruto, passando pelo seu tratamento, aplicação (destino final) e, finalmente, avaliações durante seu uso ao longo do tempo. É bem verdade, que devido à limitação do tempo da maioria das pesquisas que estudam as aplicações dos resíduos na construção civil, este acompanhamento mais completo não é realizado, o que não elimina a relevância de se ter este tipo de avaliação dos produtos alternativos propostos.

Além da questão ambiental, ressalta-se a necessidade da competitividade econômica do novo produto, que deve possuir desempenho melhor ou compatível com o produto similar já existente.

O primeiro trabalho no Brasil que sugere uma sistemática a ser seguida neste tipo de pesquisa foi elaborado por CINCOTTO (1988), quando foram apresentados alguns pré-requisitos necessários para trabalhar a reciclagem com garantias mínimas de competitividade. Dentre esses requisitos estão:

- i. a quantidade disponível de resíduo em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- ii. as distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;

- iii. o material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posteriormente à sua incorporação na estrutura.

Segundo PERA (1996), já é notável a necessidade de passar por várias etapas para se chegar ao produto final, quais sejam: a pesquisa básica, que deve contemplar as práticas laboratoriais; a pesquisa aplicada, que deve contemplar as metodologias de produção e controle da qualidade e gerenciamento; e por fim, uma etapa de pré-produção, isto é, uma produção em pequena escala para análise experimental do produto, que poderá passar por alguns ajustes. Seguindo este raciocínio, PERA (1996) apresentou uma proposta de metodologia para se aplicar nos dois níveis de pesquisa: pesquisa básica e pesquisa aplicada. A primeira deve apresentar alternativas de reciclagem, fazendo um estudo de caracterização e potencial de reaproveitamento do resíduo. Neste nível de pesquisa devem ser contemplados estudos tecnológicos, avaliação do risco de contaminação sanitária e ambiental do novo produto, avaliação da microestrutura e estudos de desempenho de médio prazo em diferentes condições ambientais. Na etapa seguinte, passa-se para a pesquisa aplicada, em que é imprescindível a participação da indústria geradora do resíduo, que pode aplicar no seu processo industrial meios para garantir a viabilidade técnica e econômica do novo produto. É de fundamental importância o desenvolvimento ou adaptação das normas técnicas ao novo produto. Neste tipo de pesquisa devem ser contemplados os financiamentos e a participação dos setores envolvidos para o sucesso da transferência da tecnologia para o mercado com retorno financeiro garantido. Por outro lado JOHN (2000) defende que as pesquisas de reciclagem devem ser desenvolvidas para aplicações que proporcionem melhores desempenhos técnicos, menores impactos ambientais, produtos competitivos e que possam até mesmo oferecer possíveis "nichos" de mercado aos produtos alternativos (uma vantagem a mais para competir com os similares do mercado).

Quando se pensa em reciclar resíduos, existem muitas opções de aplicações para eles. A premissa básica é o conhecimento das características físico-químicas do resíduo, para se ter uma aplicação mais satisfatória possível.

As melhores alternativas para reciclagem são as que usam resíduos que passam por pouca preparação (separação, classificação e transformação industrial), que tenham facilidade de deslocamento do seu local de origem para o local de

aplicação, que ofereçam menores riscos de lixiviação ou volatilização de possíveis fases perigosas e que resultem em um produto reciclável, capaz de competir com os similares. Se possível é interessante desenvolver um produto que tenha o mercado livre, isto é, sem concorrentes diretos. Pode-se também fazer pesquisa de mercado para verificar se ele absorve aquele produto.

De uma forma geral, os resíduos mais adequados à reciclagem são aqueles que apresentam um elevado nível de contaminação quando depositados e que têm grande geração regional e simplicidade para ser reciclado. É importante que a indústria geradora tenha interesse em participar ativamente no processo de reciclagem. Qualquer um destes itens pode justificar o investimento na reciclagem do resíduo (CINCOTTO, 1988). No caso do entulho da construção civil é importante uma política de gestão de resíduos sólidos urbanos por parte dos órgãos públicos.

O elevado nível de contaminação é considerado pela maioria dos pesquisadores como critério prioritário para se reciclar um resíduo. Portanto, é relevante priorizar nas pesquisas os resíduos com maior potencialidade de contaminação. JOHN (2000) defende que o grau de contaminação ambiental de um resíduo está diretamente relacionado com a quantidade de materiais tóxicos passíveis de lixiviação. Com base na norma da ABNT - NBR 10004, pode-se estimar o nível de contaminação do resíduo baseado na concentração de elementos perigosos. A quantidade de massa ou volume do resíduo gerado ou existente e o tempo de estocagem podem afetar também o processo de contaminação.

Para as empresas que geram, em seu processo industrial, uma grande quantidade de resíduo, a reciclagem é algo que irá trazer significativa diminuição com gastos em estocagem. Tem-se defendido que o poder público deve aumentar a fiscalização sobre as empresas que depositam seus resíduos em aterros, como algo incentivador à reciclagem (HARTLEN, 1995 *apud* JOHN, 2000). Isto já vem sendo feito em todo mundo, forçando as empresas a reduzirem os gastos com o lixo que, com criatividade, passam a ganhar dinheiro com a reciclagem.

A grande geração de resíduos numa mesma região (de forma localizada) é algo incentivador para a reciclagem, pois se garante um volume suficiente de matéria-prima por um determinado tempo que justifique o investimento no processo de reciclagem. Portanto, pode-se verificar que existe uma dependência entre o

produto com aproveitamento de resíduos recicláveis e o produto gerador desse resíduo.

Por outro lado, JOHN (2000) alerta sobre possíveis mudanças tecnológicas no processo industrial ao longo do tempo, que podem provocar alterações no volume e no tipo de resíduo gerado. Como o processo de reciclagem está diretamente relacionado a estes fatores, esse é um grande risco que os empreendimentos de reciclagem podem correr a qualquer momento. As mudanças tecnológicas no processo da construção civil, ao longo do tempo e do espaço, também provocam alterações nas características do entulho gerado.

O envolvimento da indústria geradora do resíduo nas pesquisas é de fundamental importância, pois se torna um facilitador nas aprovações dos projetos nos órgãos financiadores.

## **2.11 Durabilidade de componentes com resíduos da construção civil**

Conforme já foi discutida, a reciclagem de resíduos é uma importante alternativa para a preservação ambiental e a construção civil é um dos setores com maior potencial para absorver esses resíduos. Vários tipos deles podem ser reaproveitados na atividade de engenharia, podendo originar materiais alternativos. Para isso, é condição fundamental a avaliação do comportamento destes materiais, com resíduos incorporados, dentro dos princípios de durabilidade. Tem-se em vista que, quando se pretende trabalhar com materiais alternativos, como por exemplo, o caso dos resíduos sólidos (entulho), é muito importante a etapa de avaliação da durabilidade para verificar as possíveis incompatibilidades entre os materiais e as suas reações frente às situações normalmente encontradas na prática, ao longo da vida útil.

Na literatura pesquisada observa-se que os estudos e pesquisas sempre se concentram nas propriedades mecânicas dos materiais. A durabilidade do concreto é um assunto que somente nos últimos tempos tem ganhado ênfase e devido a sua importância já absorve grande parte da atenção dos engenheiros e pesquisadores de maneira cada vez mais crescente. Nos últimos anos, tem-se realizado diversos

estudos no sentido de se conhecer melhor algumas das propriedades dos materiais constituintes do concreto, assim como os aspectos que influenciam na durabilidade. Estes estudos buscam, cada vez mais, alcançar a qualidade para que, desse modo, sejam projetadas estruturas mais duradouras.

Todavia, é de conhecimento geral que, nenhum material é eternamente durável, a manutenção das estruturas sempre existirá, indiferente dos materiais que são constituídas. Hoje se observa uma preocupação maior com a qualidade de serviços e produtos para que resulte num menor custo de produção e de manutenção. MEHTA & MONTEIRO (1994) definem que um material atingiu o final de sua vida útil quando as suas propriedades, sob dadas condições de uso, deterioraram a tal ponto que a continuação de seu uso é considerada como insegura ou antieconômica.

A tecnologia das estruturas de concreto segue para uma maior durabilidade com a adoção de concretos com resistências mais elevadas, apresentando reduzida relação água cimento e baixa permeabilidade, controle de ações deletérias como a reação álcali-agregado, retrações hidráulica e plástica, etc. Sem dúvida alguma, a permeabilidade é a principal propriedade frente à durabilidade de concretos, sejam convencionais ou reciclados. As degradações químicas como a carbonatação, ataques por sulfatos e cloretos, etc., são proporcionais à permeabilidade do concreto.

A reação álcali-agregado tem ocasionado grandes preocupações no meio técnico, uma vez que pode comprometer a durabilidade de uma estrutura de concreto. Esta reação trata-se de uma manifestação patológica que se desenvolve em longo prazo, os principais efeitos desta reação são: fissuras, movimentações diferenciais causadas por expansões e perda de estanqueidade do concreto. Esta reação ocorre através de um processo químico onde alguns constituintes minerais como o feldspato, a calcedônia e a sílica amorfa do agregado reagem com hidróxidos alcalinos, provenientes do cimento, água de amassamento, agregados, pozolanas e agentes externos, que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto, como produto da reação forma-se um gel higroscópico expansivo (VEIGA, *et al*, 1997).

QUEBAUD *et al.* (1999) realizaram estudos em concretos com agregados reciclados e agregados naturais, substituindo 100% das duas frações (miúda e

graúda), e substituindo apenas parte das frações e mediram a permeabilidade dos concretos à água, ao ar e de superfície. E chegou a conclusão de que os concretos com agregados naturais apresentam uma permeabilidade à água que é 2 a 3 vezes inferior à permeabilidade de concretos reciclados. Assim, de acordo com os resultados obtidos pelos autores, isto se deve ao uso de agregados naturais com pouca porosidade ocasionando a diminuição de porosidade da matriz de concreto e ao menor uso de relações água/cimento. A permeabilidade de superfície foi 2 a 5 vezes inferior para os concretos convencionais. Quanto maior a proporção de areia reciclada mais permeável é o concreto. A permeabilidade de superfície dos concretos reciclados também é maior que a dos concretos convencionais.

ZORDAN (1997) mediu também a permeabilidade ao ar de concretos com agregados reciclados e concluiu que as amostras ensaiadas apresentaram valores de permeabilidade muito próximos dos resultados obtidos com o concreto de referência. Portanto, a durabilidade de concreto, seja ele convencional ou não, está diretamente relacionado com a permeabilidade do concreto, entre outras propriedades.

Com respeito às características ambientais e a avaliação de desempenho propõe-se que o novo material (bloco alternativo) considerado como vedação ou estrutural, com e sem revestimento (com e sem proteção), deve ser durável, quando exposto às condições externas típicas da região Nordeste do Brasil, portanto exposto a efeitos de chuva e sol (molhagem e secagem - quick condensation test - QCT). O material deve também resistir à exposição prolongada a umidade, típica de área de banheiro, incluindo a de águas servidas, como água com sabão e outros resíduos normalmente presentes nas habitações. A simulação dessa situação pode ser feita através de ensaios acelerados de molhagem e secagem.

O estudo da durabilidade deve ter como base uma metodologia, a qual sugere que se faça a avaliação da capacidade de uma construção, ou de suas partes, de atender as necessidades dos usuários ao longo do tempo (JOHN, 1987).

Considerando a complexidade dos mecanismos de degradação, a prolongada vida útil dos produtos da construção civil e o elevado custo das obras civis, a avaliação da durabilidade é certamente o aspecto mais importante do desenvolvimento de um novo material (JOHN, AGOPYAN & PRADO, 1997).

Para avaliação da durabilidade é possível recorrer a três metodologias: ensaios de envelhecimento acelerado, ensaios de envelhecimento natural e estudos de deterioração em uso; sendo apresentado neste trabalho apenas alguns resultados obtidos com o ensaio de envelhecimento acelerado.

Os ensaios de envelhecimento acelerado envolvem a exposição do material a elevadas concentrações do fator de degradação ou a temperaturas mais elevadas que favorecem a taxa de reação química. Como na maioria das vezes a correlação destes resultados com os de envelhecimento natural é difícil, sua maior utilidade é comparativa. Não é possível projetar um método de envelhecimento acelerado sem o conhecimento prévio e preciso dos fatores de degradação relevantes. Os ensaios de envelhecimento natural consistem em exposição de pequenos corpos de prova ao ambiente em questão. Quando se tratam de fatores climáticos o ensaio é normalmente feito por exposição com ângulo de 30° na direção norte (para o caso do hemisfério sul) (JOHN, AGOPYAN & PRADO, 1997).

Os estudos de deterioração em uso envolvem o monitoramento de uma ou mais construções em condições reais de uso. É o que produz resultados mais confiáveis desde que a amostra em análise seja considerada representativa e que se possa dispor de tempo suficiente para este fim (JOHN, 1987). Esse estudo pela necessidade de longo tempo de avaliação não será avaliado neste trabalho.

Os indicadores de degradação são as propriedades mensuráveis utilizadas para medir o avanço da queda de desempenho do produto em uso. A seleção desse indicador é etapa importante do estudo, pois deve ser de fácil mensuração e preferencialmente correlacionado com o desempenho. Após cada período de degradação deveriam ser repetidos todos os ensaios e avaliações de desempenho relativo às demais necessidades dos usuários, mas este procedimento é dispendioso e desnecessário, porque na maioria das vezes a degradação afeta apenas o desempenho relativo a algumas necessidades.

DE PAUW *et al.* (1998) realizaram um estudo da retração por secagem, substituído apenas o agregado graúdo, com as seguintes misturas de concreto: de referência utilizando como agregado natural, a pedra calcária; com agregado reciclado de concreto; com agregado reciclado de alvenaria de diferentes origens, designados por tipo 1 e tipo 2; e com agregado leve. E concluíram que: nos primeiros dias do ensaio o concreto de referência apresentou a maior deformação,

enquanto a mistura com agregado leve apresentou a menor deformação. Na maior parte do tempo, o concreto formulado com agregado de alvenaria do tipo 1 apresentou a segunda menor deformação. Passados 45 dias, a curvatura da deformação do concreto de referência tendeu a diminuir, enquanto que para as demais misturas a curvatura manteve-se inalterada; com 90 dias, a retração dos concretos com agregados de alvenaria aumentaram em relação ao concreto de referência; após um ano, os concretos com agregado de concreto e agregado de alvenaria designado por tipo 2 apresentaram maior retração que o concreto de referência. Diferentemente, o concreto com agregado de alvenaria, denominado de tipo 1 ficou na mesma ordem do concreto de referência.

SCIOTTI *et al.* (1998) em seus estudos afirmam que a carbonatação é um dos processos mais comuns que podem existir na argamassa antiga dos agregados reciclados de concreto. Estes pesquisadores deram ênfase aos estudos da interface pasta/agregado de concretos com agregado reciclado de concreto e avaliaram que os agregados reciclados são provenientes de fontes desconhecidas de material e os concretos geralmente possuem diferentes relações  $a/c$ , como existe uma relação entre o sistema de poros, a relação  $a/c$  e a carbonatação é lógico que concretos com altas relações  $a/c$  tendem a difundir mais a carbonatação. Assim para uma possível diminuição deste problema, os concretos reciclados devem passar por um processo de cura úmida, desta forma o processo de hidratação será melhor desenvolvido.

TOBORI *et al.* (1999) estudaram a retração por secagem e a resistência a ciclos de gelo/degelo em concretos convencionais, concretos com agregado graúdo reciclado e miúdo natural e concreto com 100 % de agregados reciclados, incorporando também super plastificantes a base de polietileno sulfonado e formaldeído naftaleno sulfonado. Concluíram que os concretos com agregados reciclados apresentam maior retração por secagem e menor resistência ao ciclo de gelo/degelo, e que o uso de aditivos superplastificantes pode reduzir a retração por secagem dos concretos reciclados quando comparados aos concretos reciclados sem o aditivo. Porém o uso de super plastificante não melhora em nada a resistência ao gelo/degelo dos concretos reciclados produzidos e piora os resultados quando usado no concreto convencional.

A utilização de qualquer categoria de resíduo de construção e demolição, RCD, reciclado em concreto acarreta estudos para caracterização do efeito de

contaminantes como cloretos, gesso, materiais que provocam a reação álcali-agregado e vidro, além da possibilidade da presença de asfalto. Em geral, com os conhecimentos atuais o uso de agregados de concreto é adequado para qualquer aplicação de concreto com 20% de substituição do agregado natural pelo agregado de concreto. Para substituição de percentuais superiores a 20% há que se levar em conta às limitações da fluência, a durabilidade e em alguns casos a retração do concreto novo (VAZQUEZ *et al.*, 2000).

LEVY e HELENE (2000a) realizaram estudos de durabilidade em concretos com 50% de agregados graúdos reciclados de concreto, concretos com 50 % de agregados graúdos reciclados de alvenaria e concretos de referência, sendo realizadas três misturas para cada família de concreto nas proporções 1:3, 1:4,5 e 1:6 com diferentes relações a/c. Foram avaliadas a carbonatação, a resistividade, as absorções por imersão e o índice de vazios dos concretos. Os resultados mostraram que a taxa de absorção medida e o índice de vazios tendem a ser maiores para a família de concretos que incorpora agregados graúdos reciclados de alvenaria. Com relação à frente de carbonatação, os concretos submetidos a uma concentração de 12 % de CO<sub>2</sub> durante duas semanas, apresentaram profundidades de carbonatação muito semelhantes, o que significa dizer que não houve influência no tipo de agregado utilizado, nesta propriedade. A resistência do concreto utilizando agregado reciclado foi semelhante a dos concretos de referência, com exceção do traço, 1:3, no qual os concretos com agregados reciclados apresentaram menor resistência que o concreto de referência. Os autores concluíram que os concretos que utilizam 50 % de agregados graúdos de concreto são tão duráveis quanto os concretos de referência. Assim como acontece com as propriedades mecânicas, os aspectos relativos à durabilidade dos concretos reciclados, estudados em menor escala, também apresentam resultados contrastantes. Atribui-se a este fato a falta de uma metodologia adequada e uniforme para o estudo do comportamento dos agregados reciclados quando incorporados ao concreto.

Dando continuidade aos estudos sobre a durabilidade de concretos produzidos com resíduos minerais provenientes de concretos e alvenaria, LEVY & HELENE (2000b) obtiveram resultados que indicam não haver diferença na resistência mecânica quando os agregados naturais foram substituídos por reciclados de concreto e uma redução de 20 a 30 % quando foram utilizados

agregados de alvenaria. Quanto a absorção por imersão e o índice de vazios, as mesmas tiveram grande influência do agregado utilizado, principalmente para os agregados de alvenaria. Para os demais resultados avaliados no estudo: carbonatação e resistividade, não foram verificadas grandes influências do tipo de agregado utilizado. Nas condições em que foram realizados os experimento, os agregados reciclados de concreto não apresentaram restrições em termos de resistência mecânica, nem da durabilidade, fato que não foi verificado quando se utilizou agregado reciclado de alvenaria.

O estudo realizado por LEVY (2001), apresenta a durabilidade do concreto fabricado em laboratório com agregado reciclado e concreto produzido com agregado reciclado de bloco cerâmico com função estrutural. Os agregados reciclados utilizados foram quatro, dois graúdos e dois miúdos, provenientes de alvenaria e de concreto respectivamente. Para produção dos concretos ensaiados, utilizou-se três diferentes teores para cada agregado: 20%; 50% e 100% em substituição aos agregados naturais. Os resultados obtidos foram comparados aos resultados obtidos para uma família de concreto produzida com agregados exclusivamente naturais, totalizando assim, 13 diferentes famílias. Com os resultados obtidos o autor construiu diagramas de dosagem que possibilita a adoção de modelos matemáticos para uma análise criteriosa de diferentes classes de concreto com 20, 30, e 40 MPa sem que houvesse a necessidade de moldá-los em laboratório. O teor crescente de agregados reciclados resultou num comportamento distinto em função da granulometria e da qualidade, do agregado utilizado. A substituição de 50% dos agregados miúdos naturais, por reciclados de alvenaria miúdos, conduziu algumas das propriedades analisadas a um valor ótimo, todavia, quando foram substituídos agregados naturais por outros agregados reciclados, constatou-se uma tendência ora crescente ou ora decrescente da propriedade analisada. Assim, através dos resultados obtidos pode-se afirmar que os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram comportamento equivalente ou superior ao do concreto de referência nos ensaios de carbonatação. Comparou-se a relação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade obtida por alguns modelos matemáticos e chegou-se a conclusão que o modelo utilizado pela NBR de 1978, conduz a valores superestimados. Propõe-se um modelo alternativo para a

determinação da relação entre módulo e resistência à compressão para concretos preparados com agregados reciclados e naturais.

Para tomar o ensaio de resistência mecânica do compósito como indicador de degradação, o resultado medido a qualquer momento deve levar em conta o efeito conjunto da evolução positiva da resistência mecânica produzida pela hidratação da pasta de cimento Portland presente, menos a perda de resistência provocada pela degradação. Esta sobreposição de efeitos pode levar o pesquisador a subestimar os efeitos do processo de degradação no curto prazo. A comparação entre resultados de amostras protegidas e não protegidas dos principais fatores de degradação é um procedimento que pode ser utilizado, para minimizar este problema. Esses cuidados foram adotados no desenvolvimento da presente pesquisa.

Neste trabalho o estudo da durabilidade considera a presença de entulho na dosagem de concretos que serão comparados com o concreto convencional (sem entulho), utilizando o método de envelhecimento acelerado modificado (ARAÚJO, NEVES e FERREIRA, 1995); a partir do ensaio de durabilidade por molhagem e secagem de solo-cimento segundo a norma da ABNT NBR 13554. O procedimento de fazer a comparação entre resultados de amostras protegidas e não protegidas do fator de degradação (molhagem/secagem) foi adotado como forma de minimizar o problema de subestimar os efeitos do processo de degradação no curto prazo.

Diante do exposto anteriormente, fica evidente que o estudo dos resíduos de concreto para a reciclagem é de grande importância porque após a britagem, ele se torna o agregado miúdo e o agregado graúdo do novo produto que possui tanto as propriedades desejáveis como as propriedades indesejáveis. O agregado de concreto reciclado pode ter sofrido a reação álcali-agregado e pode também apresentar fissuras, perda de massa e um processo de deterioração adiantado dependendo do tipo de ação externa que tenha sofrido ao longo do tempo. O processo de ataque que o resíduo de concreto sofre libera agentes químicos que interagem com o meio ambiente.

Dentre os vários materiais, descartados pelas obras de construção civil e de infra-estrutura, os rejeitos de concreto constituem a fração mais importante pela sua quantidade, características químicas, físicas e potencialidade de reciclagem. O agregado de concreto é constituído de agregado graúdo, agregado miúdo e pasta de cimento. Pela sua constituição observa-se que o agregado de concreto é rico em

rejeitos minerais e se torna matéria-prima de grande importância para a produção de materiais reciclados de aplicação nobre. O material produzido com agregados de concreto reciclado se apresenta como uma alternativa promissora para a construção civil principalmente na produção de concreto sem e com função estrutural. Muitas obras em concreto são expostas ao meio ambiente em regiões urbanas e/ou industrializadas o que acarreta uma maior preocupação com a sua durabilidade. As propriedades como a resistência mecânica, absorção de água e resistência ao ataque de chuva ácida, podem ser avaliadas para que se possa prever a durabilidade e adotar práticas que protejam o novo produto para garantir o seu emprego ao longo do tempo.

É importante citar que a maioria das pesquisas aborda a produção de concreto novo com emprego de percentual de agregados reciclados e poucas mencionam os ensaios de durabilidade. Com base nesse aspecto, assumem grande importância a avaliação da durabilidade de compósitos com aproveitamento de entulho da construção civil, devido a eventual presença de elementos minerais ou orgânicos, que afetam o desempenho do concreto de cimento Portland. A avaliação da durabilidade deve iniciar com a caracterização do ambiente e dos mecanismos de degradação, que são relevantes em cada aplicação específica.

## **2.12 Concreto de cimento portland**

O concreto é um material feito pela mistura de cimento Portland, areia, pedra britada e água. O seu emprego na construção civil é muito grande por ser de fácil moldagem, relativamente barato, possuir boa resistência à compressão e boa durabilidade quando corretamente dosado e protegido dos agentes agressivos. O concreto tem um tempo de vida útil e após isto envelhece, ou se deteriora tornando-se resíduo de construção de origem mineral.

### *2.12.1 Cimento Portland comum*

Em 1824 Joseph Aspdin, um construtor de Leeds, patenteou um aglomerante fabricado pela mistura de calcário finamente moído e argila. O nome cimento

Portland é devido à semelhança de cor e de qualidade do cimento hidratado com a pedra de Portland - um calcário extraído em Dorset (NEVILLE, 1981).

A calcinação de mistura convenientemente proporcionada de calcário, argila e eventualmente, minério de ferro, finamente moída, homogeneizada e submetida a uma temperatura de 1450 °C, propicia a combinação de óxidos ácidos com óxidos básicos e no início da fusão são formados os silicatos e aluminatos de cálcio hidráulicos. Este produto, que ao sair do forno sofre um resfriamento brusco, é chamado de clínquer Portland ou simplesmente clínquer (TEZUKA, 1988).

A análise química permite determinar a composição do cimento Portland, dosando o teor de seus principais óxidos que são: CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> e os chamados óxidos secundários como MgO, TiO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O, que aparecem em pequenas quantidades. Dos óxidos secundários dois são de interesse: os óxidos de sódio e potássio, conhecidos como álcalis. Os álcalis reagem com alguns minerais silicosos como opala, calcedônia, cristobalita e tridimita; zeolita fenlandita; formas criptocristalinas de riolitos, dacitos, andesitos e seus tufos; e certos filitos. Estas reações causam deterioração no concreto como resultado da reação álcali-agregado (BUREAU OF RECLAMATION, 1975; PETRUCCI, 1998).

O teor de óxidos do Cimento Portland Simples (CPS) está apresentado na Tabela 2.10 onde o percentual de CaO é predominante.

**TABELA 2.10 - Teores de óxidos do cimento Portland simples (CPS)**

Nomenclatura (*)	Óxido	Teor (%)
C	CaO	63
S	SiO <sub>2</sub>	20
A	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
F	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
M	MgO	1,5
S	SO <sub>3</sub>	2
K+S	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	1
PF	Perda ao Fogo	1
RI	Resíduo Insolúvel	1

Fonte: NEVILLE (1997)

(\*) Nomenclatura empregada na química do cimento Portland

Dos componentes principais do cimento Portland, o CaO é o componente essencial, não devendo apresentar mais de 1% de cal livre para não prejudicar a estabilidade das argamassas e concretos. Quanto ao SiO<sub>2</sub>, é de sua combinação

com a cal, que resulta os principais compostos do cimento, o seu teor é da ordem de 17 a 25%. O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresenta um teor de 3 a 8%, os compostos formados são responsáveis pela pega do cimento e reduz a resistência do cimento aos sulfatos. No entanto, não se pode prescindir deste componente, pois ele age como fundente, reduzindo a temperatura de calcinação. O  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  age como fundente, porém com maior intensidade do que o aluminato. O seu teor é de 0,5% a 6%. O  $\text{SO}_3$  tem origem do sulfato de cálcio, adicionado ao clínquer, o seu teor está limitado em 3,0%. Teores superiores prejudica a estabilidade das argamassas e concretos, devido à formação de sulfualuminatos. Proveniente do carbonato de magnésio, o  $\text{MgO}$  presente no calcário atua como produto expansivo. Seu teor é limitado em 6,5%. Desenvolvendo um papel fundente na calcinação, o  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  agem como acelerador de pega. O seu teor é da ordem de 0,5 a 13%. A perda ao fogo se caracteriza pela perda de água e gás carbônico, quando se submete o cimento a uma temperatura de  $1000^\circ\text{C}$ . A perda ao fogo traduz a hidratação precoce do cimento. O seu valor é limitado em 4,0%. O teor de resíduos insolúveis esta limitada na ordem de 1%, este parâmetro mede o teor de sílica não combinada. Valores superiores ao limite especificado, mostra a ineficiência da cozedura.

A norma Britânica BS 12:1991 limita o resíduo insolúvel a 1,5% da massa do cimento. A Norma Européia ENV 197 - 1:1992, que permite 5% de filler, limita o resíduo insolúvel a 5% da massa do cimento (NEVILLE, 1997).

Para os cimentos brasileiros, com exceção dos cimentos pozolânicos, o resíduo insolúvel é fixado em 1,0% ou 1,5% e 16% , no máximo, para os cimentos Portland compostos pozolânicos (NBR 5732; NBR 5733; NBR 5737).

A perda ao fogo mostra a extensão da carbonatação e da hidratação da cal livre e do óxido de magnésio livre devido à exposição do cimento ao ar. O máximo de perda ao fogo admitido pela BS 12:1991 e pela ASTM C 150-94 é de 30%, (NEVILLE, 1997). No Brasil a perda ao fogo para os cimentos Portland é de, no máximo, 4% (NBR 5732).

O cimento Portland simples é formado por quatro fases principais como está indicado na Tabela 2.11. O silicato tricálcico,  $\text{C}_3\text{S}$ , e o silicato dicálcico,  $\text{C}_2\text{S}$ , são os compostos que mais contribuem para a resistência dos cimentos (TAYLOR, 1990) e se formam a temperaturas mais elevadas. As quatro fases em suas formas puras contribuem para a evolução da resistência do cimento até 360 dias na seguinte

ordem crescente:  $C_4AF$  (5 MPa),  $C_3A$  (8 MPa),  $C_2S$  (71 MPa) e  $C_3S$  (72 MPa) (BOGUE, 1965 *apud* NEVILLE; 1997).

Após a calcinação da matéria-prima, para formação dos compostos do cimento Portland, não há o consumo total de óxido de cálcio, havendo ainda uma parte livre na composição do cimento responsável por reações indesejáveis aos concretos e argamassas.

**TABELA 2.11** - Compostos do cimento Portland simples

Fase	Composição (%)	Fórmula	Nomenclatura
Alita	50-70	$Ca_3SiO_5$	$C_3S$
Belita	15-30	$Ca_2SiO_4$	$C_2S$
Celita	5-10	$Ca_3Al_2O_6$	$C_3A$
Ferro Aluminado Tetracalcico	5-15	$Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$	$C_4AF$

Fonte: TAYLOR, 1990.

### 2.12.2 Hidratação do Cimento Portland Simples

O cimento Portland só adquire propriedades aglomerantes quando é misturado com a água, visto que somente a partir da reação de hidratação são gerados produtos que possuem características de pega e endurecimento. Por isso, é importante o conhecimento das substâncias formadas, bem como da estrutura resultante neste processo ao longo do tempo.

A hidratação traduz o efeito de reações químicas muito complexas, quando um cimento anidro é colocado em contato com a água. Não ocorre simplesmente a transformação dos compostos anidros em seus respectivos compostos hidratados, pois suas fases estão intimamente misturadas.

O cimento Portland simples, que é constituído pelos compostos presentes na forma sólida: alita ( $C_3S$ ), belita ( $C_2S$ ), aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) e ferroaluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ), produz uma pasta formada pela mistura de água e cimento Portland que se transforma em agente ligante através das reações que ocorrem pela hidratação das partículas de clínquer. Estas reações na microestrutura da pasta de cimento Portland formam várias fases que não estão uniformemente distribuídas em

tamanho e morfologia. As principais fases resultantes da hidratação são o hidróxido de cálcio hidratado e os silicatos de cálcio hidratados.

A reação de hidratação dos compostos pode ser classificada de acordo com sua velocidade de reação  $C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$ . Quando o cimento entra em contato com a água, origina-se uma série de cristais sub-microscópicos e a formação de um gel. À medida que a hidratação prossegue, com o decorrer do tempo, formam-se novos cristais e mais gel, com poros entre eles que por sua vez são preenchidas por água. Neste caso a água proveniente do exterior origina um fluxo de água no interior da pasta, através dos poros capilares (BASÍLIO, 1971; LANGE, 1998).

A hidratação do cimento ocorre pela simples presença da água que passa a conter em solução, ou em suspensão, CaO proveniente de cal não clinquerizada, denominada de "cal livre" e íon sulfato proveniente da dissolução do gesso (BASÍLIO 1972). Somente o aluminato tricálcico é que não libera hidróxido de cálcio (TAYLOR, 1964).

Nos primeiros minutos após a adição de água há a formação de um gel rico em silício e alumínio, mais também ocorre a liberação de íons de  $Ca^{2+}$  e de  $SO_4^{2-}$ . Após cerca de 10 minutos, à adição da água, podem ser detectados na fase líquida íons  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $OH^-$ . Nesta fase as taxas disponíveis de íons na solução ainda são pequenas e a pasta de cimento é trabalhável até cerca de 45 minutos, quando é formado o hidróxido de cálcio, que cristaliza em escamas hexagonais (TAYLOR, 1986).

O silicato tricálcico em presença da água produz o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e o hidróxido de cálcio, também chamado de portlandita ( $Ca(OH)_2$ ), que é um gel pouco cristalino e de estequiometria variável (DOUBLE et al., 1978; DOUBLE, 1983; SCRIVENER, 1992; LANGE, 1998).

O gesso existente no cimento e que aparece no aluminato é introduzido durante a fabricação do clínquer, para regular o tempo de pega em porcentagens não superiores a 5% ou 6%, no máximo (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Desta maneira a reação continua formando mais etringita até o consumo completo do gesso. É nessa etapa da reação que o excesso de  $C_4A.H_{13}$ , reage com o  $CaSO_4$ , para formar o monosulfoaluminato de cálcio ou monosulfato.

Os principais produtos formados durante a hidratação do cimento são o hidróxido de cálcio,  $(Ca(OH)_2)$ , e os silicatos de cálcio hidratados, C-S-H, que é um gel cristalino e de estequiometria variável. Os silicatos de cálcio hidratados, em geral, são poucos cristalinos e formam um sólido poroso que apresenta características de um gel rígido. A hidratação do  $C_3S$  produz cerca de 61% de  $C_3S_2H_3$  e 39% de hidróxido de cálcio, enquanto a hidratação de  $C_2S$  produz 82% de  $C_3S_2H_3$  e 18% de hidróxido de cálcio. Assim, a durabilidade de uma pasta de cimento endurecida, submetida à ação de águas ácidas e sulfatada, é reduzida devido à presença de hidróxido de cálcio.

O C-S-H e o HC são os principais produtos de hidratação da pasta de cimento Portland simples que, com os agregados, formam o concreto. Evidentemente, que um concreto não protegido contra agentes agressivos sofre deterioração que compromete a peça estrutural através da corrosão do aço, pois em presença de umidade e oxigênio, que têm acesso pelos poros abertos no concreto, surge uma diferença de potencial que segundo CASCUDO & REPETTE (1995) é essencial ao processo porque da diferença de potencial (ddp) depende a formação da pilha eletroquímica. Para configurar uma pilha há necessidade de um ânodo, um cátodo, um condutor metálico, que é a própria armadura, além do eletrólito.

Portanto, os poluentes lançados na atmosfera têm grande influência na deterioração das argamassas produzidas com cimento Portland, do concreto simples, do concreto armado e do concreto protendido das estruturas, principalmente os que não são protegidos por revestimentos orgânicos como resinas, ou inorgânicos como as argamassas à base de aglomerantes aéreos ou hidráulicos.

Os resíduos de concreto lançados em locais de descarte estão mais sujeitos às ações de agentes agressivos porque já passaram por processos mecânicos e ficam sujeitos às intempéries. As substâncias lixiviadas dos resíduos de concreto são carregadas para o solo e para os cursos d'água. O óxido de cálcio livre do cimento e presente no concreto na forma de hidróxido de cálcio é o principal produto a ser lixiviado e que reage com o  $CO_2$  presente na atmosfera ou com o  $CO_2$  presente nas águas que entram em contato com concreto produzindo novos compostos, como o bicarbonato de cálcio e o carbonato de cálcio.

Segundo MELO (2000), as características das quatro fases sólidas principais, geralmente presentes na pasta de cimento Portland, são:

- i. silicato de cálcio hidratado (C-S-H) ou gel de tobermorita – 50% a 60%, varia de fibras pouco cristalinas a um reticulado cristalino;

A resistência mecânica do material é principalmente atribuída a forças de Van der Waals, devido à estrutura em camadas com uma área específica elevada, com o tamanho dos poros do gel (distância sólido-sólido) ao redor de 18Å (MEHTA & MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1982; SCRIVENER, 1988, TAYLOR, 1992).

- ii. hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , também denominado de portlandita - 20% a 25%, se apresenta em forma de cristais grandes sob forma de prisma hexagonais distintos e possui efeito desfavorável à resistência química;

A presença de uma quantidade considerável de  $\text{Ca(OH)}_2$ , que tem maior solubilidade do que C-S-H, no cimento Portland hidratado tem efeito desfavorável sobre a resistência química a soluções ácidas. A morfologia é afetada pelo espaço disponível, temperatura de hidratação e por impurezas presentes. O cristal de CH é o único composto da pasta que ocorre numa forma relativamente pura, com pequena quantidade de íons incorporados à sua estrutura. Nas primeiras idades os CH são facilmente encontrados em grandes vazios presentes na pasta de cimento. É menor o potencial de contribuição para resistência mecânica, devido às forças de Van der Waals, consequência de uma área específica muito menor (MEHTA & MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1982; SCRIVENER, 1988; TAYLOR, 1992).

- iii. sulfoaluminato de cálcio – 15% a 20%, favorece a formação da etringita nas primeiras idades que se transforma em monossulfato hidratado, sendo sua presença desfavorável à resistência química a soluções sulfatadas;

Os sulfoaluminatos de cálcio hidratados ocupam de 15% a 20% do volume de sólidos na pasta endurecida, tendo um papel menor na relação estrutura-propriedade. Nas primeiras idades é favorecida a formação da etringita (cristais prismáticos aciculares) que se transforma em monossulfato hidratado (cristaliza em placas hexagonais), sendo sua presença desfavorável à resistência química a soluções sulfatadas (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

- iv. grãos de clínquer não hidratado – podem ser encontrados mesmo após longo período de hidratação.

Dependendo da distribuição do tamanho das partículas de cimento anidro e do grau de hidratação, alguns grãos de clínquer não hidratado podem ser encontrados na microestrutura de pastas de cimento hidratado, mesmo após longo período de hidratação.

As partículas anidras de cimento têm tendência de se atraírem e formarem flocos, os quais aprisionam grande quantidade da água de mistura. Obviamente, as variações locais na relação água-cimento são as principais fontes de evolução da estrutura porosa e heterogênea (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Portanto, a pasta de cimento Portland contém diferentes tipos de vazios, que têm grande influência na permeabilidade, resistência mecânica, etc.

Como o cimento Portland é composto de uma mistura heterogênea de vários compostos, é importante ressaltar que o processo de hidratação consiste na ocorrência simultânea das várias reações de cada composto do clínquer, em velocidades diferentes, havendo interferências de uns sobre os outros. Vale lembrar que o sulfato de cálcio possui papel relevante nas reações iniciais de hidratação e que a velocidade é também controlada pela concentração e reatividade dos compostos do cimento, bem como pela temperatura.

Na literatura é unânime a idéia de que o aumento da temperatura acelera as reações iniciais de hidratação do cimento, embora o grau de hidratação e o desenvolvimento de resistência mecânica, em geral, sejam reduzidos nas idades mais avançadas. A temperatura influencia a cinética da hidratação, por provocar mudanças na solubilidade dos componentes do cimento. Essa sensibilidade à temperatura é maior quando a reação é controlada por processo químico, mais precisamente no período entre o início e fim de pega. Isto tem sido comprovado por estudos de vários pesquisadores (CAMARINI, 1995; GARTNER & GAIDIS, 1989; JAWED *et al.*, 1983; SCRIVENER, 1988; TAYLOR, 1992), que demonstram comparativamente a influência da temperatura em várias etapas de hidratação.

## 2.13 Identificação de compostos na pasta de cimento hidratado

A identificação dos compostos presentes na pasta de cimento Portland hidratado pode ser acompanhada pelas técnicas de difração de raios-X (DRX) e de análise térmica diferencial (ATD). O uso da análise termogravimétrica (TG) permite identificar e quantificar, com bastante confiança, os fenômenos ocorridos durante os ensaios.

A técnica de difração de raios-X permite investigar a estrutura cristalina e identificar os componentes mineralógicos de um determinado material. Os compostos cristalinos, semicristalinos e amorfos têm sua identificação diferenciada pela intensidade dos picos (ordenada da figura) apresentados nos difratogramas. As substâncias cristalinas apresentam picos acentuados, embora quando, mal cristalizadas não sejam bem definidas. Segundo MELO (2000), nos difratogramas é possível observar que, enquanto as raias correspondentes às fases anidras tendem a reduzir, há o surgimento e crescimento das raias referentes aos compostos hidratados, sendo que este balanço evolui com o passar do tempo. A velocidade de hidratação das fases presentes no cimento Portland são variáveis, sendo reconhecidamente mais rápidas a alita e o aluminato.

A análise térmica abrange um grupo de técnicas, através das quais uma propriedade física de uma substância e/ou de seus produtos de reação é medido em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a substância é submetida a uma programação controlada de variação de temperatura.

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) são essencialmente úteis em processos de produção de blocos de concreto para indicar as faixas de temperaturas em que ocorrem transformações endotérmicas e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem as perdas de massas. Nos aglomerantes, a importância das análises térmicas deve-se à possibilidade de quantificar o grau de hidratação e acompanhar a evolução da hidratação ou da carbonatação, de identificar e quantificar as substâncias constituintes, as impurezas ou os adulterantes e também de auxiliar no controle dos aglomerantes (MELO, 2000).

A Tabela 12 apresenta dados da literatura para a interpretação da análise térmica diferencial (ATD), de amostras com pasta de cimento Portland hidratada à

temperatura ambiente. A pré-identificação da substância que reage (perda de material volátil) e a correspondente temperatura em que a reação ocorre são importantes para a interpretação dos resultados obtidos neste tipo de ensaio (CAMARINI, BATTAGIN & CINCOTTO, 1996 *apud* MELO, 2000).

**TABELA 2.12** - Temperaturas de referência (ATD) para a identificação dos fenômenos correspondentes

Substância que reage (perda de material volátil)	Temperatura de volatilização (°C)
Silicato de Cálcio Hidratado	115 a 125
Trissulfoaluminato de cálcio (etringita)	135 a 140
Monossulfato aluminato de cálcio	185 a 200
Hidróxido de Cálcio	530 a 550

Fonte: (CAMARINI, BATTAGIN & CINCOTO, 1996).

Na termogravimetria a amostra é aquecida num ambiente em que a temperatura varia de uma maneira pré-determinada, preferencialmente a uma razão linear e visa detectar a variação de materiais voláteis que são perdidos no processo de aquecimento. As curvas típicas fornecem informações sobre a estabilidade térmica, sobre a composição da amostra inicial e de qualquer produto intermediário que se formou, bem como sobre a composição do resíduo.

Os cálculos de perda de massa, a partir dos resultados da ATG, consideram algumas faixas de temperatura, conforme se apresenta na Tabela 2.13, correspondente principalmente à perda de massa, devido à evaporação de água livre e de água combinada (água de cristalização entendida como água não evaporável) e liberação de CO<sub>2</sub>.

**TABELA 2.13** - Temperaturas de referência (ATG) para quantificação dos fenômenos correspondentes.

Variação em função da perda de massa	Temperatura (°C)
Água livre	20 a 80
Água combinada dos produtos hidratados	80 a 440
Água do Ca(OH) <sub>2</sub>	440 a 500
CO <sub>2</sub> referente principalmente a carbonatação da Portlandita	500 a 900

Fonte: (CAMARINI, BATTAGIN & CINCOTTO, 1996).

## 2.14 Agregados

Até pouco tempo, os agregados eram considerados apenas como material inerte e de enchimento, distribuídos pelo meio da pasta de cimento. Mas hoje, se tem a inversão dessa visão, considerando o agregado não só do ponto de vista econômico, mas também da durabilidade e desempenho estrutural. Os agregados na realidade não são materiais totalmente inertes, e suas propriedades, físicas e químicas, têm muita influência sobre suas largas aplicações (NEVILLE, 1997).

Assim, entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha (PETRUCCI, 1998).

### 2.14.1 Areia e cascalho

Os agregados são formados por materiais detríticos resultantes da decomposição de rochas que sofreram processo de intemperismo e que se acumulam em depósitos sedimentares pela ação de agentes transportadores naturais. Como areia e cascalho constituem materiais detríticos, são muito resistentes às intempéries. Geralmente são constituídos de grânulos de quartzo chamados simplesmente de areias e fragmentos de quartzo, arenitos silicificados e de quartzitos denominados de cascalhos. Os agregados empregados na confecção de concreto estão divididos em dois grupos: a) os agregados miúdos que são as areias; b) os agregados graúdos que são os pedregulhos e as pedras britadas.

### 2.14.2 Agregados miúdos

Entende-se por agregado miúdo normal a areia natural quartzosa ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanho de partículas tais que no máximo 15% ficam retidos na peneira de 4,8 mm (PETRUCCI, 1998).

Como a areia se constitui de material detrítico tem boa resistência às intempéries. Na construção civil sua aplicação é feita em função do tamanho dos

grãos, da distribuição granulométrica e das impurezas como torrões de argila, impurezas orgânicas e materiais pulverulentos em percentuais limitados pelas normas brasileiras. As areias com teores de argila com limites previstos pelas normas, são empregados na fabricação de concretos, já as areias finas com teores mais elevados de argila são empregadas em argamassas de assentamento de tijolos e revestimento de paredes. As areias empregadas em concreto não podem conter grande quantidade de feldspato, de calcedônia e de sílica amorfa, pois estes minerais reagem com os álcalis do cimento provocando alterações nas propriedades do concreto.

#### *2.14.3 Agregados graúdos*

Agregado graúdo é o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis, com um máximo de 15% passando na peneira de 4,8 mm. O agregado graúdo pode ser de origem natural, seixo ou pedregulho, ou de origem artificial pela trituração mecânica de rochas, pedra britada ou cascalho. A pedra britada no Brasil é obtida principalmente pela trituração mecânica de rochas de granito, basalto e gnisse. Admite-se por motivos econômicos de emprego, britas provenientes de outras rochas, como: diorito, gabro, diabásio, calcário, quartzito e arenito (PETRUCCI, 1998), mas no Brasil, dado o uso preponderante de brita, por questões de resistência mecânica e durabilidade, emprega-se, na maioria das estruturas, concreto produzido com pedra britada obtida do granito, basalto e gnisse.

#### *2.14.4 Agregados reciclados*

Os agregados reciclados apresentam características distintas às dos agregados naturais. Quando o entulho é triturado, uma certa quantidade de argamassa fica colada aos agregados naturais. Esta camada de argamassa tem uma influência importante sobre comportamento dos agregados no interior do concreto de cimento Portland, pois ela induz a uma porosidade suplementar. A quantidade de argamassa que fica colada aos agregados naturais depende do tipo de britador utilizado para a reciclagem (QUEBAUD & BUYLE-BODIN, 1999). Quase

sempre há também a presença de elementos minerais ou orgânicos, que são indesejáveis na composição do concreto de cimento Portland.

De uma forma geral, os agregados reciclados, são compostos por materiais minerais inertes como argamassas, concretos, componentes de alvenaria e pedras britadas providas de concreto, onde as argamassas e concretos são predominantes na composição. Há outros materiais como, vidros, plásticos, metais, asfalto e matéria orgânica que também compõe os agregados reciclados, porém em frações extremamente pequenas e que são indesejáveis, pois reduzem as potencialidades dos agregados.

Segundo ÂNGULO (2000), a variabilidade dos agregados reciclados difere da apresentada pelo entulho, onde as frações antes e após processamento dos resíduos apresentam diferentes composições. Para o autor, a caracterização em agregados é mais prática, devido às reduzidas dimensões das partículas, o que facilita o manuseio.

Atribuí-se à presença dos materiais cerâmicos na composição do agregado, em particular nos finos, a atividade pozolânica constatada nos materiais confeccionados com reciclados (LEITE, 2001; LEVY, 1997; LIMA, 1999).

A granulometria do agregado reciclado depende do tipo de resíduo processado, das características dos britadores e do sistema de peneiramento empregados na usina. Em geral apresentam curvas granulométricas características às dos agregados convencionais, se enquadrando assim nas exigências da ABNT. Porém, a quantidade de material fino gerado, tanto na fração graúda quanto na miúda confere ao material uma granulometria mais contínua, essa característica pode conferir diferentes desempenhos para variadas aplicações. Em argamassas, o alto teor de fino pode provocar fissuras (MIRANDA, 2000) e em concreto pode apresentar bom desempenho, pelo rearranjo entre as partículas do agregado e suas superfícies (ZORDAN, 1997).

A absorção dos agregados de RCD pode variar em função da natureza do material e da faixa granulométrica. Observa-se também que a densidade influi na absorção, quanto maior a densidade menor a absorção (ÂNGULO, 2000); isto é explicado pela porosidade do material.

Além das substâncias deletérias comuns aos agregados naturais, o uso dos reciclados deve-se ater também aos materiais contaminantes ou impurezas

presentes no entulho que, pela dificuldade de remoção antes e após a britagem, se encontram presentes nos agregados. Esses materiais produzem efeitos negativos aos concretos e argamassas, não só às propriedades mecânicas, mas também à durabilidade.

As características dos agregados reciclados dependem: do entulho recepcionado nas instalações de reciclagem e dos aparelhos utilizados para a reciclagem, tais como: tipo de britadores, dispositivos para a extração de impurezas, etc. Assim, para realizar um estudo sobre as características de determinados materiais temos que nos deter em uma dada produção de entulho. A tecnologia utilizada na reciclagem é bem próxima à utilizada na britagem de rochas. Devido à heterogeneidade do entulho, é necessário adaptar a este sistema clássico de britagem alguns dispositivos complementares. Assim, ao se utilizar os agregados reciclados é necessário considerar as particularidades dos resíduos usados na sua produção, como também levar em consideração as diferenças com relação aos agregados convencionais que são: maior absorção de água dos grãos; heterogeneidade na composição e menor resistência mecânica dos grãos.

## **2.15 Atividade pozolânica do agregado reciclado**

As pozolanas são materiais naturais ou artificiais que contém sílica em forma reativa. São materiais silicosos ou silico-aluminosos que tem pouca qualidade cimentícia intrínseca, mas finamente pulverizadas e na presença de umidade combinam com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento à temperatura normal formando compostos estáveis à água e com propriedades aglomerantes. Os materiais pozolânicos mais comuns são: a pozolana original (pumicita), as calcedônias e as opalas, terras diatomáceas calcinadas e as cinzas volantes. A principal vantagem na adição de pozolanas ao cimento comum reside na sua hidratação lenta e, portanto, com baixo desprendimento de calor, fator importante em algumas obras de concreto. Outra vantagem em seu emprego é o aumento da resistência do concreto aos sulfatos e outros agentes agressivos. A reação pozolânica deixa menos hidróxido de cálcio para ser lixiviado, reduzindo também a permeabilidade do concreto. Com a substituição de parte do cimento por pozolana, os concretos passam a ter menores resistências iniciais, só

desaparecendo essa desvantagem após cerca de 3 meses, a partir de onde suas resistências são cerca de 10 a 15% superiores aos dos concretos comuns (MEHTA & MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1995; OLIVEIRA, 1995; COUTINHO, 1997).

Existem duas teorias sobre a reatividade dos materiais cerâmicos em forma de blocos e tijolos. Uma relaciona as propriedades pozolânicas dos tijolos com uma fase vítrea solúvel que reage com o  $\text{Ca(OH)}_2$ , formando C-S-H. Esta fase vítrea só pode ser encontrada em tijolos cerâmicos queimados a temperaturas acima de 950 °C. A segunda diz que apenas os tijolos queimados a baixas temperaturas é que podem apresentar esta reatividade. Esses materiais possuem metacaulinita altamente reativa ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) numa forma instável (WINKLER e MUELLER, 1998).

Em face da possibilidade de reatividade pozolânica dos materiais cerâmicos, acredita-se que agregados reciclados com altos teores deste material na sua composição possam contribuir para a melhoria da resistência à compressão de concretos ou argamassas recicladas, principalmente em idades mais avançadas (LIMA, 1999). LEVY (1997) afirma que as argilas calcinadas em temperaturas não muitas elevadas (os tijolos e blocos cerâmicos de 2ª linha) representam os materiais cerâmicos com maior grau de pozolanicidade.

Em seus estudos LEITE (2001), afirma que o material cerâmico possui sim uma certa atividade pozolânica, e, ainda, que há uma probabilidade de que isso tenha contribuído com o pequeno incremento de resistência apresentado pelos traços de concreto com altos teores de agregado miúdo reciclado. Todavia, não é possível garantir que tenha sido esta a maior ou a única razão para este incremento de resistência. Seria necessário um estudo mais aprofundado das características físicas e químicas do material cerâmico, bem como seria interessante realizar misturas de concreto com adição somente deste material para avaliar o incremento de resistência, principalmente em idades mais avançadas, como 180 dias ou mais e ainda realizar uma avaliação do consumo de hidróxido de cálcio das misturas ao longo do tempo.

Na literatura pesquisada, os resultados encontrados não podem ser considerados conclusivos a respeito da influência pozolânica de materiais cerâmicos existentes na composição dos resíduos de construção e demolição. É possível afirmar apenas que o efeito pozolânico existe a depender do tipo e quantidade de

material que está sendo utilizado, sendo necessário um estudo criterioso em cada caso.

A grande heterogeneidade na composição do entulho da construção civil talvez seja uma das características que apresentem maior influência sobre as propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados. Uma vez que cada lote de entulho da construção civil apresente uma composição distinta, as propriedades dos agregados e dos materiais por ventura produzidos com o mesmo também apresentarão diferentes resultados. Contudo, é necessário contornar esta limitação, até que sejam implantadas políticas mais rigorosas e restritivas para gestão deste resíduo dentro e fora dos canteiros de obra.

## **2.16 Considerações gerais**

A reciclagem de resíduos é uma importante alternativa para a preservação ambiental. A legislação que disciplina as questões do meio ambiente tem sido mais rigorosa no sentido de obrigar os geradores de resíduos a tratá-los de maneira adequada, colocando a reciclagem como uma forma atraente para soluções dos problemas de gerenciamento de resíduos, tanto para o lado empresarial quanto para os órgãos de proteção ambiental. Seguindo o princípio do desenvolvimento sustentável, as linhas de pesquisa nessa área têm buscado soluções que consideram vários aspectos: a proximidade com a fonte geradora dos resíduos, o tipo e a quantidade de resíduo disponível, a tecnologia e os tipos de produtos que poderão absorvê-lo, o custo de deposição e tratamento e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem do resíduo.

O processo de reciclagem é muito importante por preservar recursos naturais, e por preservar o meio ambiente, diminuindo o material aterrado ou jogado a céu aberto, evitando-se a poluição do ar, da terra e da água. Contribui ainda, para o adequado manejo dos resíduos sólidos, minimizando os problemas com vetores e doenças associadas aos resíduos e, além disso, torna o custo da produção menor, se comparado com o da produção originada da matéria prima virgem.

Na literatura existente fica claro que apesar de causar tantos problemas, o entulho deve ser visto como fonte de materiais de grande utilidade para a construção civil. A reciclagem de entulho da construção civil, como para outras formas de

resíduos urbanos, permite reduzir o volume de desperdício irracional de material, e amenizar significativamente o impacto ao meio ambiente.

Diante desta problemática, vários grupos, instituições e pesquisadores vêm buscando meios para se reciclar estes resíduos a fim de que sejam reaproveitados pelo próprio homem, sendo então mais um tipo de material alternativo. Portanto, a crise energética e o despertar da consciência ecológica fizeram com que muitas pessoas buscassem alternativas para se melhorar a convivência com a natureza. Uma dessas alternativas são os projetos de reciclagem, que precisam ser elaborados de forma consciente, atendendo às necessidades dos usuários e aos requisitos ambientais, tecnológicos e funcionais.

Assim, a reciclagem é hoje uma atividade em constante ascensão e de grande importância para o desenvolvimento de nosso país. O uso do entulho reciclado na obtenção de componentes de construção, como blocos, briquetes, tubos para drenagem, placas, sobre o ponto de vista industrial enfrenta diversas dificuldades, devido a sua heterogeneidade, como também a existência do problema da contaminação, que pode inviabilizar a sua reciclagem e conseqüentemente o produto final. Estes problemas gerados podem ser evitados com a aplicação de técnicas racionais de construção e demolição, e uma sistemática de coleta/segregação envolvendo a indústria da construção civil. A partir destas medidas, será possível introduzir práticas de reciclagem do entulho de construção para o seu aproveitamento.

A prática da reciclagem de resíduos da construção, apresenta vantagens ambientais e econômicas, vem recebendo grande impulso no Brasil, com a implantação de usinas de reciclagem em municípios de médio e grande porte. A implantação destas centrais de reciclagem, de iniciativa pública ou privada minimizaria os impactos ambientais decorrentes da geração de lixo e criaria mais empregos. No entanto, é preciso cuidado com a simples substituição dos materiais convencionais pelos reciclados, pois devem ser submetidos a uma avaliação do risco de contaminação ambiental que seu uso poderá ocasionar durante o ciclo de vida do material e após sua destinação final. É importante saber que se trata de um material alternativo, e portanto com limitações. Neste contexto conclui-se que existe espaço para o estudo aprofundado dos entulhos da construção civil, de forma a se

fazer um uso adequado, racional e acima de tudo com contribuição positiva ao meio ambiente.

Como nenhum material é eternamente durável, a durabilidade dos materiais da indústria da construção civil, que pode ser definida como o tempo em que o produto é capaz de apresentar desempenho satisfatório em suas diversas condições de uso, devem ser avaliados com o mesmo cuidado que os outros aspectos, tais como propriedades químicas, físicas e ambientais. A maioria das pesquisas aborda a produção de diversos componentes da indústria da construção civil com emprego de percentual de agregados reciclados e poucas mencionam os ensaios de durabilidade, que é de essencial importância para a avaliação da durabilidade de compósitos com a incorporação de entulho da construção civil, devido a provável presença de elementos minerais ou orgânicos, que afetam o desempenho dos materiais obtidos com resíduos da construção civil.

Os pesquisadores têm estudado a durabilidade dos materiais reciclados sob ação de substâncias deletérias, mas geralmente de maneira isolada, isto é, dificilmente se fazem estudos para avaliar a durabilidade de um material sob ação combinada de várias substâncias simultaneamente, em razão da complexidade da constituição dos rejeitos de construção e da mesma forma, a diversidade dos agentes agressivos presentes no meio ambiente.

O conhecimento dos materiais empregados na construção civil e o seu comportamento são de vital importância e pode ser considerado como requisito fundamental para a construção civil. Devido à complexidade destes materiais é de vital importância a introdução dos conhecimentos da ciência dos materiais no estudo dos materiais de construção civil, com o objetivo de aprimorar e obter subsídios para otimizar e melhorar as propriedades dos materiais da construção civil e, assim atender as necessidades dos conhecimentos expostos anteriormente.

A idéia de investir na reciclagem do entulho da construção civil, voltada para a pré-fabricação, é um passo importante na direção da construção com menos entulho. É preciso entender o processo de reciclagem como um aperfeiçoamento do sistema construtivo, que inexoravelmente gera resíduos provenientes de falhas de projeto, falhas construtivas, processos defeituosos ou o seu somatório. A reciclagem do entulho deve ser bem planejada, levando-se em conta o volume gerado, as principais características do entulho (composição e proporção dos componentes), o

estabelecimento de áreas disponíveis para recolhimento de produtos e aplicações (entrepósitos de deposição, unidades de moagem e de beneficiamento), as possibilidades de industrialização e/ou comercialização dos materiais e agregados e a comercialização de refugos (madeira e metais, por exemplo). A partir desses dados deve-se adequar o porte do conjunto de equipamentos à necessidade do município ou do canteiro de obra, para ajustar o dimensionamento das soluções.

## CAPÍTULO III

### 3.1 Estudo experimental

Visando atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi desenvolvido um estudo experimental, apresentado na Figura 3.1 para um melhor entendimento do comportamento do agregado reciclado na confecção de blocos de concreto com e sem função estrutural.

Para avaliar o aproveitamento do resíduo da construção civil, realizou-se um estudo de dosagem para selecionar o traço com concreto convencional adequado aos parâmetros da norma para fabricação de blocos de concreto, sobretudo no que se refere à resistência a compressão ( $f_c$ ), ou seja,  $f_c > 2,5\text{MPa}$  e  $f_c > 4,5\text{MPa}$  e a absorção ( $Abs < 10\%$ ) segundo as normas da ABNT NBR 7173/82 e ABNT NBR 6136/93, respectivamente.

Este trabalho foi realizado em duas etapas experimentais. A primeira refere-se aos ensaios físicos-mecânicos, incluindo o estudo de dosagem realizado para o concreto de convencional (CC) e o concreto alternativo com dosagens de entulho da construção civil (CA). A segunda etapa está relacionada aos ensaios de durabilidade. Cada etapa deste trabalho foi composta de duas fases distintas: na primeira fase fez-se uso do cimento Portland CP II-F-32 com os traços e a relação água cimento (a/c) apresentados nas Tabelas 3.8 e 3.14. A segunda fase deste trabalho surgiu a partir de um comportamento atípico constatado para a amostra do traço 1:6 da primeira fase com 100% de entulho incorporado, nesta fase o cimento utilizado foi Portland CP II-Z-32 com os traços e a/c conforme as Tabelas 3.8 e 3.14. Todo este trabalho foi direcionado à fabricação de pré-moldados, mais especificamente blocos alternativos confeccionados com várias dosagens de resíduos da construção civil (entulho) incorporado como agregado graúdo alternativo (artificial), que sempre foram comparados com o concreto convencional de cimento Portland (sem entulho).

A avaliação deste estudo iniciou-se com a caracterização física e química do entulho e dos agregados naturais. A partir do estudo de dosagem para o

aproveitamento do entulho, foram avaliadas as propriedades dos compósitos no estado fresco e endurecido. São importantes os seguintes ensaios: resistência à compressão, índice de vazios, massa específica (densidade do compósito), absorção de água. No estudo de dosagem estabeleceu-se a melhor composição entre os materiais (aglomerante: agregados naturais e artificiais), considerando a trabalhabilidade mais adequada para o tipo de equipamento (máquina do tipo vibroprensa semi-automática, ou seja, vibração elétrica e prensagem manual) utilizado na confecção dos blocos.

O estudo da durabilidade apresentado neste trabalho considerou-se a presença do entulho na dosagem de concretos comparados com o concreto convencional (sem entulho), utilizando o método de envelhecimento acelerado modificado (ARAÚJO, NEVES & FERREIRA, 1995) a partir do ensaio de durabilidade por molhagem e secagem de solo-cimento, segundo a norma da ABNT NBR 13554/96. O procedimento de fazer a comparação entre resultados de amostras protegidas e não protegidas do fator de degradação (molhagem/secagem) foi adotado como forma de minimizar o problema de subestimar os efeitos do processo de degradação no curto prazo.

Foram realizados, estudos específicos através de difração de raios-X e análise térmica, com o objetivo de avaliar qualquer interação que venha a existir entre o agregado reciclado e a pasta de cimento.

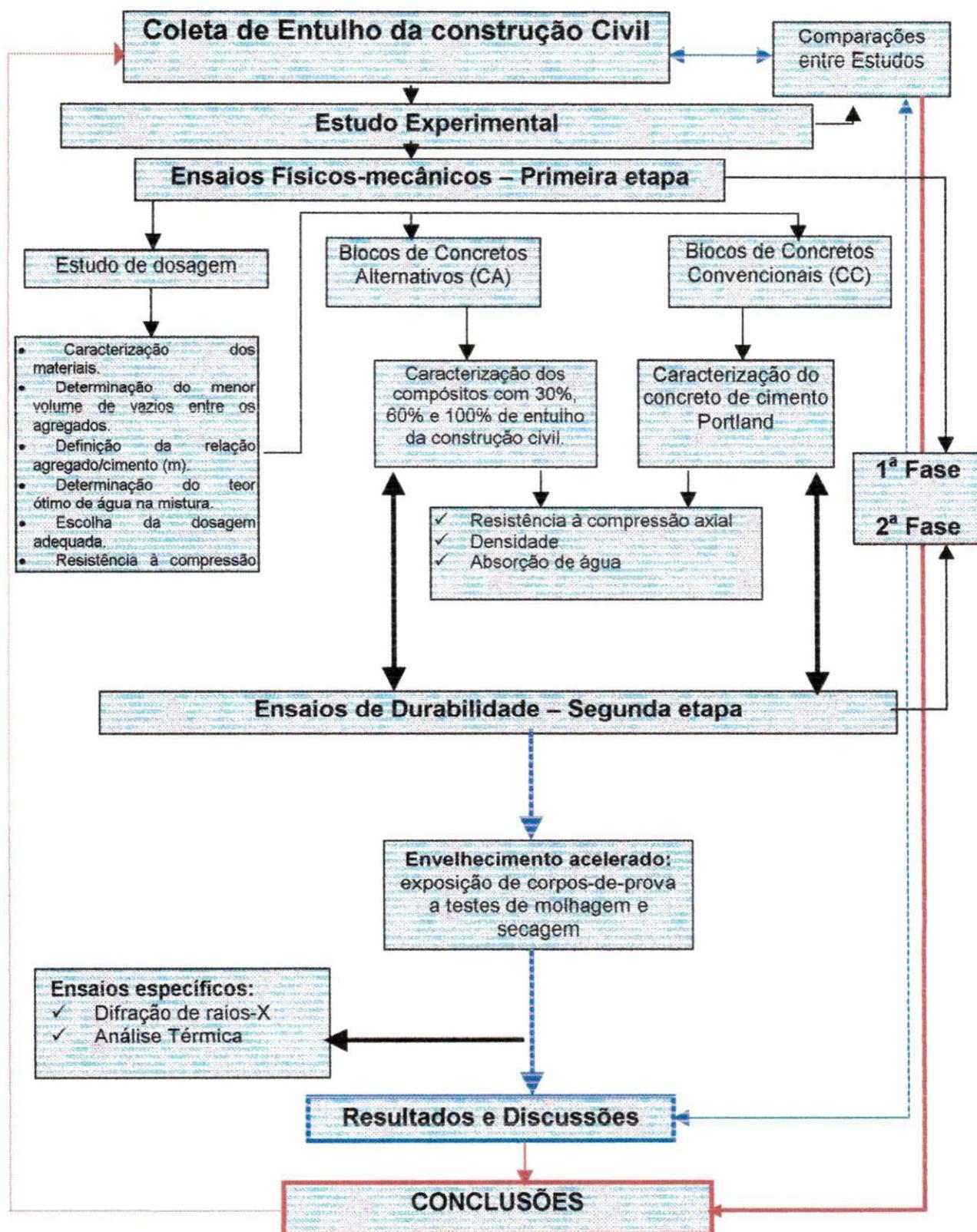


FIGURA 3.1 - Fluxograma do estudo experimental deste trabalho

## 3.2 Materials

### 3.2.1. Cimento Portland

Foram utilizados dois tipos de cimento. Na primeira fase utilizou-se o cimento Portland CP II-F-32, que apresenta características compatíveis para a elaboração de pré-moldados, devido à presença de filer calcário (6-10%), segundo a norma da ABNT NBR 11578, que favorece um tempo de pega menor. Na segunda fase, foi utilizado o cimento Portland CP II-Z-32, que possui um teor de adição de material pozolânico (6-14%), que lhe confere menor permeabilidade, e de filer calcário (0-10%) segundo a norma da ABNT NBR 11578. A opção de se utilizar o cimento CP II-Z-32 na segunda fase foi devido à não disponibilidade do cimento CP II-F-32 no mercado local o cimento Portland utilizado na primeira fase. Segundo informação do fabricante, o motivo da suspensão da fabricação do mesmo, foi o racionamento de energia estabelecido no Brasil, durante o desenvolvimento deste trabalho.

As Tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 apresentam as características físicas, mecânicas e químicas, dos cimentos Portland utilizados fornecidos pela CIMPOR (Cimentos de Portugal) BRASIL, antiga Companhia da Paraíba de Cimento Portland - CIMEPAR. Tem-se uma comparação com os limites admitidos por normas.

A utilização do cimento Portland CP II-Z-32 não tem influência no objetivo da pesquisa, uma vez que esta classe é comum em diversas regiões do país sendo bastante usado nos diversos tipos de construção civil.

**TABELA 3.1 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP II-F-32**

Propriedades físicas do CP II-F-32			
Ensaio físico	Métodos de ensaio	Limites da NBR 11578	Resultados
Finura malha nº 200 (%)	NBR 11579/91	≤ 12,0	2,6
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23/98	-	3,05
Área esp.(Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76/98	≥ 2600	3610
Tempo de pega (h:min)	início final	≥ 1:00	2:10
		≤ 10:00	3:00
Expansibilidade à quente	NBR 11582/91	≤ 5,0	0,0
Resistência 3 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 10	24,0
Resistência 7 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 20	31,2
Resistência 28 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 32	38,7

Fonte: CIMPOR

**TABELA 3.2 - Propriedades químicas do cimento Portland CP II-F-32**

<b>Propriedades químicas do CP II-F-32</b>			
Composição Química	Métodos de ensaio	Limites da NBR 11578	Resultados
Perda ao fogo (%)	NBR 5743/89	≤ 6,5	5,28
Dióxido de silício – SiO <sub>2</sub> (%)	NBR 9203/85	-	18,54
Óxido de alumínio – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	NBR 9203/85	-	4,60
Óxido de ferro – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	NBR 9203/85	-	2,04
Óxido de cálcio – CaO (%)	NBR 9203/85	-	60,07
Óxido de magnésio – MgO (%)	NBR 9203/85	≤ 6,5	5,79
Anidrido sulfúrico – SO <sub>3</sub> (%)	NBR 5745/89	≤ 4,0	2,75
Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O) (%)	NBR 5747/89	-	0,10
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O) (%)	NBR 5747/89	-	0,80
Anidrido carbônico – CO <sub>2</sub> (%)	NBR 11583/90	≤ 5,0	4,23
Óxido de cálcio livre-CaO Livre	NBR 7227/90	-	1,51
Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O		-	0,63
Resíduo insolúvel (%)	NBR 5744/89	≤ 2,5	1,66

Fonte: CIMPOR

**TABELA 3.3 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP II-Z-32**

<b>Propriedades físicas do CP II-Z-32</b>				
Ensaio físico	Métodos de ensaio	Limites da NBR 11578	Resultados	
Finura malha nº 200 (%)	NBR 11579/91	≤ 12,0	3,8	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23/98	-	2,94	
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )			1,166	
Área esp.(Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76/98	≥ 2600	3845	
Tempo de pega (h:min)	início	NBR 11581/91	≥ 1:00	2:39
	final	NBR 11581/91	≤ 10:00	5:10
Expansibilidade à quente	NBR 11582/91	≤ 5,0	0,1	
Resistência 3 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 10	22,1	
Resistência 7 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 20	28,7	
Resistência 28 dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 32	35,3	

Fonte: CIMPOR

**TABELA 3.4 - Propriedades químicas do cimento Portland CP II-Z-32**

<b>Propriedades químicas do CP II-Z-32</b>			
Composição química	Métodos de ensaio	Limites da NBR 11578	Resultados
Perda ao fogo (%)	NBR 5743/89	≤ 6,5	6,14
Dióxido de silício – SiO <sub>2</sub> (%)	NBR 9203/85	-	21,19
Óxido de alumínio – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	NBR 9203/85	-	7,12
Óxido de ferro – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	NBR 9203/85	-	2,17
Óxido de cálcio – CaO (%)	NBR 9203/85	-	57,30
Óxido de magnésio – MgO (%)	NBR 9203/85	≤ 6,5	4,69
Anidrido sulfúrico – SO <sub>3</sub> (%)	NBR 5745/89	≤ 4,0	2,35
Anidrido carbônico – CO <sub>2</sub> (%)	NBR 11583/90	≤ 5,0	-
Óxido de cálcio livre-CaO Livre	NBR 7227/90	-	1,24
Resíduo insolúvel (%)	NBR 5744/89	≤ 16,0	8,05

Fonte: CIMPOR

Todos os resultados atendem os limites estabelecidos nas normas correspondentes. Pela característica desses tipos de cimentos espera-se como produto hidratado cerca de 20% a 25% de  $\text{Ca(OH)}_2$  dentre o total de volume sólido da pasta de cimento completamente hidratada. Isto significa que o cimento é vulnerável ao ataque por soluções ácidas ou sulfatadas. Por outro lado para situação de severo ataque por carbonatação, são recomendados. Destacam-se os baixos teores de álcalis no cimento CP II-F-32 o que é bom para prevenir a reação álcalis-agregado (MELO, 2000).

### 3.2.2. Agregados naturais

#### 3.2.2.1 Areia (agregado miúdo)

A Figura 3.2 mostra a areia (quartzosa) utilizada, que foi proveniente do rio Paraíba. Ela foi selecionada por apresentar uma granulometria média e um teor de material fino adequado à fabricação de pré-moldados. Para isso, buscou-se obter um teor não inferior a 50% de material retido nas peneiras (#) 0,15mm e 0,30mm. Este critério foi adotado visando permitir um



FIGURA 3.2 - Amostra da areia utilizada

melhor acabamento na superfície os blocos moldados. O local utilizado para o armazenamento foi um pátio próximo ao Laboratório de Solos III da UFCG/Campus I, Campina Grande. As amostras de areia após secagem por exposição direta ao sol e ao ar foram colocadas em tambores com tampa, de modo a proteger da umidade.

#### 3.2.2.2 Cascalho (agregado graúdo)

A Figura 3.3 apresenta o cascalho (granítico) utilizado que foi escolhido a partir de algumas amostras provenientes de pedreiras da região. Antes de ser utilizado foi inicialmente lavado para eliminar a porção fina (pó de pedra) aderente às superfícies dos grãos. Em geral, esse pó aumenta a demanda por água na mistura,

o que prejudica a resistência mecânica. Finalmente, o agregado foi também seco ao ar e ao sol e armazenado em tambores fechado.



**FIGURA 3.3** - Amostra do cascalho



**FIGURA 3.4** - Amostra do entulho

### 3.3.3 Agregado alternativo (*entulho da construção civil*)

#### 3.2.3.1 Agregados reciclados (*entulho da construção civil*)

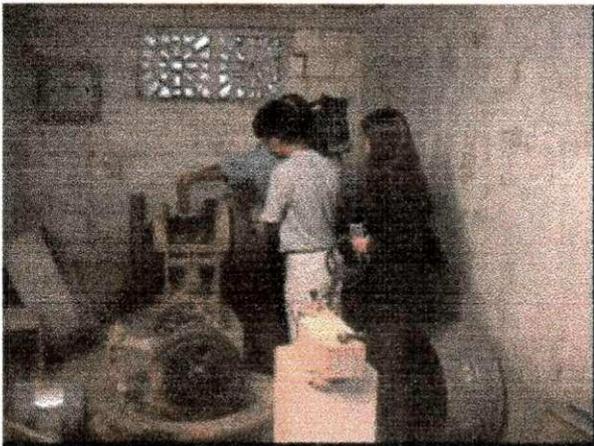
A utilização do entulho como agregado, devido à heterogeneidade do material traz particularidades ao agregado reciclado, por ser um resíduo produzido num setor que envolve uma grande variedade de técnicas, métodos e materiais. Considerando a variabilidade do agregado de entulho em função da sua origem (demolição, reforma ou construção), decidiu-se trabalhar apenas com entulho de construção. A Figura 3.4 apresenta o entulho bruto conforme coletado na obra.

O entulho utilizado para este estudo foi coletado segundo a norma da ABNT – NBR 10007/87, e representa o resíduo gerado na fase intermediária entre elevação de alvenaria nos pavimentos e aplicação de acabamento externo, de um edifício residencial em construção, com 12 pavimentos, padrão “A”, com estrutura executada em concreto armado e a vedação dos vãos com tijolos cerâmicos de 8 furos, com revestimento argamassado internamente (áreas molhadas com revestimento cerâmico) e revestimento cerâmico nas fachadas.

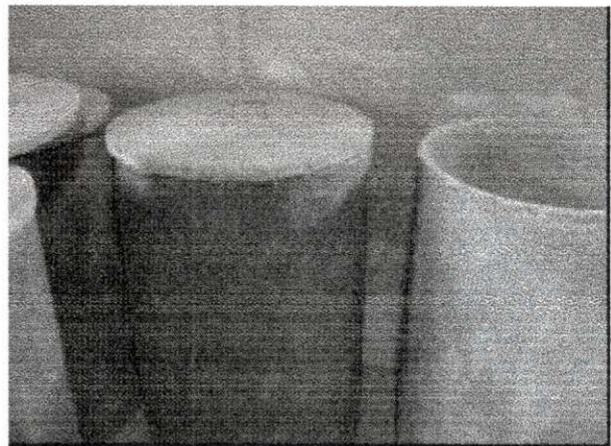
As amostras coletadas passaram por processo de separação de materiais indesejáveis para este estudo, tais como: madeira, ferro, plástico, gesso, etc. Essas amostras, depois de selecionadas, e separadas, foram armazenadas em um pátio vizinho ao laboratório de Solos III da UFCG/Campus I, Campina Grande e protegidos

por lonas plásticas para evitar o contato direto com a umidade relativa do ar, perda de material devido às chuvas e ao vento, ou contaminação por outros materiais (folhas de árvore, lixo, etc).

As amostras desse entulho foram trituradas em britador de mandíbulas que foi ajustado para se obter uma granulometria equivalente a da mistura areia-cascalho. O entulho depois de triturado também foi seco ao ar e ao sol, e colocado em recipientes com tampas em ambiente fechado, como indicado nas Figuras 3.5 e 3.6.



**FIGURA 3.5** - Britador de mandíbulas (equipamento ao fundo da foto)



**FIGURA 3.6** - Recipientes para armazenamento dos materiais utilizados

#### 3.2.4 Água

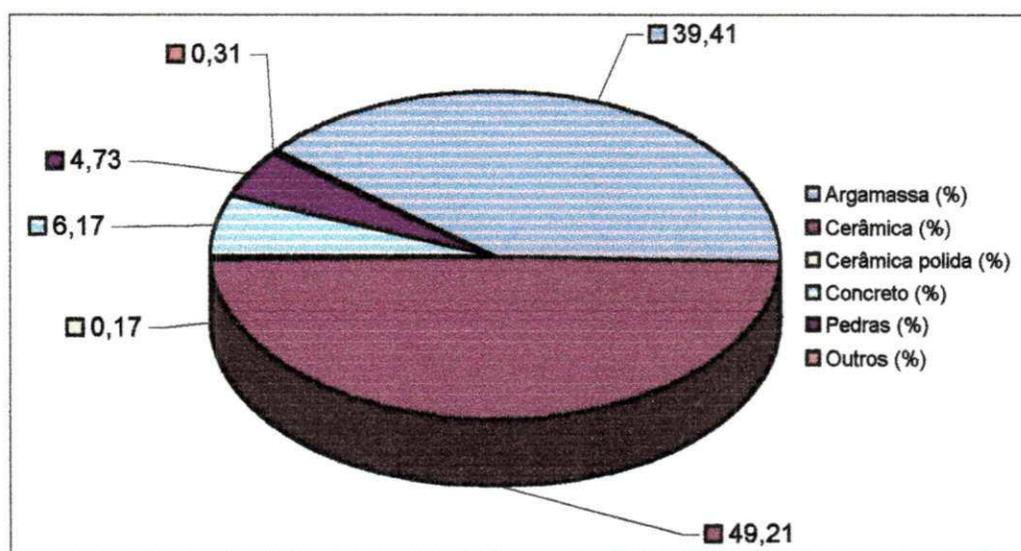
Foi utilizada água potável proveniente do açude de Boqueirão, da cidade de Boqueirão no estado da Paraíba, fornecida pela concessionária local CAGEPA (Companhia de água e Esgotos da Paraíba).

#### 3.2.5 Composição do entulho

Segundo LIMA (1999) os componentes presentes nos agregados reciclados determinam muitas de suas propriedades, tais como resistência mecânica, absorção de água e massa específica, alterando de forma direta os novos produtos confeccionados com este material.

A composição do entulho em estudo foi avaliada com o objetivo de determinar a proporção entre cada constituinte presente nas amostras. Para isto, utilizou-se o

processo de quarteamento, prescrito na norma da ABNT – NBR 9941/87. Com a porção de entulho seco ao ar e após o quarteamento foi realizada a separação manual de acordo com a sua composição, ou seja: pedras, concretos, material cerâmico, argamassa e outros (vidro, madeira, papel, metal, plástico, amianto, etc.). Posteriormente cada porção foi pesada e obteve-se a composição do entulho estudado em termos percentuais, conforme se apresenta na Figura 3.7.



**FIGURA 3.7** – Percentagens médias dos constituintes do entulho utilizado nesta pesquisa

A Figura 3.7 apresenta a distribuição de cada constituinte na composição do entulho. O resultado mostra um elevado percentual de cerâmica, seguido de argamassa. Estes materiais, principalmente os materiais cerâmicos, podem apresentar características que contribuam para a melhoria das propriedades mecânicas de concretos e argamassas produzidos com o agregado miúdo reciclado. Neste sentido, a parte fina do material cerâmico poderá contribuir com alguma atividade pozolânica, melhorando o desempenho mecânico dos blocos de concretos.

O percentual elevado de argamassa em entulhos da construção civil também tem sido citada por estudiosos como LATERZA (1998), CARNEIRO *et al.* (2000) e LEITE (2001). A variabilidade dos agregados reciclados difere da apresentada pelo entulho, onde as frações antes e após o processamento dos resíduos apresentam diferentes composições. Assim, a caracterização dos agregados é mais prática,

devido às reduzidas dimensões das partículas, o que facilita o manuseio (ÂNGULO, 2000).

### **3.3 Métodos para ensaios específicos**

Apresenta-se a seguir os métodos dos ensaios específicos, realizados neste trabalho (análise química, difração de raios-X, análises termodiferencial e termogravimétrica). Os detalhes de preparação de amostras também são apresentados, levando em conta as particularidades de cada tipo de ensaio.

#### *3.3.1. Preparação das amostras*

As amostras foram secas em estufa a 110°C, por 24 horas com temperatura constante, em seguida desagregada em almofariz de porcelana e, peneiradas por via seca em peneira ABNT Nº 200 (abertura de 0,074mm), e posteriormente acondicionadas em sacos plásticos de polietileno etiquetados.

#### *3.3.2 Análise química*

A análise química fornece dados fundamentais de grande utilidade científica, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas.

As determinações usuais foram: umidade, perda ao fogo, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis.

O entulho da construção civil foi submetido à análise química, segundo técnicas clássicas e instrumentais, seguindo a metodologia desenvolvida no Laboratório de Análise Mineral (LAM) do CCT/PRAI/UFCG (1987).

#### *3.3.3. Análises térmicas*

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) são úteis em processos de produção de concreto para indicar as faixas de temperaturas em que

ocorrem transformações endotérmicas e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem as perdas de massas. Nos aglomerantes, a importância das análises térmicas deve-se à possibilidade de quantificar o grau de hidratação e acompanhar a evolução da hidratação ou da carbonatação, de identificar e quantificar as substâncias constituintes, as impurezas ou os adulterantes e também de auxiliar no controle dos aglomerantes.

As curvas térmicas foram obtidas através de um sistema de Análises Térmicas Modelo RB-3000 da BP Engenharia, com taxa de aquecimento  $12,0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . A temperatura máxima para ATD e ATG foi de  $1000^{\circ}\text{C}$  e o padrão utilizado na ATD foi o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado. Os ensaios foram realizados no laboratório de cerâmica "MARIA CLAUDIA SILVA" do DEMa/CCT/UFCG, segundo a metodologia proposta por SOUZA SANTOS (1992).

#### 3.3.4. Difração de raios-X

A análise por difração de raios-X (DRX) é de grande importância na identificação de fases e tem caráter qualitativo, pois está baseado na identificação das substâncias (fases cristalinas) presentes em cada amostra. Esta análise qualitativa foi realizada com indicação dos compostos prováveis, presentes no entulho da construção civil. Os picos que aparecem nos difratogramas são característicos para cada tipo de substância, sendo possível identificá-las.

O equipamento utilizado para caracterizar o pó foi um difratômetro convencional vertical de dois eixos  $\theta$  e  $\theta:\theta$  para amostras policristalinas da marca Phillips, modelo X Pert Pro, operado numa potência de 40kV / 30mA com radiação incidente de Cu ( $\lambda_{\text{Cu}}$ ) e feixe difratado monocromado por um monocromador curvo de grafite. As amostras foram medidas num intervalo de  $2\theta$ :  $20-80^{\circ}$  no modo de varredura contínua com velocidade de  $1/2^{\circ}/\text{min}$  com passos de  $0,02^{\circ}$  a temperatura ambiente ( $23^{\circ}\text{C}$ ).

As análises de difração de raios-X foram realizadas no laboratório de microscopia eletrônica de varredura e difração de raios-X do Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, da Universidade Federal do Ceará - UFC.

### 3.4 Estudo de dosagem para produzir blocos convencionais

No estudo de dosagem para a elaboração dos blocos (dimensões: 9cmx19cmx39cm e 19cmx19cmx39cm) de concreto convencional, composto por cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, foi adotado o controle rigoroso na mistura dos materiais, para reduzir a variabilidade e a dispersão dos resultados obtidos. Isso significa dizer que os traços foram realizados em massa e sempre se trabalhou com os agregados secos, permitindo um melhor controle da relação água/cimento (a/c) das misturas avaliadas.

No roteiro para o estudo de dosagem foram considerados vários tópicos, desde os ensaios para caracterização dos materiais, passando pela determinação do menor volume de vazios entre os agregados, até as recomendações durante a mistura, moldagem e cura dos blocos confeccionados.

Os seguintes ensaios foram realizados para a caracterização dos materiais convencionais.

- i. Agregado miúdo
  - a. granulometria (NBR 7217)
  - b. massa unitária (NBR 7810)
  - c. massa específica (NBR 9776)
  - d. teor de materiais pulverulentos (NBR 7219)
  - e. torrões de argila (NBR 7218)
- ii. Agregado graúdo
  - a. granulometria (NBR 7217)
  - b. massa unitária (NBR 7810)
  - c. massa específica (NBR 9937)
- iii. Cimento Portland
  - a. tempo de pega (NBR 11581)
  - b. massa específica real (NBR NM 23/98)
  - c. resistência à compressão (NBR 7215)
  - d. composição química (NBR 05742)
  - e. finura: resíduo na peneira 0,075mm (NBR 11579)
  - f. superfície específica Blaine (NBR NM 76/98)

### 3.4.1 Determinação do menor volume de vazios entre os agregados

O objetivo desse ensaio é encontrar a melhor composição entre os agregados, através do resultado da massa unitária no estado compactado seco (NBR-7810), realizando várias misturas como se observa na Tabela 3.5.

**TABELA 3.5** - Determinação da melhor proporção entre areia e cascalho, obtida pelo ensaio da massa unitária no estado compactado seco

Areia (%)	Cascalho (%)	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
30	70	1,824
40	60	1,834
50	50	1,834
60	40	1,784
70	30	1,734

Como pode ser visto na Tabela 3.5, tanto as misturas com 40% de areia e 60% de cascalho, como a mistura de 50% de areia e 50% de cascalho, obtiveram a mesma massa unitária, mais a que apresentou o menor índice de vazios, ou seja, melhor compactação entre os agregados naturais foi à mistura com a proporção de 50% de areia e 50% de cascalho.

### 3.4.2 Definição da relação agregado/cimento (*m*)

Buscou-se a relação agregado/cimento (*m*) que ao mesmo tempo atendesse a condição de resistência à compressão axial  $f_c > 2,5 \text{ MPa}$  (bloco de vedação) e o menor consumo de cimento/m<sup>3</sup>. Para isso, foram feitos testes de produção dos blocos, utilizando diferentes máquinas (tipo vibro-prensa, vibração elétrica e prensagem manual) e vários traços 1:*m*. Sempre se respeitou a proporção ideal entre os agregados (miúdo e graúdo) encontrada anteriormente. Como ponto de partida adotou-se os valores apresentados na Tabela 3.6.

**TABELA 3.6** - Consumo aproximado de cimento Portland CP II-F-32(C) em função de "m", levando em conta o teor ótimo de água na mistura

m	4	6	7	8	9	10
C (kg/m <sup>3</sup> )	544	372	317	276	245	219

Obs.: m = total de agregados; C = consumo de cimento

O estudo para determinar a relação agregado/cimento, levando em conta a definição da melhor composição entre os agregados naturais (50% de areia e 50% de cascalho) é apresentada na Tabela 3.7. Os resultados de resistência à compressão são referentes à idade de 45 dias dos blocos submetidos à cura úmida por imersão em água.

Com base nesses resultados, selecionaram-se as duas únicas dosagens (1:4 e 1:6) que obtiveram resistência à compressão maior do 2,5MPa (atendendo os limites da norma da ABNT NBR 7173/82), para proceder aos estudos utilizando a moldagem dos blocos de concreto convencional como referência. Com essas dosagens também foram feitas avaliações para verificar o efeito do teor de entulho incorporado (30%, 60% e 100%).

**TABELA 3.7** - Determinação da relação agregado/cimento (CP II-F-32) e o teor ótimo de água na mistura (a/c), para a confecção de blocos de vedação

Traço	Relação		Consumo de	Resistência à compressão		
	areia	cascalho		água/cimento	cimento	f <sub>c</sub>
1:m	a	c	a/c	C	Blocos	Corpos-de-prova
			kg/kg	kg/m <sup>3</sup>	MPa	(5cmX10cm)
4	2,0	2,0	0,33	544	3,5	3,21
6	3,0	3,0	0,41	372	2,9	2,70
7	3,5	3,5	0,50	317	1,7	2,00
8	4,0	4,0	0,58	276	1,6	1,96
9	4,5	4,5	0,67	245	1,5	1,86
10	5,0	5,0	0,76	219	1,3	1,83

Obs.: m = total de agregados; a = areia; c = cascalho (pedrisco); a/c = fator água/cimento; C = consumo de cimento e f<sub>c</sub> = resistência à compressão.

### 3.4.3 Determinação do teor ótimo de água na mistura

Na primeira fase para determinar o teor ótimo de água na mistura, de cada um dos traços em massa (1:m), foram colocados os materiais secos (cimento: areia: cascalho) no misturador (betoneira), adicionou-se aos poucos água, até que se tornou possível formar com as mãos um “bolo” que se manteve com a forma inalterada. Essa é a primeira indicação para definir o teor ideal de água na mistura (Figura 3.8). Em seguida, foram moldadas peças (blocos), utilizando compactação/vibração e após a desmoldagem observou-se que as superfícies laterais apresentavam minúsculos veios de água (essa é outra indicação do teor ideal de água na mistura). O teor ideal de água na mistura está relacionado com a capacidade de compactação e vibração da máquina utilizada para moldar os blocos. Deve-se lembrar que se está trabalhando com um tipo de equipamento que não conjuga as operações de vibração/compactação. Este fato determina alguma limitação nos resultados alcançados, apesar da simplicidade na operação das máquinas.

Na segunda fase a fim de se determinar a relação a/c ótima de cada traço, foram moldados blocos variando a relação a/c. Para cada relação a/c foram confeccionados três blocos, determinando-se suas respectivas massas, observando-se também o critério do teste da mão e a presença dos veios d'água nos blocos logo após a moldagem. Passados sete dias imersos em água, os blocos foram retirados dos tanques, e capeados com pasta composta de cimento e água. A função do capeamento é eliminar as irregularidades na superfície dos blocos o que pode causar concentrações de tensões nos mesmos. Em seguida os blocos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples, de acordo com a norma da ABNT NBR 7184/91. Neste ensaio determinou-se a carga de ruptura do bloco. A tensão de ruptura é razão entre a carga de ruptura e área do bloco. A relação a/c na primeira fase foi determinada empiricamente, enquanto que na segunda fase relação a/c adotada foi aquela que proporcionou a maior resistência à compressão simples como mostra a Tabela 3.8. Vale salientar que estas relações a/c atingiram a capacidade máxima de moldagem dos blocos.

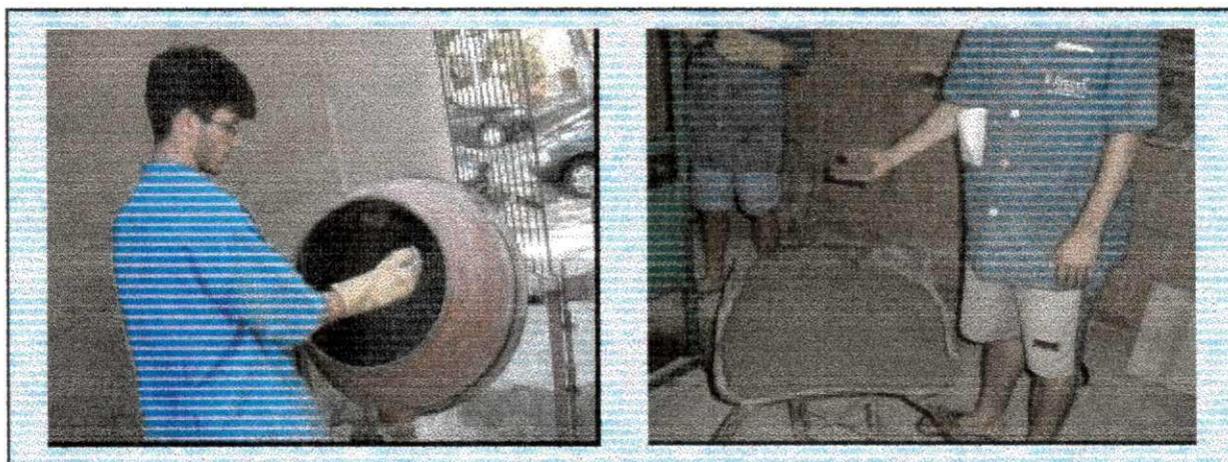
**TABELA 3.8** - Determinação do teor ótimo de água na mistura para os blocos convencionais

1:m	1ª fase – CP II- F-32 idade de cura (45 dias)				2ª fase – CP II- Z-32 idade de cura (7 dias)					
	1:4	f <sub>c</sub> (MPa)	1:6	f <sub>c</sub> (MPa)	1:4	f <sub>c</sub> (MPa)	1:6	f <sub>c</sub> (MPa)	1:8	f <sub>c</sub> (MPa)
					0,30	2,51	0,40	1,63	0,58	1,45
a/c	0,33	3,5	0,41	2,9	0,34	2,92	0,44	2,85	0,63	1,98
					<b>0,37</b>	<b>6,07</b>	<b>0,49</b>	<b>3,85</b>	<b>0,67</b>	<b>2,42</b>

Obs.: m = total de agregados; a/c = fator água/cimento e f<sub>c</sub> = resistência à compressão.

### 3.4.4 Definição das idades de controle de ensaio

A idade de controle para realizar os ensaios de resistência à compressão (f<sub>c</sub>) e compressão dos blocos foi de 7 e 28 dias.



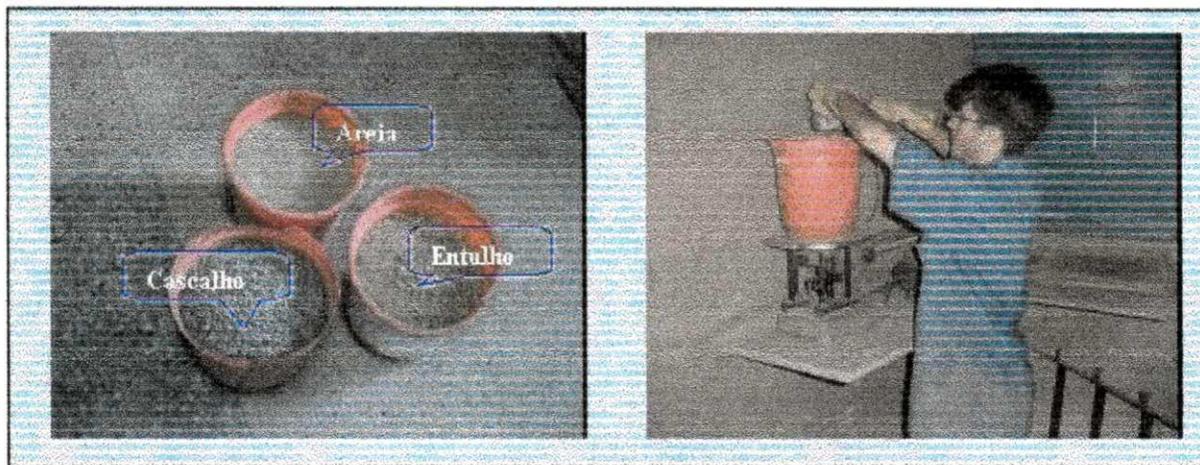
**FIGURA 3.8** - Procedimentos experimentais para a determinação do teor ideal de água na mistura e a betoneira utilizada no preparo da massa

### 3.4.5 Procedimento para moldagem das amostras

#### 3.4.5.1 Equipamentos

Utilizou-se uma balança para pesagem dos materiais, pois foi estabelecido trabalhar com os materiais secos e a dosagem em massa, conforme ilustra a Figura 3.9.

Misturador do tipo betoneira (120 litros) de eixo inclinado foi utilizado conforme mostra Figura 3.8.



**FIGURA 3.9** – Materiais e balança utilizada para a pesagem dos materiais

As Figuras 3.10 e 3.11 apresentam as máquinas manuais, Stander produzidas pela Atlântica Máquina Ltda, de movimento semi-automático para a confecção de blocos de concreto. Nestes equipamentos disponíveis para a realização deste trabalho não há conjugação de vibração com a prensagem.



**FIGURA 3.10** - Máquina utilizada para a fabricação de blocos de vedação



**FIGURA 3.11** - Máquina utilizada para a fabricação de blocos de estruturais

Os materiais foram colocados na misturadora na seguinte ordem:

1. todo o cascalho e parte da água, ligando-se a misturadora por apenas alguns segundos;
2. todo o cimento, misturando-o com o cascalho. Isto fez com que as partículas de agregado fossem envolvidas por uma camada de pasta de cimento Portland;
3. toda a areia e o restante da água.

Após o término da colocação dos materiais, a misturadora permaneceu ligada até que se obtivesse um concreto homogêneo (aspecto uniforme).

As peças foram moldadas, com a mesma massa de concreto preparada, até no máximo 30 minutos após a mistura dos materiais. Durante este período a mistura permaneceu em repouso e protegida da ação do sol e do vento para evitar a evaporação da água de mistura. Como se está trabalhando com misturas secas que têm baixa relação água/cimento foram tomadas maiores cuidados para não se perder o pouco de água existente no concreto. A falta de água trará prejuízos ao processo de hidratação dos grãos de cimento e ao ganho de resistência à compressão ao longo do tempo. Essa proteção foi feita cobrindo-se o concreto com panos úmidos.

O tempo de vibração foi 30 segundos, pois no equipamento utilizado na confecção dos blocos não há conjugação de vibração com prensagem. Sempre foi colocada uma identificação de cada traço moldado nos próprios blocos e corpos-de-prova.

#### 3.4.6 Processo de cura adotado

A cura é uma importante etapa no processo de produção de blocos de concreto, pois corresponde a um conjunto de operações que visa proporcionar, condições adequadas, como tempo, umidade e temperatura necessários para que a reação de hidratação do cimento seja satisfatória. A

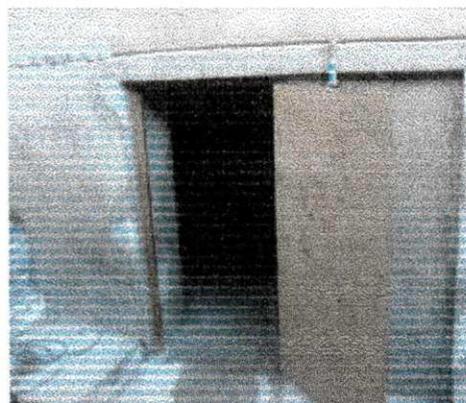
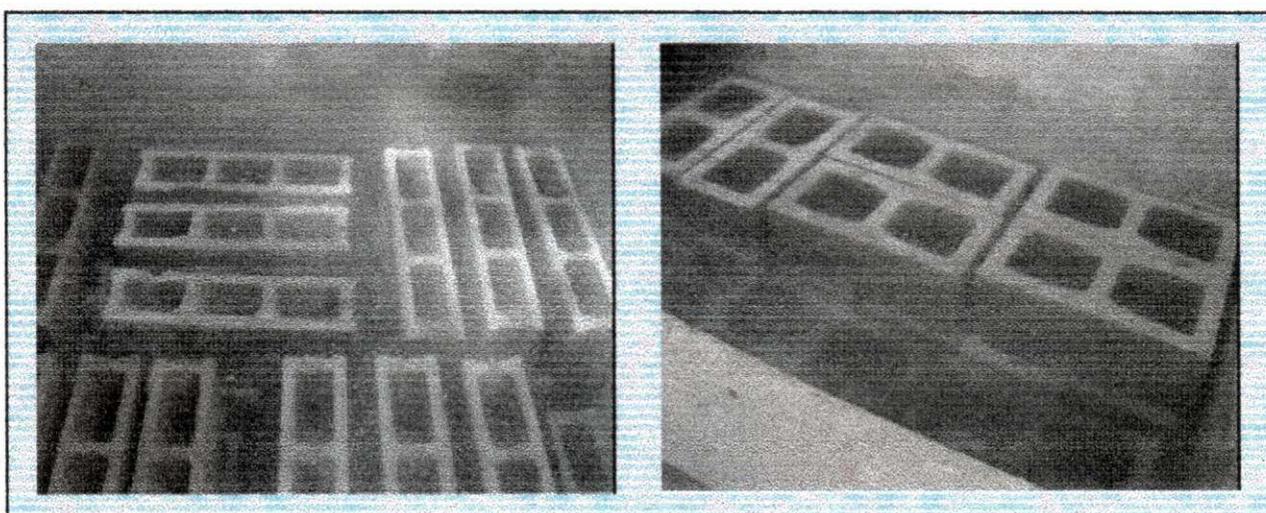


Figura 3.12 - Câmara úmida

alteração destas condições pode refletir nas propriedades finais destes blocos.

Imediatamente após a deforma dos blocos os mesmos foram colocados juntamente com as bandejas de madeira dentro da câmara úmida (Figura 3.12), com temperatura de 23°C e umidade relativa de aproximadamente 95%. No dia seguinte da deforma do lote de blocos, os mesmos continuaram em regime de cura através de imersão em água e cal, a fim de regular o pH da água (dentro de tanques) até as idades de controle (idade dos ensaios), conforme é possível ver na Figura 3.13. Durante a colocação dos blocos nos tanques de cura, procurou-se formar pilhas compactas, montadas em camadas, de acordo com as identificações dos traços moldados.



**FIGURA 3.13** - Vista do tanque de cura com os blocos de vedação e estruturais imersos em água respectivamente

#### *3.4.7 Escolha da dosagem adequada*

Para a escolha da dosagem adequada, foram feitas análises dos resultados com aplicação do critério de "Chauvenet" para a depuração dos resultados de resistência à compressão axial ( $f_c$ ) obtido com cada mistura. A aplicação desse critério significa que, em uma série de medidas a probabilidade de ocorrência de um desvio de valor "x" é menor que  $1/2n$ , conforme a fórmula seguinte.

$$P_x < 1/2n$$

(Equação 3.1)

onde:

$P_x$  - probabilidade de o desvio ser "x"

n - número de medidas

O resultado que apresentou desvio acima do estabelecido, por esse critério, foi rejeitado. Para avaliar a evolução da resistência mecânica das dosagens, utilizaram-se 4 medidas ou 4 blocos/idade, ou seja, "n" = 4 (quatro) e, portanto,  $P_x = 0,125$  (desvio máximo de 12,5%). Foram rejeitados aqueles valores que tiveram desvio máximo de  $\pm 12,5\%$  em relação à média. Neste caso uma nova média passou a ser calculada com três resultados e, portanto, alterou o valor de  $P_x = 0,166$  (desvio máximo de  $\pm 16,6\%$ ). Os resultados obtidos são decorrentes de uma média de 4 (quatro) blocos por idade.

Após essa depuração foi selecionada a dosagem que atendeu aos seguintes critérios:

- i. parâmetro de norma ( $f_c > 2,5 \text{MPa}$ );
- ii. menor consumo de cimento/ $\text{m}^3$  e;
- iii. a característica da massa durante a moldagem, considerando a limitação da máquina de fabricação de bloco disponível (máquina manual sem a conjugação da vibração com prensagem).

Na seqüência foi moldados um novo lote de blocos com concreto convencional com a dosagem escolhida, que serviu para reproduzir os ensaios de resistência à compressão e de absorção, sendo estes resultados definidos como de referência (bloco convencional com concreto de referência CC) para as comparações futuras.

A Tabela 3.9 apresenta a resistência mecânica e a absorção de água de blocos estruturais e de vedação, considerando os parâmetros das normas da ABNT NBR 7173/82 e ABNT NBR 6136/94, respectivamente.

**TABELA 3.9** - Valores admissíveis para a resistência à compressão e absorção de água de blocos de concreto

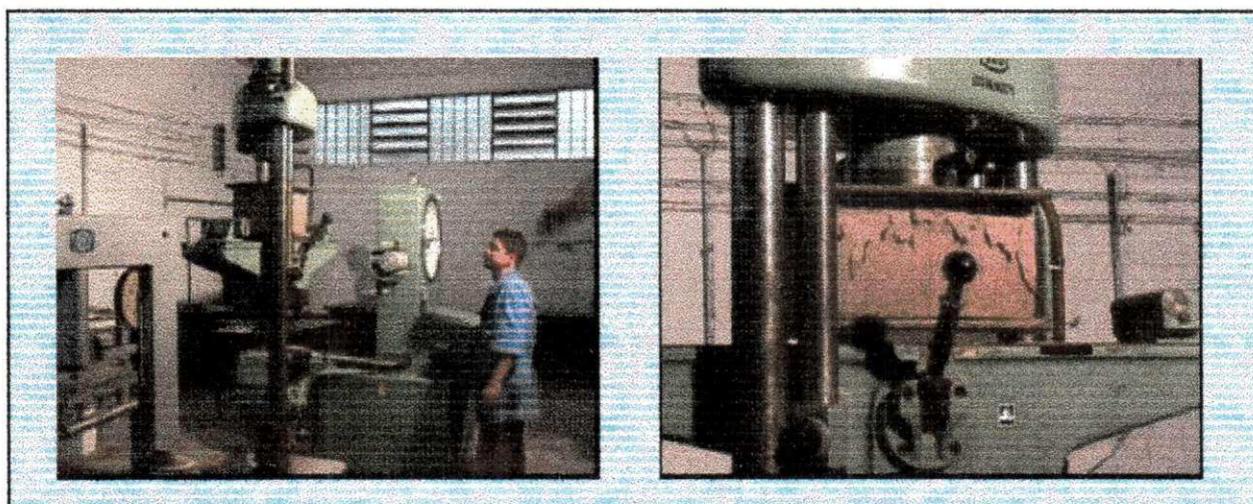
	Resistência à compressão (MPa)	Absorção de água (%)
Blocos de Vedação	2,5	10
Blocos Estruturais	4,5	10

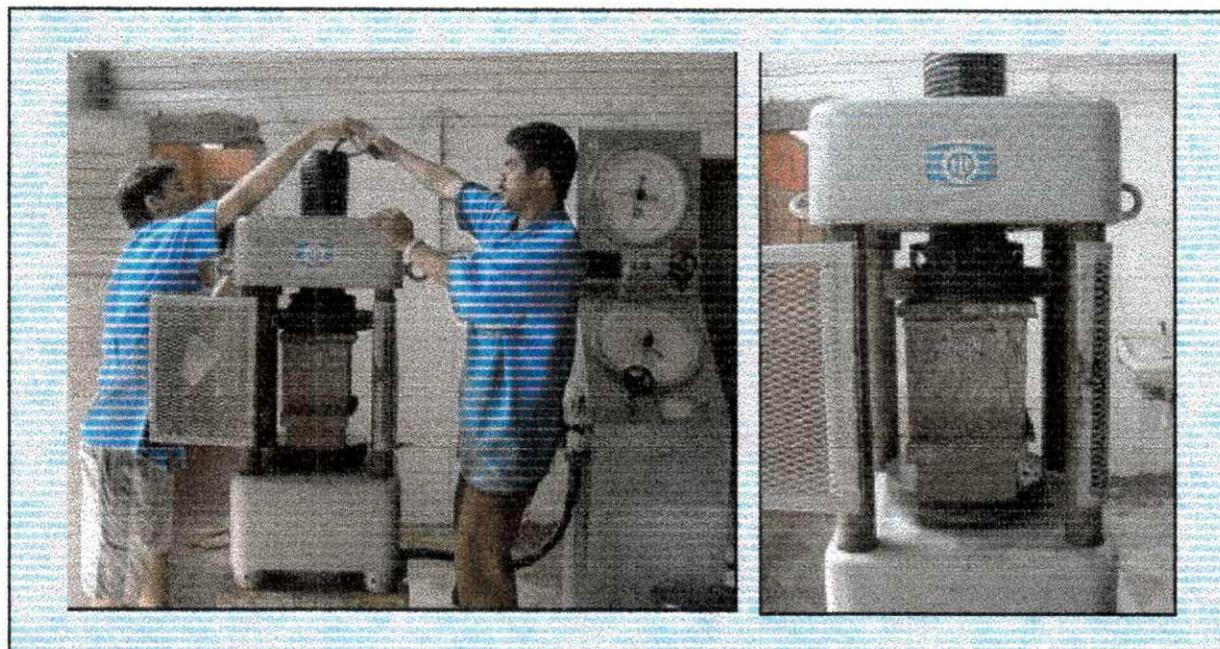
### 3.4.8 Absorção

A absorção dos blocos produzidos foi determinada segundo a norma da ABNT - NBR 7186 para cada traço e tempo de cura estudado. Os resultados são as médias dos valores de amostras retiradas dos blocos originais, desde que a massa não fosse menor que 10% da massa do bloco.

### 3.4.9 Resistência à compressão simples ( $f_c$ )

A resistência à compressão simples dos blocos foi determinada seguindo recomendações da norma da ABNT NBR – 7184/91, para cada traço e tempo de cura estudado. As Figuras 3.14 e 3.15 mostram as máquinas utilizadas para os ensaios de resistência à compressão simples ( $f_c$ ).

**FIGURA 3.14** - Máquina utilizada para ensaios de resistência à compressão simples ( $f_c$ ) de blocos de vedação



**FIGURA 3.15** - Máquina utilizada para ensaios de resistência à compressão simples ( $f_c$ ) de blocos estruturais

### **3.5 Estudo para produzir blocos alternativos com entulho**

Nessa etapa, a partir da dosagem selecionada para representar o desempenho do bloco convencional (CC), foi estudada a alternativa mais otimizada de aproveitamento do entulho, sem retirar a parte miúda, como forma de reduzir os custos de beneficiamento do resíduo. Assim, foram feitas nessa dosagem substituições do total de agregados pelo entulho triturado, com apenas a limitação de que o diâmetro máximo ( $D_{m\acute{a}x}$ ) do agregado de entulho deveria ser igual ao  $D_{m\acute{a}x}$  do agregado graúdo natural (cascalho). Dessa forma, as substituições foram estabelecidas como sendo 30%, 60% e 100% de entulho em relação à massa total dos agregados naturais (areia e cascalho). Porém a proporção entre os dois agregados naturais (areia e cascalho) sempre permaneceu na relação de 50%, conforme apresenta a Tabela 3.5.

Com base nos resultados iniciais optou-se por utilizar traços, de acordo com o tipo de bloco produzido, para avaliar a substituição dos agregados naturais por entulho, como se observa na Tabela 3.10.

**TABELA 3.10 - Traços utilizados nas moldagens dos blocos**

Traço (1:m)		Dimensões dos blocos (cm)
1ª fase	2ª fase	
1:6	1:8	9 X 19 X 39 (vedação)
1:4	1:6	19 X 19 X 39 (estrutural)

Obs.: m = total de agregados;

Nos três casos de substituição (30%, 60% e 100% de entulho), foram moldados seis blocos estruturais e seis de vedação para cada composição e idade de controle (7 dias e 28 dias) e com quatro deles foram realizados ensaios de resistência à compressão simples e com dois ensaios de absorção de água, de acordo com a norma da ABNT – NBR 7182.

A relação água cimento é um complicador na determinação do traço de concreto com agregado reciclado. A quantidade de água para uma consistência ótima irá depender das características do agregado reciclado, considerando existir no entulho reciclável diversos elementos com taxas altas de absorção e porosidade. A Tabela 3.11 mostra os valores da relação água cimento para os blocos alternativos com agregado reciclado. A sua determinação foi análoga ao método utilizado para a obtenção do fator a/c para os blocos convencionais (item 3.4.3).

**TABELA 3.11 - Determinação do teor ótimo de água na mistura**

	1ª fase – CP II-F-32						2ª fase CP II-Z-32								
	1:4			1:6			1:4			1:6			1:8		
%E	30	60	100	30	60	100	30	60	100	30	60	100	30	60	100
a/c							0,37	0,47	0,60	0,55	0,69	0,88	0,76	0,85	0,99
f <sub>c</sub> (MPa)							2,23	-	-	1,15	2,00	1,04	1,28	1,25	0,52
a/c	0,37	0,48	0,61	0,50	0,58	0,80	0,41	0,53	0,65	0,59	0,74	0,93	0,81	0,90	1,10
f <sub>c</sub> (MPa)	4,34	4,26	1,46	2,59	1,93	2,65	1,46	1,07	1,58	0,47	0,60	0,72	0,64	0,79	0,98
f <sub>c</sub> (MPa)	11,25	10,38	4,44	3,33	2,67	2,38	2,20	1,55	1,96						

Obs.: E = teor de entulho incorporado; a/c = fator água/cimento e f<sub>c</sub> = resistência à compressão aos 7 dias de cura.

De acordo com a Tabela 3.11 os blocos com concreto reciclado necessita de uma maior quantidade de água para se obter a mesma trabalhabilidade quando

comparados com os blocos convencionais de mesmo traço. A falta da citação das resistências à compressão simples ( $f_c$ ) para os valores referentes às relações a/c 0,47 e 0,60, para blocos com incorporações de 60% e 100% de entulho respectivamente, com traço 1:4, foi devido à impossibilidade de moldagem dos blocos com valores de a/c tão pequenos.

### 3.6 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos - tipo 1

Os corpos de prova denominados tipo 1, foram confeccionados em moldes cilíndricos de metal não corrosivo com base rosquiada (Figura 3.16). Com dimensões básicas de 50 mm de diâmetro interno e 100 mm de altura. A moldagem obedeceu a Norma da ABNT – NBR 5738/94. Após o desmolde os corpos-de-prova foram catalogados e levados para a câmara úmida (Figura 3.12), desmoldados após 24 horas e posteriormente submetidos ao ensaio de durabilidade e ensaios específicos de: difração de raios-X e análise térmica.



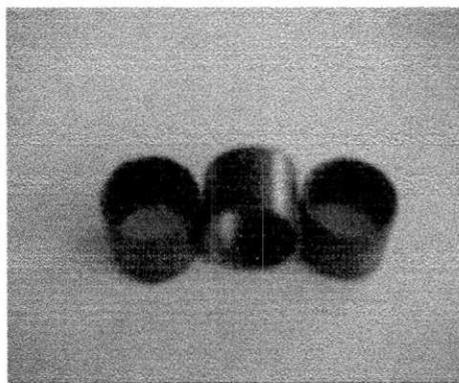
FIGURA 3.16 - Moldagem dos corpos-de-prova tipo 1

### 3.7 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos - tipo 2

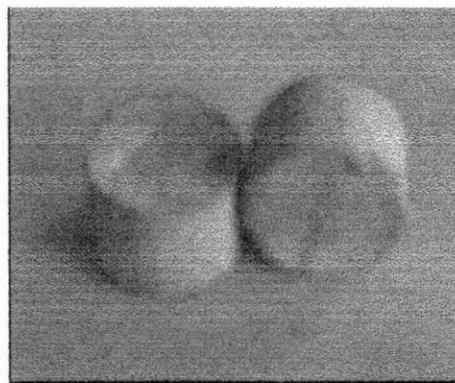
A partir do estudo realizado com os blocos de concreto com e sem função estrutural (resistência à compressão e absorção de água) constatou-se que o traço

1:8 foi aquele que apresentou melhor desempenho com o menor consumo de cimento. Por isso a elaboração destes corpos-de-prova teve como objetivo analisar o indicativo do efeito pozolânico da parte fina do entulho presente no agregado reciclado com o cimento Portland. Através desta reação é possível explicar o melhor desempenho para o citado traço.

Os corpos-de-prova denominados tipo 2 (Figura 3.18), foram confeccionados em moldes cilíndricos de cloreto de polivinila - PVC (Figura 3.17), com dimensões básicas de 22,4mm de diâmetro externo e 30 mm de altura. A mistura foi composta de cimento, entulho em pó (passado na peneira nº100 com abertura de 0,15mm), e água nas mesmas proporções utilizadas para os blocos com traço 1:8, conforme está apresentada na Tabela 3.12. Após o desmolde os corpos-de-prova tipo 2 foram catalogados e levados para a câmara úmida (Figura 3.9), desmoldados após 24 horas e posteriormente submetidos ao ensaio de durabilidade e ensaios específicos de: difração de raios-X e análise térmica.



**FIGURA 3.17** - Moldes cilíndricos tipo 2



**FIGURA 3.18** - Corpos-de-prova cilíndricos tipo 2

A moldagem obedeceu ao seguinte procedimento: colocou-se os moldes em uma superfície de acrílico plana, vedando-se as laterais com massa de modelar. Em seguida adicionou-se a mistura ao molde, em duas camadas, com o auxílio de uma espátula. Fez-se o adensamento aplicando 15 golpes por camada com um soquete metálico com diâmetro de 12,2. Em seguida, as amostras foram levadas para a câmara úmida (Figura 3.12) em conjunto com os corpos-de-prova de mesmo traço; após 24 horas, as amostras foram desmoldados e submetidos ao mesmo processo de cura dos corpos-de-prova tipo 1, para o ensaio de durabilidade.

**TABELA 3.12 - Parâmetros utilizados para a confecção dos corpos-de-prova, tipo-2**

Tipo	Referência	Teor de entulho nas misturas	1 : m	
			1 : 8	a/c
Convencional	A-28-h	0%	1 : 0	0,67
	A-52-h			
	A-52-e			
	B-28-h	30%	1 : 2,4	0,84
	B-52-h			
	B-52-e			
Alternativos	C-28-h	60%	1 : 4,8	0,96
	C-52-h			
	C-52-e			
	D-28-h	100%	1 : 8	1,20
	D-52-h			
	D-52-e			

Obs.: Na referência das amostras "A" corresponde a 0% de entulho, "B" 30% de entulho, "C" 60% de entulho e "D" 100% de entulho na mistura; 28 e 52 equivalem aos dias de cura das amostras; h = hidratado, e = envelhecido, m = total de agregados e a/c fator água cimento.

### 3.8 Ensaio de durabilidade

#### 3.8.1 Método molhagem e secagem modificado

Para a realização do ensaio de durabilidade pelo método de molhagem e secagem, foram estudados dois traços distintos de concreto para cada fase. Na primeira fase foram utilizados os traços (1:4 e 1:6); na segunda fase os traços (1:6 e 1:8). Para moldar amostras com concreto convencional (sem entulho) e com concreto alternativo (com entulho 30%, 60% e 100%), foram utilizadas sempre quatro composições por traço nas comparações (Tabela 3.13 e 3.14). Para cada composição foram moldados 56 corpos-de-prova – tipo 1, representando no total 448 corpos-de-prova - tipo 1 ensaiados. Esses traços tiveram a mesma trabalhabilidade (consistência seca) adequada para fabricação de pré-moldados (blocos de concreto).

**TABELA 3.13** - Identificação das amostras confeccionadas com o cimento CP-II-F 32, ensaiadas na primeira fase em função dos traços (em massa)

Traço		1:m		1:m		
		1:4		1:6		
		1:a:p:	a/c	1:a:p:	a/c	
Convencional	A	1:2:2	0,33	1:3:3	0,41	
		Teor de entulho nas misturas	1 : a : p : e		1 : a : p : e	
Alternativos	B	30%	1:1,4:1,4:1,2	0,37	1:2,1:2,1:1,8	0,50
	C	60%	1:0,8:0,8:2,4	0,48	1:1,2:1,2:3,6	0,58
	D	100%	1:0,0:0,0:4,0	0,61	1:0,0:0,0:6,0	0,88

Obs.: A corresponde a 0% de entulho, B 30% de entulho, C 60% de entulho e D 100% de entulho na mistura; m = total de agregados; a = areia; p = cascalho (pedrisco); e = agregado de entulho triturado e a/c fator água cimento.

Para empregar o ensaio de durabilidade pelo método de molhagem e secagem modificado, na avaliação da durabilidade de blocos convencionais e alternativos com e sem função estrutural, foi necessário fazer adaptações/modificações na norma de ensaio de durabilidade para solo/cimento (Norma da ABNT – NBR 13554). Essa adaptação consiste em utilizar a resistência à compressão como indicador de degradação, de acordo com o esquema apresentado na Tabela 3.15.

**TABELA 3.14** - Identificação das amostras confeccionadas com o cimento CP-II-Z 32, ensaiadas na segunda fase em função dos traços (em massa)

Traço		1:m		1:m		
		1:6		1:8		
		1:a:p:	a/c	1:a:p:	a/c	
Convencional	A	1:3:3	0,49	1:4:4	0,67	
		Teor de entulho nas misturas	1 : a : p : e		1 : a : p : e	
Alternativos	B	30%	1:2,1:2,1:1,8	0,64	1:2,8:2,8:2,4	0,84
	C	60%	1:1,2:1,2:3,6	0,79	1:1,6:1,6:4,8	0,96
	D	100%	1:0,0:0,0:6,0	0,93	1:0,0:0,0:8,0	1,20

Obs.: A corresponde a 0% de entulho, B 30% de entulho, C 60% de entulho e D 100% de entulho na mistura; m = total de agregados; a = areia; p = cascalho (pedrisco); e = agregado de entulho triturado.

Logo após a moldagem, os corpos de provas foram colocados juntamente com os moldes dentro da câmara úmida com temperatura em torno de 23°C e umidade relativa maior que 95%. No dia seguinte, após a desmoldagem, os corpos-de-prova foram colocados em tanques com água para continuar o regime de cura através de imersão até as idades de controle.

Decorrido o tempo de cura (28 dias), foram retirados do tanque de cura 4 (quatro) corpos de prova, de cada composição e, após um período de aproximadamente 5 horas de secagem ao ar, determinou-se à resistência a compressão simples ( $f_c$ ). A média desses resultados correspondeu ao ciclo de número zero apresentado na Tabela 3.15. Outros 4 (quatro) corpos-de-prova permaneceram em tanques de cura (imersão em água) até os 52 dias de idade que coincide com o 12º ciclo de ensaio, quando também foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

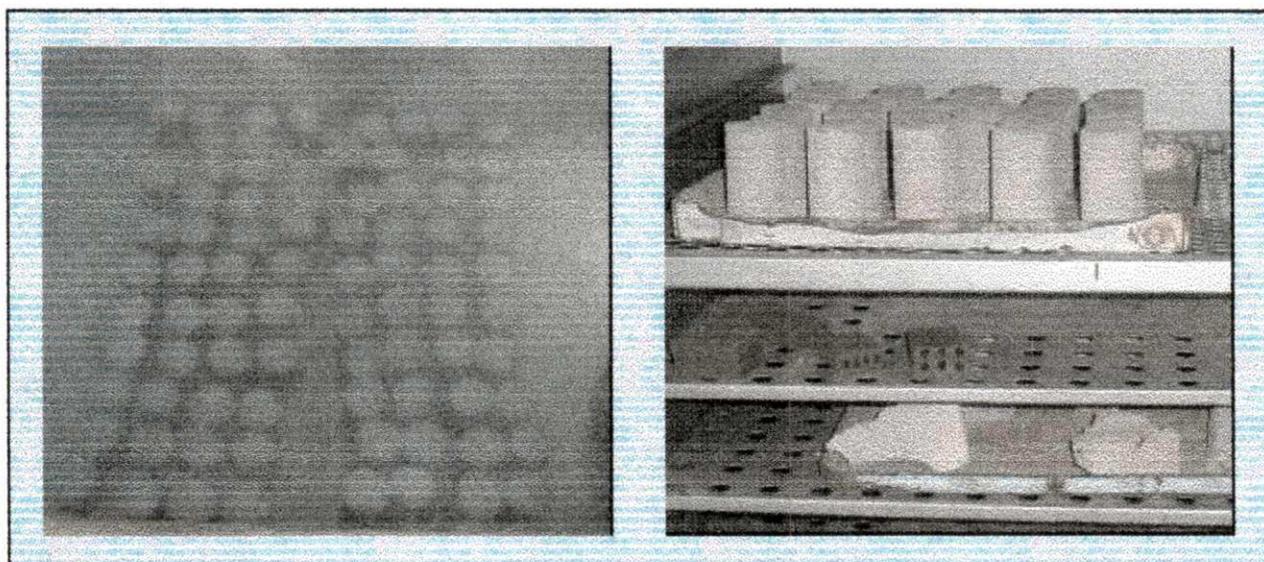
**TABELA 3.15** - Detalhamento das etapas do ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) para cada composição avaliada

		Ciclos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Número de corpos-de-prova ensaiados	Secagem		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	imersão em água permanente	56	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	estufa 71°C ar			48	44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4
	ciclo			44	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	
	hora		5	42	5	42	5	42	5	42	5	42	5	42	5
Idade	horas	672	677	719	724	766	771	813	818	860	865	907	912	954	959
	dias	28													
	horas														
	dias														52

Obs.: 4 = etapa em que se retiravam 4 corpos-de-prova para realizar o ensaio de resistência à compressão

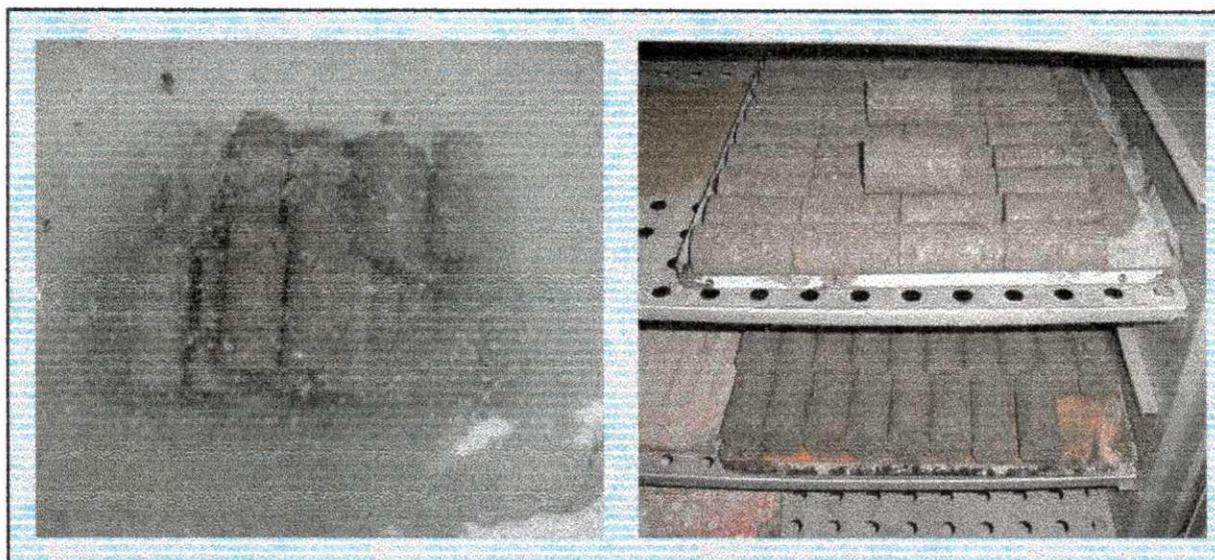
Portanto, dentre os 56 corpos-de-prova, 8 deles serviram para representar o desempenho das amostras protegidas do fator de degradação (hidratação normal sem passarem pelos 12 ciclos de molhagem e secagem) e os outros 48 (quarenta e oito) restantes foram submetidos ao ensaio de durabilidade pelo método de molhagem e secagem modificado, que consistiu nas seguintes etapas:

- Cada ciclo de molhagem e secagem corresponde a períodos de 5 horas de molhagem em tanques de cura e 42 horas de secagem em estufa com temperatura regulada em 71°C (Figura 3.19 e 3.20).
- Ao final de cada ciclo completo de molhagem e secagem, foram retirados quatro corpos-de-prova para serem submetidos a ensaios de resistência à compressão (Figura 3.21).



**FIGURA 3.19** – Corpos-de-prova cilíndricos, tipo 1 confeccionados com cimento CP II-F-32, quando submetidos ao ciclo de molhagem e secagem durante a primeira fase

As Figuras 3.19 e 3.20 mostram os corpos-de-prova na estufa e no tanque de cura úmida. Observa-se que os corpos-de-prova da Figura 3.19 estão posicionados verticalmente, desta forma os corpos-de-prova apresentavam umidade na base inferior. Assim, decidiu-se colocar os corpos-de-prova na posição horizontal (Figura 3.20) e, com esta mudança, tal fenômeno não foi mais constatado.



**FIGURA 3.20** - Corpos-de-prova cilíndricos, tipo 1 confeccionados com cimento CP II-Z-32 quando submetidos ao ciclo de molhagem e secagem durante a segunda fase



**FIGURA 3.21** - Máquina utilizada para ensaios de resistência à compressão simples de corpos-de-prova tipo 1 cilíndricos para os ensaios de durabilidade

### *3.8.2 Método molhagem e secagem equivalente*

A metodologia adotada neste ensaio de durabilidade por molhagem e secagem equivalente é também uma adaptação da Norma da ABNT – NBR 13554/96, que se refere à avaliação para solo-cimento. Nesta norma é indicada a

necessidade de medir propriedades, tais como, a variação do volume, a variação de umidade e a perda de massa das amostras como fatores de envelhecimento. Em se tratando de compósitos de concreto decidiu-se acrescentar a essa metodologia a determinação da resistência à compressão simples e absorção de água, havendo sempre comparações entre amostras protegidas e não protegidas dos fatores de envelhecimento.

Este ensaio foi adotado na segunda fase deste trabalho, como um ensaio acessório, por isso foi utilizado o cimento portland CP II-Z-32. Foi estabelecido o traço 1:4 para moldar amostras com concreto convencional (sem entulho) e com concreto alternativo (com entulho 30%, 60% e 100%), como apresenta a Tabela 3.16. Optou-se por trabalhar com consistência seca dos compósitos que é aquela mais adequada para fabricação de certos tipos de pré-moldados. Os corpos-de-prova foram confeccionados em moldes cilíndricos com dimensões 5 cm de diâmetro x 10 cm de altura, segundo a Norma da ABNT NBR – 5738/94. Os resultados e discussão deste ensaio encontram-se no anexo A.

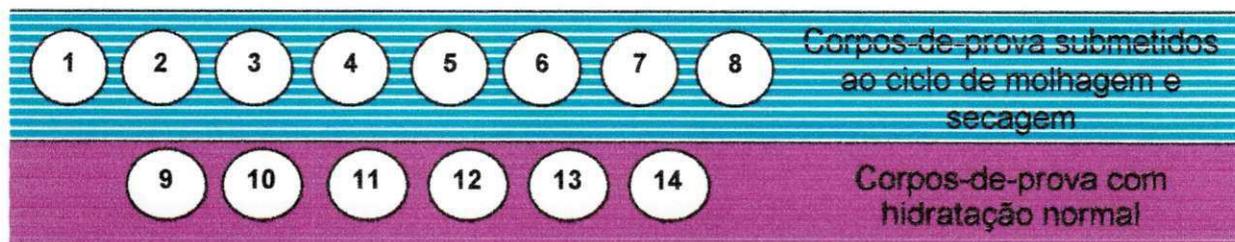
**TABELA 3.16** - Identificação das amostras ensaiadas na segunda fase em função dos traços (em massa)

Traço		1 : m	1 : 4	
		1 : a : p :	a/c	
Convencional	A	1 : 2 : 2	0,38	
	Teor de entulho nas misturas		1 : a : p : e	
Alternativos	B	30%	1 : 1,4 : 1,4 : 1,2	0,47
	C	60%	1 : 0,8 : 0,8 : 2,4	0,60
	D	100%	1 : 0,0 : 0,0 : 4,0	0,72

Obs.: A corresponde a 0% de entulho, B 30% de entulho, C 60% de entulho e D 100% de entulho na mistura, m = total de agregados; a = areia; p = cascalho (pedrisco); e = agregado de entulho triturado.

O ensaio consistiu em moldar 14 (quatorze) corpos-de-prova para cada composição, representando no total 56 corpos-de-prova ensaiados.

Dos 14 (quatorze) corpos-de-prova ensaiados para cada composição, 6 serviram para representar o desempenho das amostras protegidas do fator de degradação, como pode ser observado na Figura 3.22.



**FIGURA 3.22** - Divisão dos corpos-de-prova (CP) para serem submetidos ao ensaio de molhagem e secagem equivalente

Assim, para cada composição (teor de entulho = 0%, 30%, 60% e 100%) sempre 8 (oito) amostras foram submetidas ao ensaio de molhagem e secagem, nas quais os CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04 foram usados para obter as variações de volume e de umidade, sendo estes utilizados posteriormente para a avaliação da resistência a compressão simples e absorção. Os CP-05, CP-06, CP-07 e CP-08 foram utilizados para a obtenção da perda de massa.

O ciclo de molhagem e secagem consistiu nas seguintes etapas:

- a) durante a moldagem dos corpos-de-prova determinou-se o teor de umidade da mistura e a massa inicial úmida dos corpos-de-prova selecionados para os ciclos de molhagem e secagem;
- b) imediatamente após a desmoldagem determinou-se o volume inicial  $V_i$  dos CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04;
- c) decorrido o tempo de cura de 7 dias retirou-se os 8 (oito) corpos-de-prova que foram submetidos aos ciclos de molhagem e secagem de cada composição e determinou-se dos CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04 o volume e a massa (tirou-se o excesso de água superficial do corpo de prova com um pano úmido);
- d) colocaram-se os 8 corpos-de-prova na estufa à temperatura de  $(71 \pm 2)^\circ\text{C}$  por 42 horas e então determinado novamente a massa e o volume dos CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04;
- e) escovou-se a superfície dos CP-05, CP-06, CP-07 e CP-08 com uma escova de tiras de aço onde as dimensões da mesma foram maiores que a do corpo-de-prova. A escovação foi aplicada com o seu eixo longitudinal paralelo ao eixo longitudinal do corpo-de-prova e paralelo as suas bases. Foram realizadas 18 a 20 escovações verticais para cobrir a área lateral e quatro para cada uma das bases, sendo duas em uma direção e outras duas em

uma direção perpendicular. O esfriamento e a escovação não excederam o prazo de 1 hora após a retirada da estufa.

O procedimento descrito de (c) a (e) corresponde ao ciclo 0 de molhagem e secagem. Portanto cada ciclo de molhagem e secagem corresponde a períodos de 5 horas de molhagem em tanques de cura e 42 horas de secagem em estufa com temperatura regulada em torno de 71°C. Repetiu-se o procedimento para mais 7 ciclos conforme o diagrama da Figura 3.23.

No 7º ciclo, os corpos-de-prova foram levados à estufa com temperatura de 105°C a 110°C até atingir massa constante.

Terminado o ensaio, determinou-se à resistência a compressão simples de 4 corpos-de-prova que permaneceram imersos durante todo o processo de envelhecimento acelerado (CP-09, CP-10, CP-11 e CP-12) juntamente com os CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04.

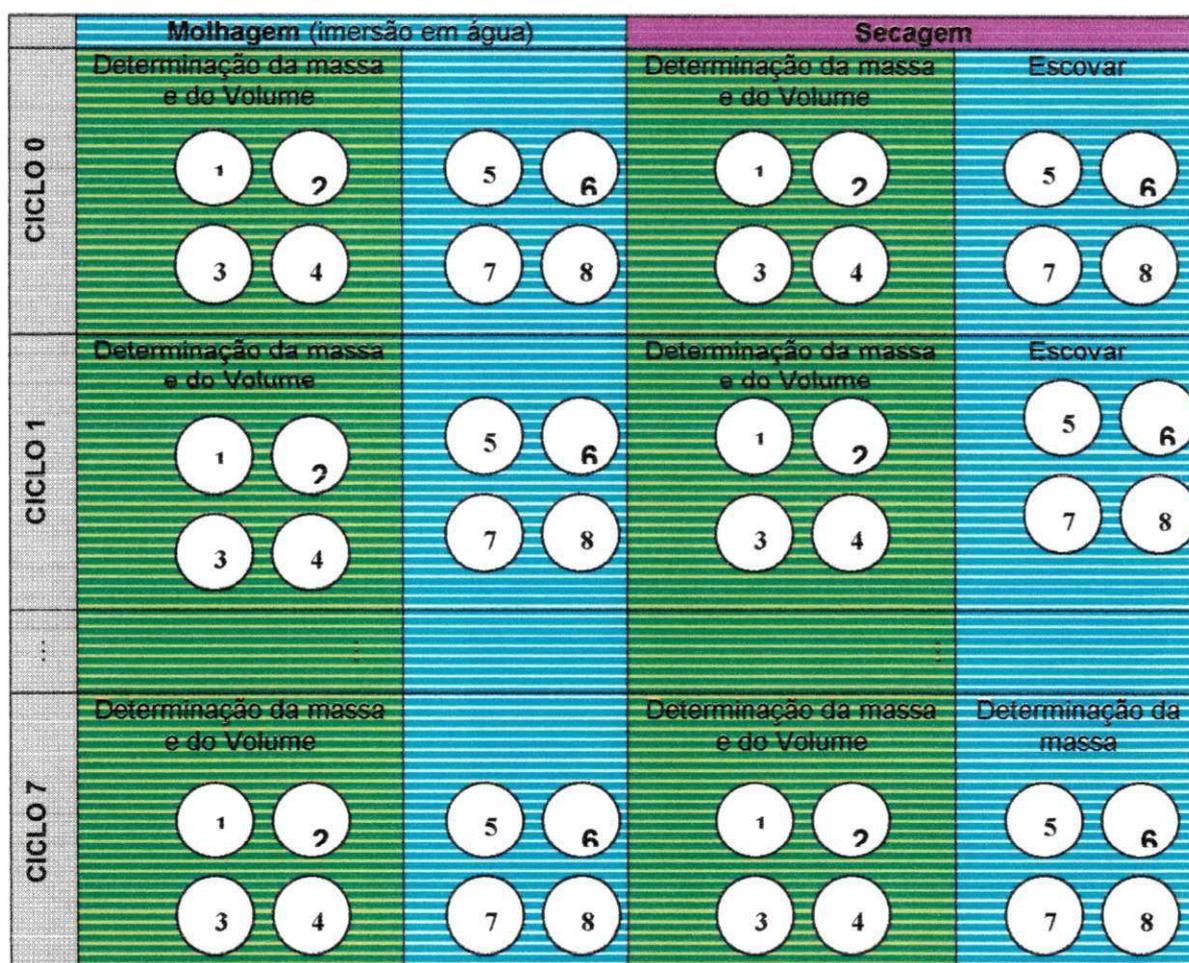


FIGURA 3.23 - Diagrama do ciclo de molhagem e secagem equivalente

Para efeito de comparação determinou-se a absorção com os 2 corpos-de-prova restantes (CP-13 e CP-14) que ficaram imersos durante o processo.

Para calcular as variações de volume ocorridas nos corpos-de-prova entre o final da moldagem e os volumes obtidos após cada etapa e expressá-las em porcentagem do volume inicial, utilizou-se a seguinte expressão:

$$\delta_{v,n} = \frac{V_i - V_n}{V_i} \times 100 \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

$\delta_{v,n}$  = variação de volume do corpo-de-prova em cada etapa, %;

$V_i$  = volume inicial do corpo-de-prova determinado na desmoldagem,  $\text{cm}^3$ ;

$V_n$  = volume do corpo-de-prova em cada etapa,  $\text{cm}^3$ .

Como se utilizaram 4 corpos-de-prova têm-se que a variação de volume para cada composição e para cada etapa (ciclo) foi a média dos mesmos.

Para calcular a umidade dos corpos-de-prova entre os ciclos de molhagem e secagem obtidas após cada etapa utilizou-se a seguinte expressão:

$$\delta_{h,n} = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

$\delta_{h,n}$  = umidade do corpo-de-prova em cada etapa, %;

$M_u$  = massa úmida do corpo-de-prova em cada ciclo, g;

$M_s$  = massa seca do corpo-de-prova em cada ciclo, g.

Como se utilizaram 4 corpos-de-prova têm-se que a absorção de cada composição em cada etapa (ciclo) foi à média dos mesmos. O 7º ciclo corresponde à absorção do compósito.

Para calcular a perda de massa dos corpos-de-prova no fim dos ciclos de molhagem e secagem foi necessário obter a quantidade relativa de água nos CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04 utilizando a seguinte expressão:

$$A_n = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 3.4})$$

Onde:

$A_n$  = água retida no corpo-de-prova;

$M_f$  = massa seca final do corpo-de-prova após atingir massa constante, g;

$M_i$  = massa seca inicial do corpo-de-prova calculada na moldagem, g.

Como se utilizaram 4 corpos-de-prova têm-se que a água retida  $A_n$  foi a media dos mesmos.

Para corrigir as massas secas dos corpos-de-prova selecionados para a obtenção da perda de massa teve-se que descontar a água que reagiu com o cimento durante o ensaio e que ficou retida no corpo-de-prova, conforme a expressão a seguir:

$$M_{fc} = \frac{M_f}{A + 1,00} \times 100 \quad (\text{Equação 3.5})$$

Onde:

$M_{fc}$  = massa seca final corrigida dos corpos-de-prova, g;

$M_f$  = massa seca final do corpo-de-prova após atingir massa constante, g;

$A_n$  = água retida no corpo-de-prova;

Para calcular a perda de massa dos corpos-de-prova como porcentagem da massa seca inicial utilizou-se a seguinte expressão:

$$P_n = \frac{M_i - M_{fc}}{M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 3.6})$$

Onde:

$M_i$  = massa seca inicial calculada na moldagem do corpo-de-prova, em gramas;

$M_{fc}$  = massa seca final corrigida dos corpos-de-prova, em gramas;

$P_n$  = perda de massa do corpo-de-prova em %.

Como se utilizou 4 corpos-de-prova têm-se que a perda de massa de cada composição foi a media dos mesmos.

A resistência à compressão simples foi determinada segundo as recomendações da NBR 5739/94. Para a depuração dos resultados de resistência à compressão simples ( $f_c$ ) obtido para cada mistura foi aplicado o critério de "Chauvenet". Para avaliar a evolução da resistência mecânica das dosagens, utilizaram-se 4 medidas ou 4 corpos-de-prova, ou seja, "n" = 4 (quatro) e, portanto,  $P_x = 0,125$  (desvio máximo de 12,5%). Dessa forma, foram rejeitados aqueles valores que tiveram desvio máximo de  $\pm 12,5\%$  em relação à média (entre os quatro resultados por idade).

## **CAPÍTULO VI - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nesta pesquisa em seus diversos itens. No item 4.1 são apresentados e discutidos os ensaios de caracterização física dos agregados naturais e agregado alternativo (entulho), e, caracterização mineralógica do agregado alternativo, todos utilizados para a confecção dos blocos de concreto. A caracterização física dos agregados naturais e do agregado alternativo inclui a distribuição granulométrica, massa específica e massa unitária, determinação de materiais pulverulentos e teor de argila em torrões de areia. A caracterização mineralógica do agregado alternativo inclui a composição química, análise térmica e termogravimétrica e difração de raios-X. Nos itens 4.2 e 4.3 são apresentados e discutidos os ensaios de absorção de água e de resistência a compressão simples dos blocos de concreto estruturais e dos blocos de vedação, respectivamente. O item 4.4 apresenta e discute o ensaio de durabilidade pelo método de molhagem e secagem para as amostras de concreto confeccionado em moldes cilíndrico de 5cm de diâmetro por 10cm de comprimento. Este ensaio de durabilidade é composto pelo método do envelhecimento acelerado modificado. Por fim o item 4.5 apresenta e discute a caracterização dos constituintes das amostras de concreto e das pastas compostas de cimento e água, e cimento, entulho e água após ensaios de durabilidade. Esta caracterização inclui a determinação de análise térmica e difração de raios-X.

### **4.1 Caracterização dos Materiais**

#### *4.1.1 Agregados*

##### **4.1.1.1 Naturais**

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os resultados dos ensaios de granulometria dos agregados naturais (areia e cascalho, respectivamente), realizados segundos a Norma da ABNT – NBR 7211/87.

**TABELA 4.1:** Granulometria do agregado miúdo (areia).

Abertura da peneira (#) (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	0,45	0,45	99,55
4,8	0,41	0,86	99,14
2,4	1,45	2,31	97,69
1,2	5,52	7,83	92,17
0,6	23,79	31,62	68,38
0,3	<b>50,83</b>	82,45	17,55
0,15	<b>15,88</b>	98,33	1,67
Resto	1,67	100,00	0,00
$\phi_{\text{máx}} = 2,4\text{mm}$		Módulo de finura = 2,24	Zona 2

A análise granulométrica da areia do rio Paraíba é classificada, segundo a NBR 7211 da ABNT em seu item 5.1.1, como fina pertencente à zona 2, e atende ao critério relacionado à soma das percentagens retidas nas peneiras de aberturas 0,15mm e 0,30mm (com cerca de 50 %). Esse critério é importante para propiciar melhor acabamento na superfície dos blocos.

**TABELA 4.2:** Granulometria do agregado graúdo (cascalho)

Abertura da peneira (#) (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	0,99	0,99	99,01
4,8	49,07	50,06	49,94
2,4	20,87	79,93	20,07
1,2	7,19	87,13	12,87
0,6	4,48	91,61	8,39
0,3	3,22	94,83	5,17
0,15	2,67	97,50	2,50
Resto	2,33	99,83	0,17
$\phi_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$		Módulo de finura = 4,99	

A limitação do diâmetro máximo do agregado graúdo é importante, tendo em vista as dimensões dos moldes que se pretende utilizar na confecção dos blocos de concreto que serão testados posteriormente. Recomenda-se que esse diâmetro seja no máximo igual à metade da espessura dos moldes que, neste caso, é referida à espessura das paredes dos blocos. Como a espessura do bloco de vedação é cerca de 20 mm e o cascalho utilizado tem  $\phi_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$ , conforme o resultado da granulometria, observa-se que essa recomendação é atendida. Verifica-se, portanto, que este é um agregado graúdo de graduação zero, portanto trata-se de uma brita "0" (zero).

#### **Observações:**

##### **1. Módulo de finura (MF):**

É a soma das porcentagens retida e acumulada em massa de um agregado, nas peneiras a série normal, dividida por 100 (NBR 7217);

##### **2. Dimensão máxima característica ou diâmetro máximo de um agregado**

( $\phi_{\text{máx}}$ ):

É a abertura da peneira em milímetros em que fica acumulada uma percentagem igual ou imediatamente inferior a 5% (NBR 7217).

- Massa específica e massa unitária dos agregados naturais

A massa específica do agregado graúdo (cascalho) é empregada para a determinação do volume de vazios a ser preenchida pela argamassa e para estabelecimento de parâmetro de comparação. A determinação da massa específica dos materiais é muito importante para a dosagem de concreto, pois conhecendo o seu resultado é possível calcular o consumo de materiais utilizados para a produção das misturas. Para a determinação da massa unitária consideram-se os vazios permeáveis, os vazios impermeáveis e os vazios entre os grãos do agregado miúdo.

A Tabela 4.3 mostram os valores da massa específica segundo as normas da ABNT – NBR 9776/87 e NBR – 9937/87 e a massa unitária (NBR – 7251/82) obtida para a areia e o cascalho, respectivamente, empregados no preparo do concreto para a obtenção dos blocos com e sem função estrutural.

**TABELA 4.3:** Determinações da massa específica e massa unitária dos agregados naturais

Agregado naturais	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
Areia	2,59	1,44
Cascalho	2,63	1,39

As massas específicas dos agregados, possuem reflexo direto na massa específica do concreto, já que ele contribui com cerca de 80% da massa do concreto (cimento, água e agregado). É o único que tem densidades variáveis. A importância de se determinar a massa unitária está na possibilidade de converter as composições do concreto dadas em volume para massa e vice-versa. (BAUER *et al*, 1997).

De acordo com os estudos de PETRUCCI (1998) a massa específica ideal para o agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (cascalho) são em torno de 2,60 g/cm<sup>3</sup> e 2,65 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Já para a massa unitária destes agregados os valores são de 1,50 g/cm<sup>3</sup> para a areia e de 1,40 g/cm<sup>3</sup> para o cascalho. Pode-se perceber que os resultados encontrados para estes agregados naturais, estão bastante próximos dos valores encontrados na literatura.

A Tabela 4.4 apresenta o teor de materiais pulverulentos e o teor de argila em torrões contidos na areia segundo as normas da ABNT – NBR – 7211.

Os torrões de argilas e os materiais pulverulentos são considerados substâncias nocivas ao concreto, sendo capazes de prejudicar o desempenho do concreto. A determinação do teor de materiais pulverulentos presentes no agregado miúdo caracteriza a quantidade de partículas com diâmetro inferior a abertura da peneira de malha nº 200 (0,075 mm) conforme a norma NBR 7211 da ABNT. Os materiais pulverulentos são partículas minerais, inclusive as partículas solúveis em água, presentes no agregado miúdo. Partículas finas até o limite recomendado pela norma auxiliam no preenchimento dos vazios deixados pela areia e argamassa que facilita o envolvimento da areia pelo cimento. Por outro lado se houver excesso de partículas finas, estas envolvem as partículas de cimento com prejuízo às propriedades do concreto. O excesso de materiais pulverulentos exige a adição de uma quantidade de água para a hidratação do cimento, o que aumenta a quantidade

de vazios no concreto e causa a queda de resistência mecânica e da durabilidade do concreto. A determinação do teor de torrões de argila presentes no agregado miúdo indica o percentual de argila presente no agregado miúdo. Torrões de argilas acima do percentual recomendado pela norma causam queda da resistência da argamassa do concreto porque a argila possui resistência inferior às partículas de areia.

**TABELA 4.4:** Determinações do teor de materiais pulverulentos e do teor de argila em torrões da areia

	Areia	
	Limite máximo	Resultado
Teor de materiais pulverulentos (%)	5,0	0,74
Teor de argila em torrões (%)	1,5	0,95

A NBR 7211 especifica que os torrões de argila não devem exceder o limite de 1,5% em relação à massa do material. Portanto, esta areia está dentro deste padrão. Quanto à presença de material pulverulento, está bem abaixo dos limites máximos permitidos para qualquer tipo de concreto (limite máximo para concreto submetido ao desgaste superficial igual a 3% e para os demais concretos, igual a 5%, conforme a NBR 7211).

#### 4.1.1.2 Alternativo (entulho da construção civil)

- Composição química do entulho

A Tabela 4.5 apresenta a composição química do entulho da construção civil. Observando os seus valores, podemos verificar que a mesma apresenta um teor de  $\text{SiO}_2$  superior a 47 % e de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  acima de 13 %, o que indica uma provável atividade pozolânica.

**TABELA 4.5:** Composição química de entulho da construção civil utilizado neste trabalho (%)

PR	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	RI
7,4	52,44	5,75	15,99	6,16	3,63	0,83	1,30	5,96

Deve-se tomar cuidado com o elevado teor de  $K_2O$  (1,30%) e  $Na_2O$  (0,83%), pois pode propiciar o aumento do teor de álcalis no sistema (cimento + entulho + agregado) e desencadear a reação álcalis-agregado, proveniente da reação química dos álcalis e de alguns minerais silicosos. Essa reação é lenta, expansiva e pode comprometer a durabilidade dos blocos.

A Tabela 4.6 apresenta os resultados do ensaio de granulometria do entulho segundo as normas da ABNT – NBR – 7217/87, após ser triturado, onde  $\phi_{m\acute{a}x} = 12,7\text{mm}$  (referente a 15% do material retido) e Módulo de Finura = 4,11. A Figura 4.1 mostra o entulho utilizado bruto conforme coletado em obra (Figura 4.1a) e do entulho depois de beneficiado por trituração (Figura 4.1b).

**TABELA 4.6:** Resultado da granulometria do entulho da construção Civil utilizado neste trabalho (%)

Abertura da peneira (#) (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	5,97	5,97	94,03
4,8	32,77	38,74	61,26
2,4	15,77	54,51	45,49
1,2	10,50	65,01	34,99
0,6	8,77	73,78	26,22
0,3	9,27	83,05	16,95
0,15	7,25	90,30	9,70
Resto	9,46	99,77	0,24
$\phi_{m\acute{a}x} = 12,7\text{mm}$		MF = 4,11	

Para ser utilizado, o entulho com o  $\phi_{m\acute{a}x} = 12,7\text{mm}$ , foi passado em peneira com abertura de 9,5mm e usado na confecção dos blocos e dos corpos de provas.

Com essa granulometria o entulho não se enquadra em nenhuma classificação da NBR 7211/83, pelo fato de provir de um material que sai do britador primário (ZORDAN, 2000). Neste caso o entulho constitui-se de uma mescla de agregados graúdos e miúdos, pois a maioria das partículas (61,26%) passa na peneira de abertura 4,8mm. Deve-se notar também que para uma dada amostra ser

classificada como agregado miúdo (NBR 7217/87) é necessário que menos de 15% das partículas fiquem retida na peneira abertura 4,8mm.

- Massa específica e massa unitária do agregado alternativo

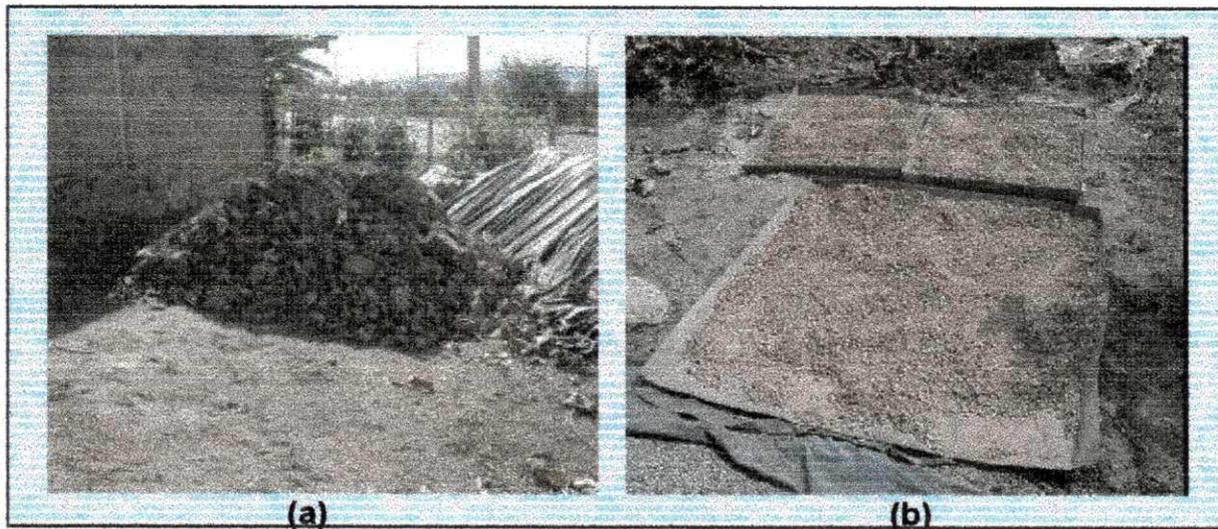
A Tabela 4.7 apresenta os valores da massa unitária e da massa específica obtidas para o entulho parte graúda e parte miúda, segundo as normas da ABNT – NBR – 7810/83, NBR – 9937/87 e NBR – 6508/87. Os valores obtidos para a massa unitária da parte graúda e miúda do entulho da construção civil foram obtidos pelo mesmo método.

**TABELA 4.7:** Determinações da massa específica e massa unitária do entulho da construção civil utilizado

Agregado alternativo	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
Entulho (parte graúda)	2,37	1,33
Entulho (parte miúda)	2,59	1,33

O agregado reciclado apresenta menor massa unitária que os agregados convencionais (Tabela 4.3). Segundo LEITE (2001) este é um dos aspectos que pode vir a interferir na dosagem de concretos com agregados reciclados.

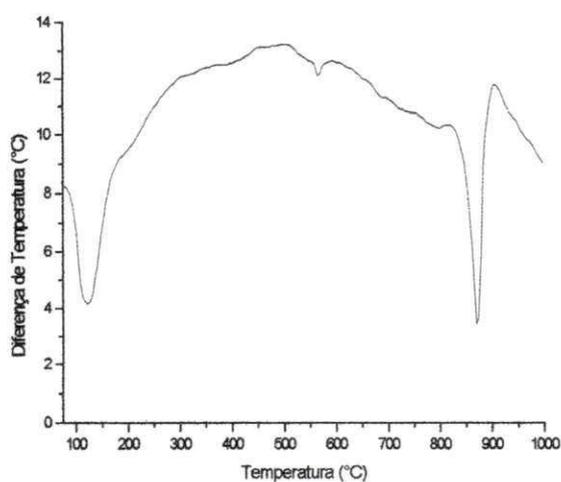
Os resultados confirmam a menor densidade do material reciclado apontada pela literatura e, confirmam ainda a necessidade da compensação das massas de material reciclado a serem utilizados nos traços de concreto para que não haja diferenças nos volumes de material quando os traços de concreto convencionais forem utilizados para misturas com concretos reciclados.



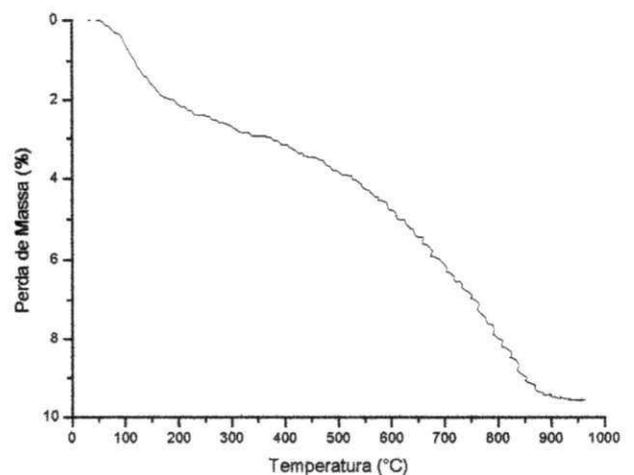
**FIGURA 4.1** – (a) Amostra da porção de entulho bruto conforme coletada em obra, (b) entulho depois de beneficiado por trituração respectivamente

- Análise térmica

A Figura 4.2 e 4.3 apresenta as curvas das análises térmica diferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) da amostra do entulho da construção civil utilizado neste trabalho.



**FIGURA 4.2:** Curva de análise térmica diferencial da amostra do entulho utilizado neste trabalho



**FIGURA 4.3:** Curva termogravimétrica da amostra do entulho utilizado neste trabalho

Analisando a curva de ATD na Figura 4.2, verifica-se que o entulho estudado apresenta um pico endotérmico de média intensidade a 110°C o que caracteriza a presença de água de livre; outro pico endotérmico de pequena intensidade a 570°C correspondente a inversão do quartzo  $\alpha$  para  $\beta$  e outro pico endotérmico de grande intensidade a 880°C que corresponde à decomposição do carbonato de cálcio também denominado calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), sugerindo grande quantidade de material carbonatado na amostra.

Com relação à curva de ATG do entulho estudado, observa-se pequena perda de massa (em torno de 2%), entre 40°C e 150°C, referente à perda de água livre e adsorvida aos grãos do entulho. Houve uma perda de massa observada entre 400°C e 600°C, provavelmente devido a desidroxilação da portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$ ); e perda de massa entre 600°C e 890°C correspondente a decarbonatação da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). A presença da brucita ( $\text{Mg(OH)}_2$ ) não foi confirmada. A perda de massa total é em torno de 9,5%.

- Difração de raios-X (DRX)

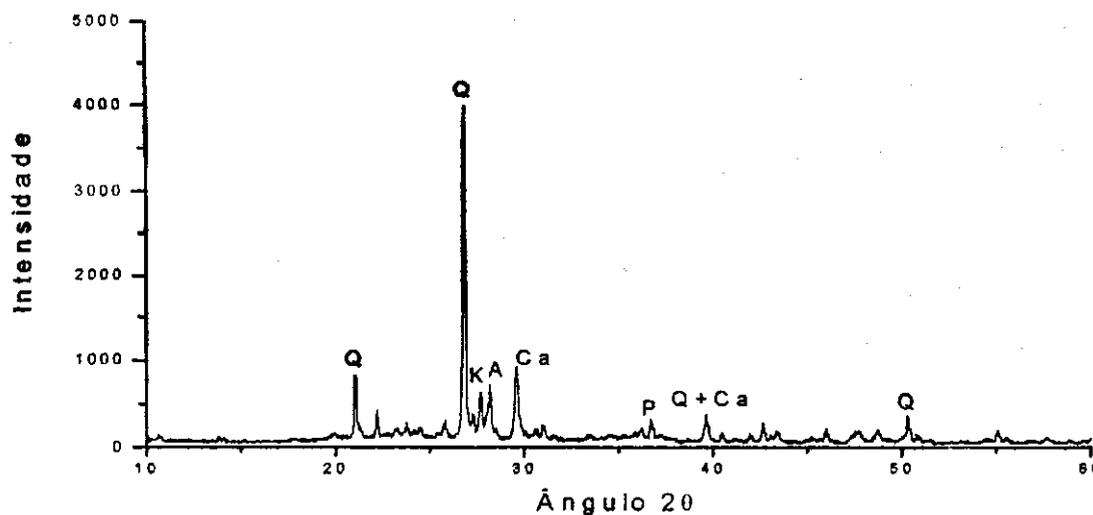
Para a identificação das fases presentes no entulho e nas amostras analisadas pela técnica DRX, adotou-se uma legenda apresentada na Tabela 4.8.

**TABELA 4.8:** Legenda adotada para as fases identificadas nos difratogramas das amostras em estudo

Legenda	Condição	Nome	Fórmula molecular
P	hidratada	Portlandita	$\text{Ca(OH)}_2$
Ca	anidra	Calcita	$\text{CaCO}_3$
Q	anidra	Quartzo	$\text{SiO}_2$
K	anidra	Óxido de potássio	$\text{K}_2\text{O}$
A	anidra	Albita	$\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$

O difratograma do entulho estudado está apresentado na Figura 4.4. De acordo com o resultado obtido, verifica-se que as fases cristalinas encontradas no entulho são compostas principalmente por quartzo (Q), calcita (Ca), que são os principais componentes de argamassa mista (cimento:cal:areia) presente no entulho. Estão presentes também em pequena quantidade a albita (A), hidróxido de potássio

(K) e portlandita (P). Não foi detectada a presença de brucita ( $Mg(OH)_2$ ) na amostra ensaiada.



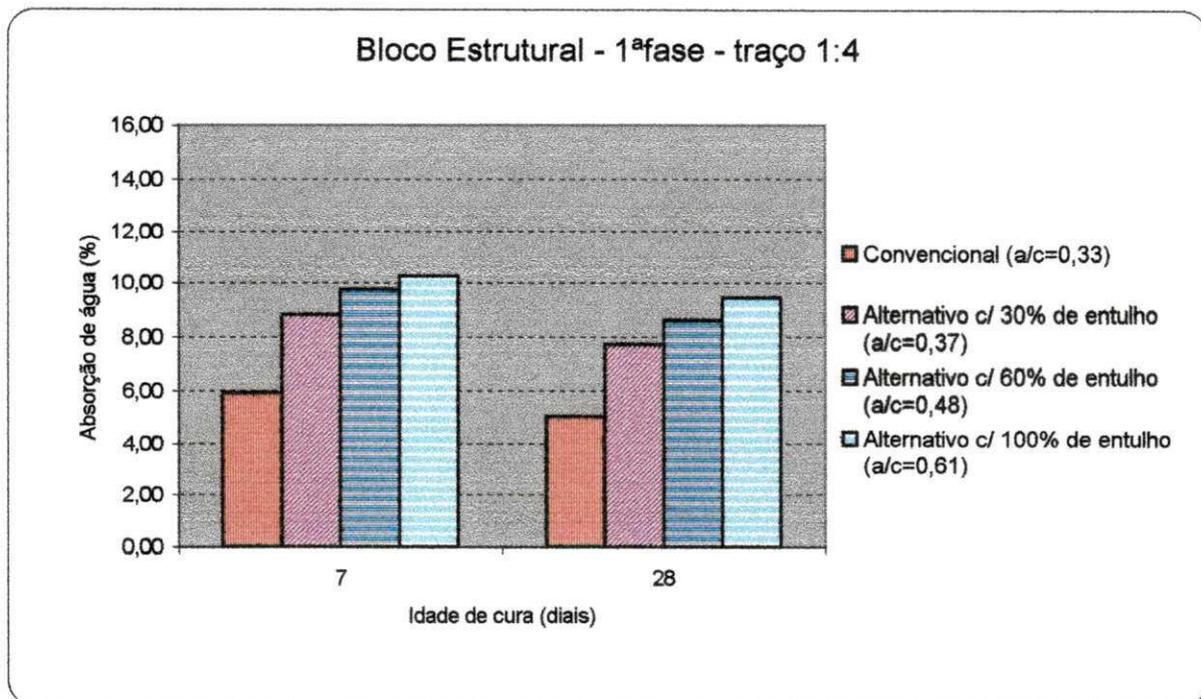
**FIGURA 4.4:** Difratograma de raios-X da amostra de entulho utilizado neste trabalho

Por outro lado, como é sabido, o entulho em estudo é composto principalmente de elementos cerâmicos vermelhos que geralmente apresentam a metacaulinita em sua composição. Tal fase é amorfa e, por consequência, não apresenta picos de difração no DRX. De qualquer forma, é possível que essa fase esteja presente, considerando que ela é a principal responsável pela atividade pozolânica do entulho.

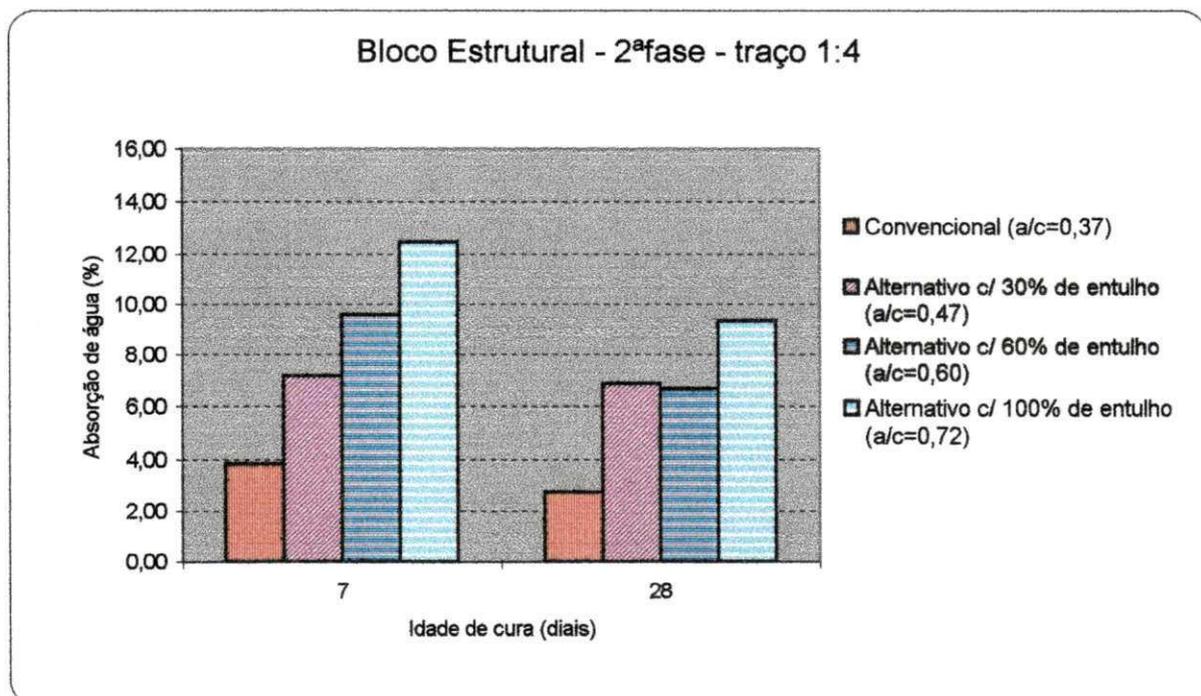
## 4.2 Caracterização quanto à absorção de água dos blocos de concreto

### 4.2.1 Blocos estruturais

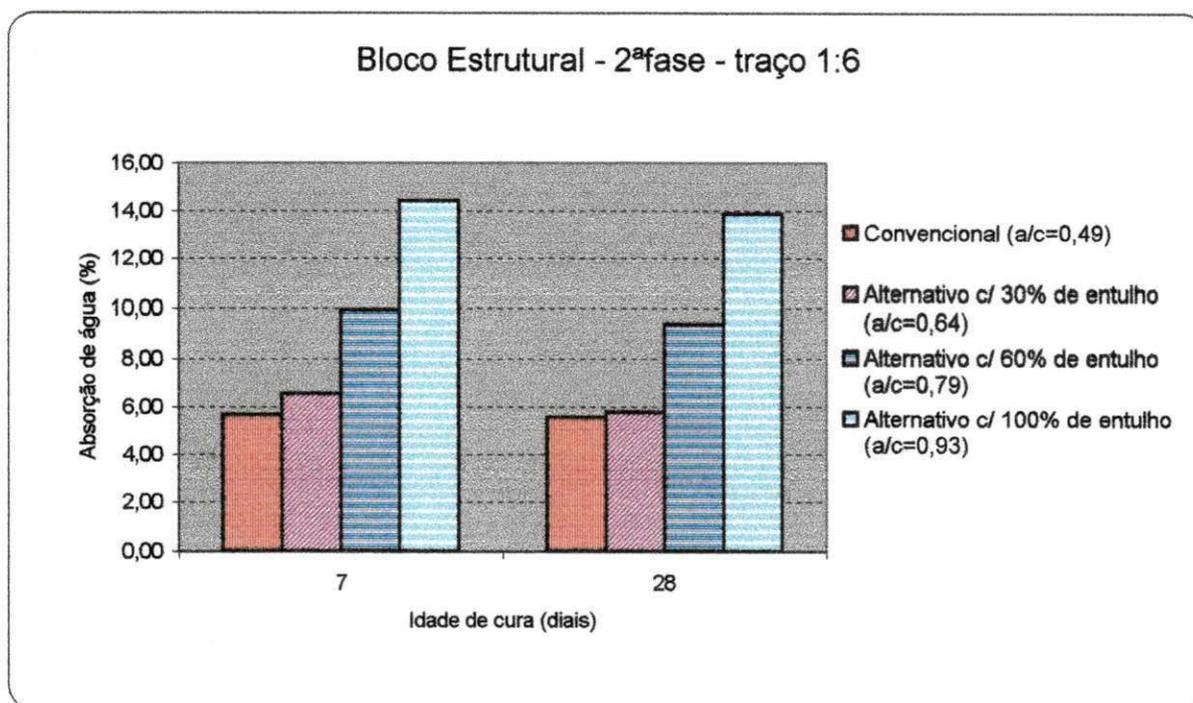
As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7, apresentam os resultados obtidos para a absorção de água de blocos estruturais de concreto, tanto na primeira fase quanto na segunda fase, considerando todas as composições.



**FIGURA 4.5:** Valores de absorção de água para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com traço 1:4 na primeira fase



**FIGURA 4.6:** Valores de absorção de água para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32 moldados com traço 1:4 na segunda fase



**FIGURA 4.7:** Valores de absorção de água para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32 moldados com traço 1:6 na segunda fase

De forma geral de acordo com as Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 percebe-se que a absorção de água diminui com o aumento do tempo de cura dos blocos, em função da redução do tamanho de poros capilares. Esse comportamento está coerente, pois a tendência natural com o progresso da hidratação (aumento do tempo de cura) das partículas de cimento Portland é o preenchimento dos poros (diminuição dos vazios) na microestrutura do concreto que repercute na redução da absorção dos blocos avaliados.

Observa-se ainda que quanto maior a porcentagem de entulho presente nos concretos alternativos maior é a absorção de água. Nesse caso, o aumento da relação água/cimento ( $a/c$ ), que ocorre na medida em que se aumenta o teor de entulho nos concretos alternativos, justifica uma maior porosidade que se reflete numa crescente absorção de água para os blocos alternativos, na ordem 30%, 60% e 100% de entulho incorporado.

Analisando as Figuras 4.5 a 4.7 pode-se observar que todos os resultados obtidos de absorção de água correspondente à idade de 7 dias de cura, para os

blocos convencionais e alternativos, com 30% e 60% de entulho incorporado, são aceitáveis ao limite máximo (10%) preconizado na norma da ABNT – NBR 6136.

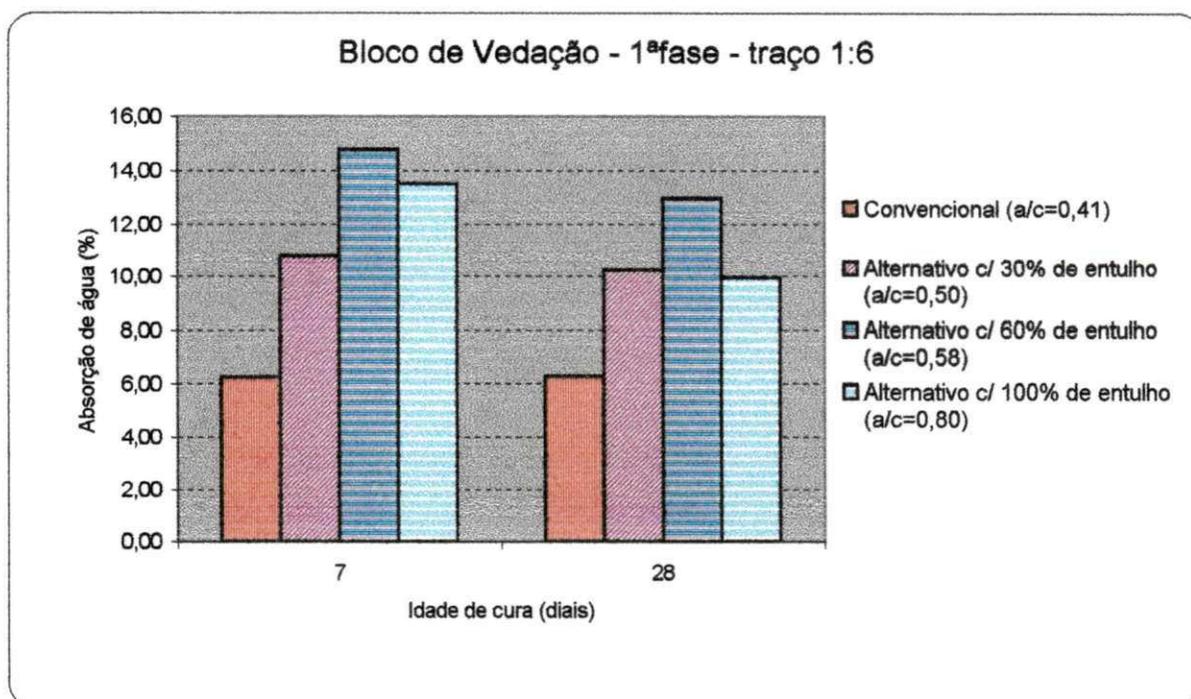
Através das Figuras 4.5 e 4.6 pode-se observar que os resultados obtidos de absorção de água correspondente à idade de 28 dias, com todos os blocos (convencionais e alternativos) são inferiores ao limite máximo preconizado na norma da ABNT – NBR 6136, ( $Abs < 10\%$ ), com exceção do traço 1:6 com 100% de entulho incorporado. Portanto, por esse critério (absorção de água) todos os blocos são aceitáveis com exceção do traço citado anteriormente.

Pode-se observar também que os blocos alternativos apresentam maior absorção de água comparado ao bloco convencional. Esse comportamento deve estar relacionado à maior relação a/c e à maior porosidade inerente aos blocos alternativos, que utilizam agregados provenientes de entulho. Comparando os resultados da primeira fase (Figura 4.5) com os da segunda fase (Figura 4.6) para o traço 1:4, observa-se que em geral, o aumento da relação a/c não significou aumento da absorção de água, pelo contrário, até melhorou essa propriedade nas amostras.

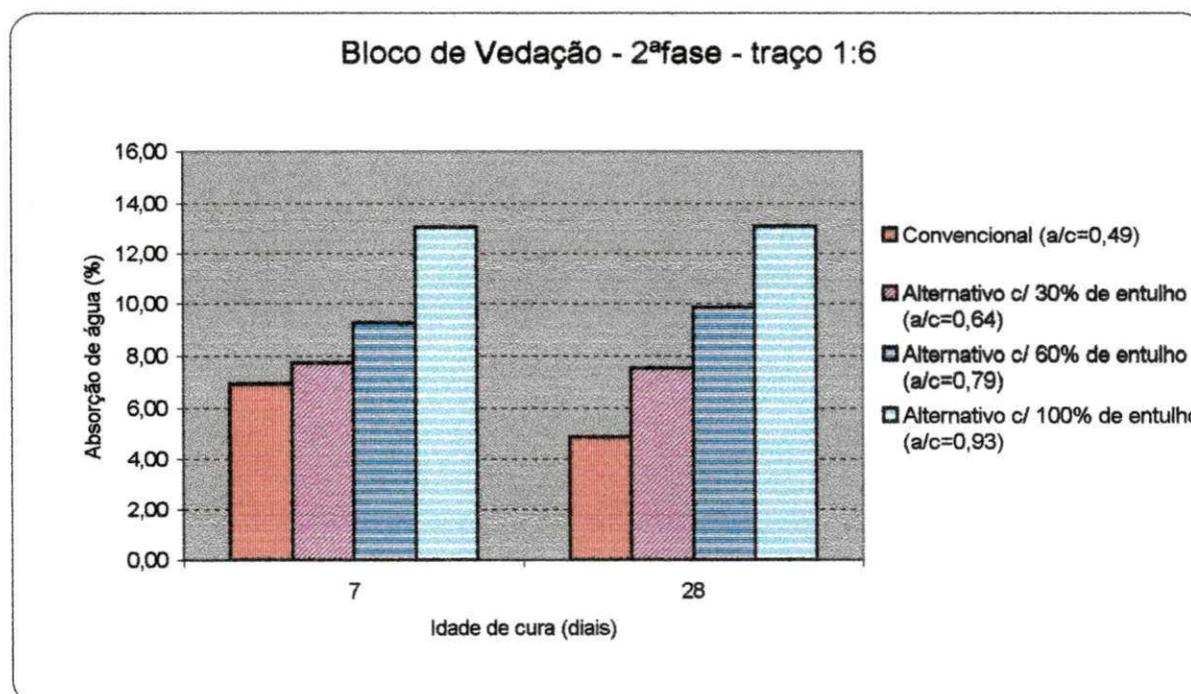
#### *4.2.2 Blocos de vedação*

As Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 apresentam os resultados obtidos para a absorção de água de blocos vedação de concreto, tanto na primeira fase quanto na segunda fase, considerando todas as composições de 30%, 60% e 100%.

Nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 observa-se o mesmo comportamento ocorrido com os blocos estruturais, ou seja, a absorção de água diminui com o aumento do tempo de cura dos blocos, em função da redução do tamanho de poros capilares. Na Figura 4.8 há um comportamento atípico; a absorção de água para a amostra com 100% de entulho é inferior à da amostra com 60% de entulho. Esperava-se que a maior quantidade de entulho significasse maior absorção. Posteriormente verificou-se que esse comportamento atípico foi resultado de uma falha no teor de água das misturas iniciais realizadas na primeira fase.

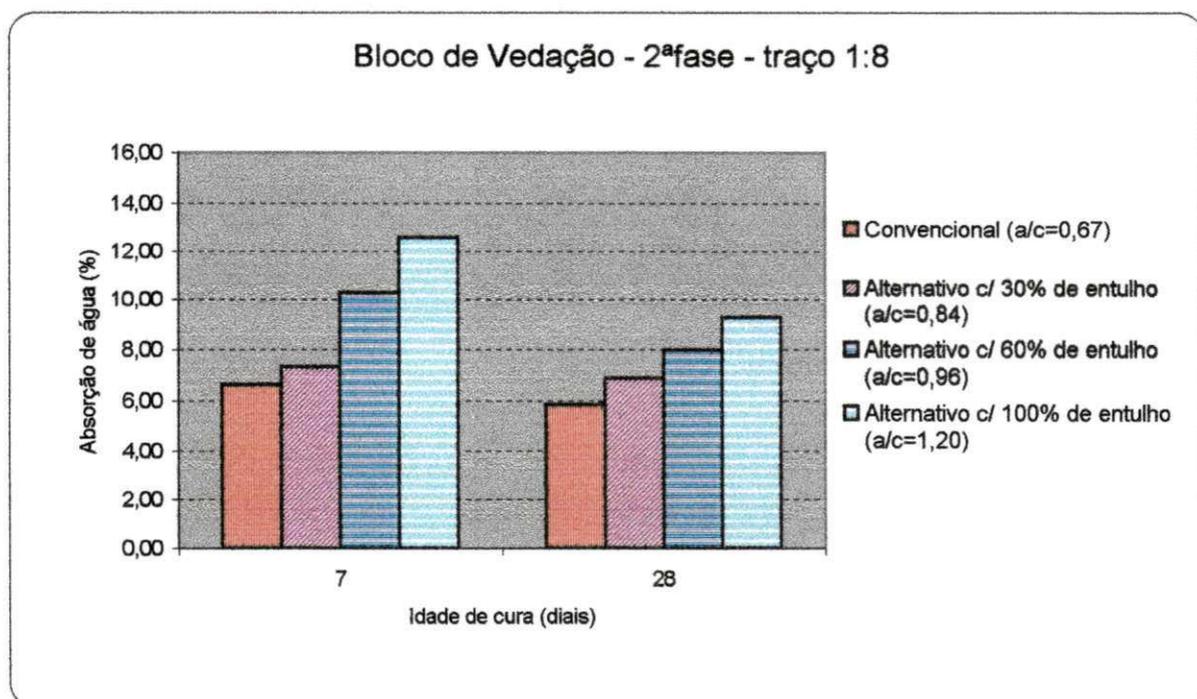


**FIGURA 4.8:** Resultados de absorção de água para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com o traço 1:6 na primeira fase



**FIGURA 4.9:** Resultados de absorção de água para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:6 na segunda fase

Deve-se destacar que no traço 1:6 estudado na segunda fase da pesquisa (Figura 4.9) houve uma redução na absorção muito discreta entre 7 e 28 dias de cura, principalmente para os blocos com 60% e 100% de entulho, e não ocorre mais o comportamento atípico observado na Figura 4.8. Pode-se verificar também a existência de uma certa proporcionalidade entre o teor de entulho e a absorção, pois à medida que aumentou a proporção de entulho da mistura, uma maior quantidade de água foi absorvida pelo bloco.



**FIGURA 4.10:** Resultados de absorção de água para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:8 na segunda fase

Quanto ao traço 1:8 estudado na segunda fase (Figura 4.10) observa-se o comportamento equivalente ao traço 1:6 da segunda fase. Quanto às especificações exigidas pela norma apenas os blocos com 100% de entulho traço 1:6 da segunda fase (Figuras 4.9) não atenderam a exigência da ABNT – NBR 6136 (Abs.< 10%).

Comparando as Figuras 4.7 e 4.9 observa-se que apesar de serem moldados blocos estruturais e de vedação respectivamente, os comportamentos das misturas são semelhantes. Quanto ao aumento da relação a/c estudada na segunda fase só

não foi ideal para melhorar a propriedades de absorção de água das amostras com 100% de entulho, ou seja, atingir os parâmetros exigidos pela norma ( $Abs. < 10\%$ ). Talvez, exclusivamente neste caso, tenha sido exagerado o aumento da relação  $a/c$  para o tipo de máquina utilizada na fabricação de blocos, tanto a do bloco estrutural quanto à do bloco de vedação. A Tabela 4.9 apresenta as dosagens ideais para o bloco estrutural e de vedação que atendem ao critério da norma de absorção (NBR 6136).

**TABELA 4.9:** Dosagens ideais para os blocos de concreto analisados nesta pesquisa, considerando o limite máximo de absorção de água preconizado pela norma da ABNT

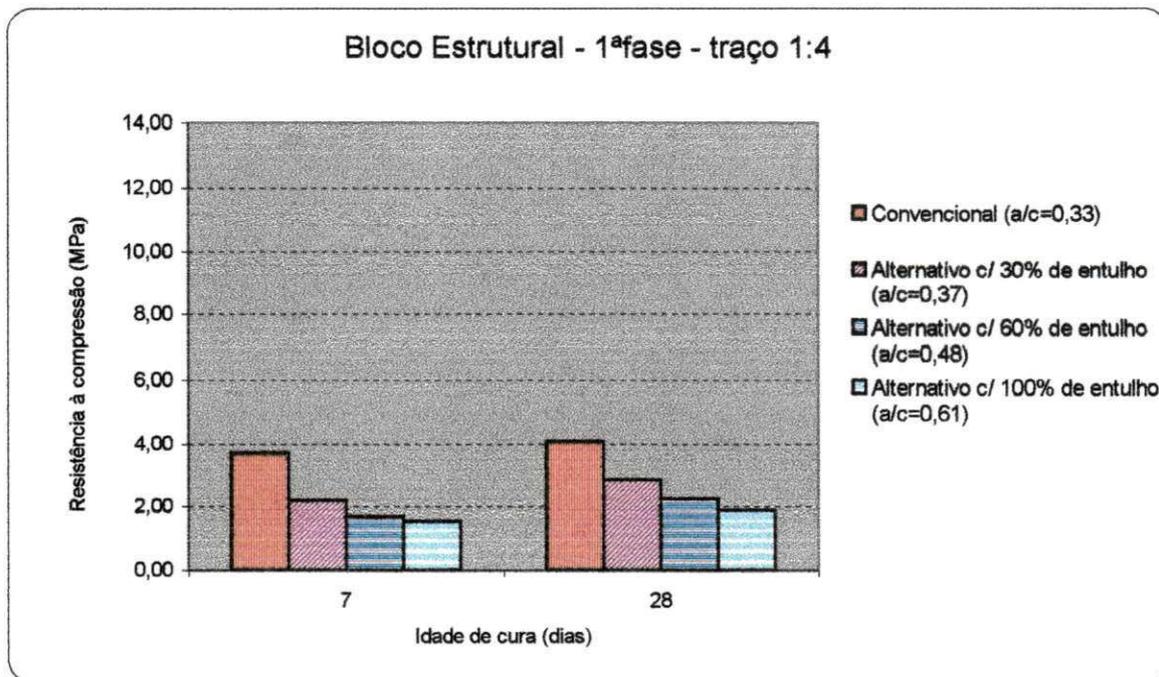
Blocos	$a/c$	1:m	Teor de entulho	Tempo de cura	Fase	Abs. (%)
Estrutural	0,79	1:6	60%	7 dias	2ª	9,96
Vedação	0,96	1:8	60%	7 dias	2ª	10,27

De acordo com Tabela 4.9 nos dois casos especificados, considerando os materiais utilizados nesta pesquisa, tanto para os blocos estruturais quanto para os blocos de vedação, observa-se que poderia defini-los como dosagens ideais para atender ao critério da norma ABNT – NBR 6136 de absorção de água.

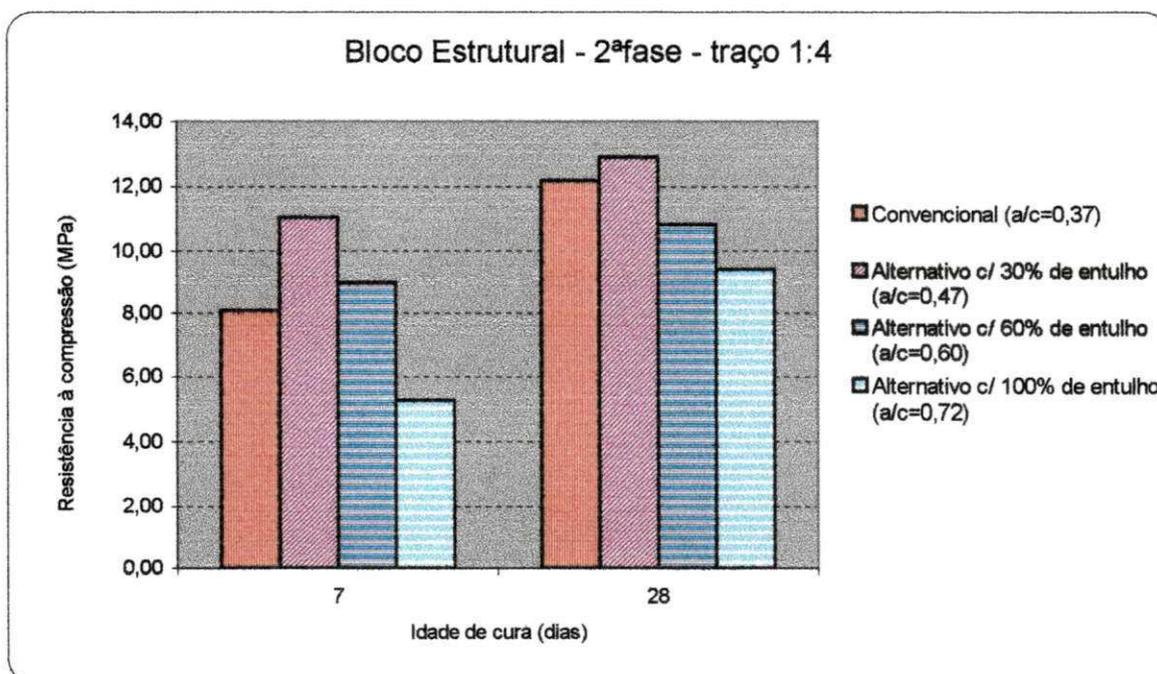
### 4.3 Caracterização quanto à resistência à Compressão Simples ( $f_c$ ) de blocos de concreto

#### 4.3.1 Blocos Estruturais

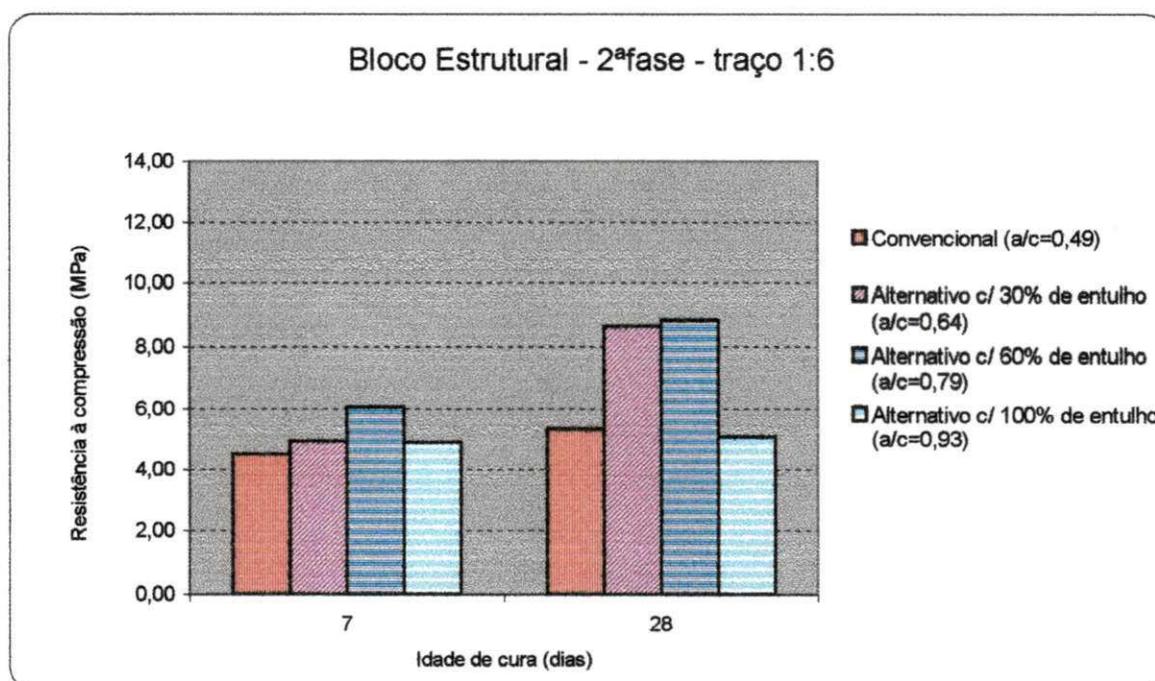
As Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 apresentam a resistência à compressão simples de blocos estruturais, tanto na primeira quanto na segunda fase, determinada para tempos de cura de 7 dias e 28 dias, com traços contendo 0%, 30%, 60% e 100% de entulho em substituição aos agregados naturais.



**FIGURA 4.11:** Resistência à compressão simples para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com o traço 1:4 na primeira fase



**FIGURA 4.12:** Resistência à compressão simples para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:4 na segunda fase



**FIGURA 4.13:** Resistência à compressão simples para blocos estruturais de concreto (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:6 na segunda fase

Observando o traço 1:4 da primeira fase (Figura 4.11) pode-se verificar que houve uma redução da resistência à compressão com o aumento da relação água/cimento, devido ao aumento do teor de entulho em substituição dos agregados naturais nos concretos alternativos. De qualquer forma, em todos os casos houve uma tendência de crescimento da resistência à compressão ao longo do tempo (colunas ascendentes), confirmando a importância do regime de cura adotado no processo de hidratação das partículas de cimento. O bloco convencional estrutural foi o único a apresentar resistência à compressão próxima a 4,5 MPa (limite de aceitação na norma da ABNT – NBR 6136/94).

Para os traços 1:4 e 1:6 estudados na segunda fase (Figuras 4.12 e 4.13) houve, com aumento do teor de entulho, um crescimento da resistência a compressão simples, decrescendo após um determinado ponto. O aumento da proporção de entulho na mistura provocou um aumento da relação água/cimento para todas as composições, devido à absorção de água pelo próprio entulho. A água não absorvida pelo entulho participará das reações químicas com o cimento e funcionará como lubrificante para dar maior trabalhabilidade, melhorando o

adensamento dos blocos, que também é influenciado pelas condições de vibração da máquina utilizada.

O crescimento da resistência a compressão simples com o aumento da quantidade de água, é provocado pelo melhor adensamento fornecido pela máquina nestas condições. Para fornecer o adensamento ideal ao bloco foi necessário adicionar água para suprir as reações químicas do cimento, a trabalhabilidade, a absorção dos agregados naturais (de pouca significância) e a absorção do entulho. O comportamento final de redução de resistência ocorre devido ao não adensamento ideal das amostras com maiores teores de entulho. Isso se deve a não moldagem adequada com relações água/cimento maiores (necessárias ao adensamento ideal destes blocos), pois a desmoldagem tornou-se impossível devido à "ligação" da massa às paredes do molde.

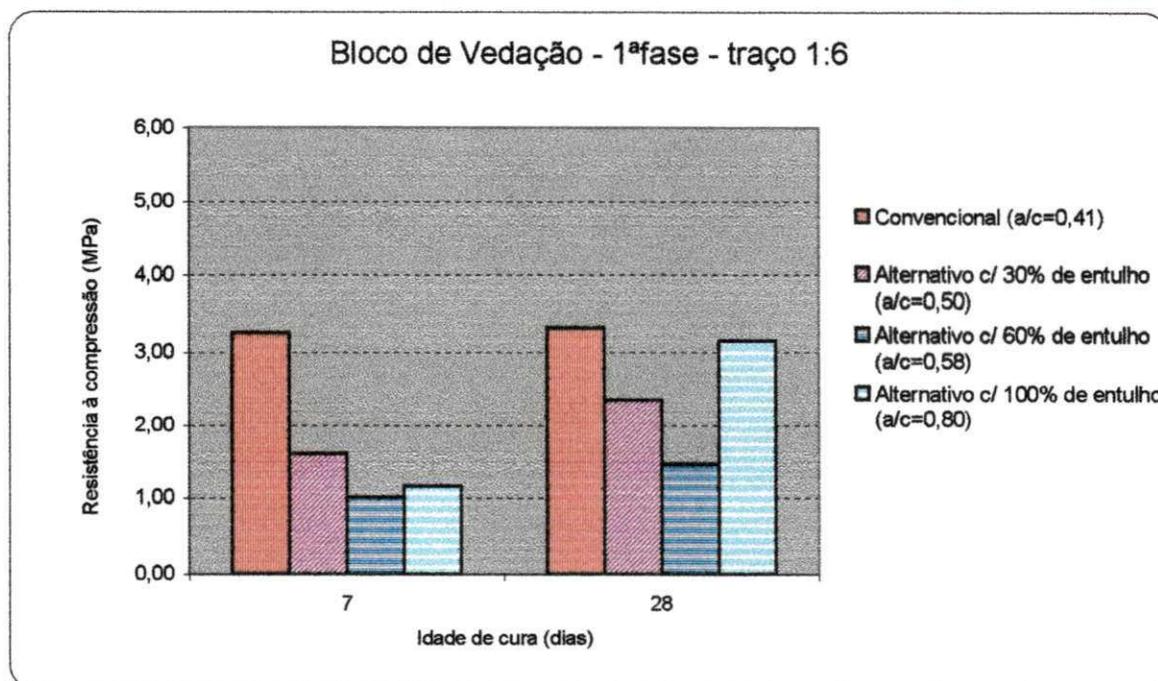
Vale destacar que a resistência à compressão simples, correspondente a idade de 28 dias, é superior ao limite mínimo pré-estabelecido pela Norma da ABNT NBR 6136/94 ( $f_c > 4,5$  MPa). Portanto, analisando o critério de resistência à compressão simples, tem-se que todos os blocos do traço 1:4 e 1:6 estudados na segunda fase são aceitáveis.

#### 4.3.2 Blocos de vedação

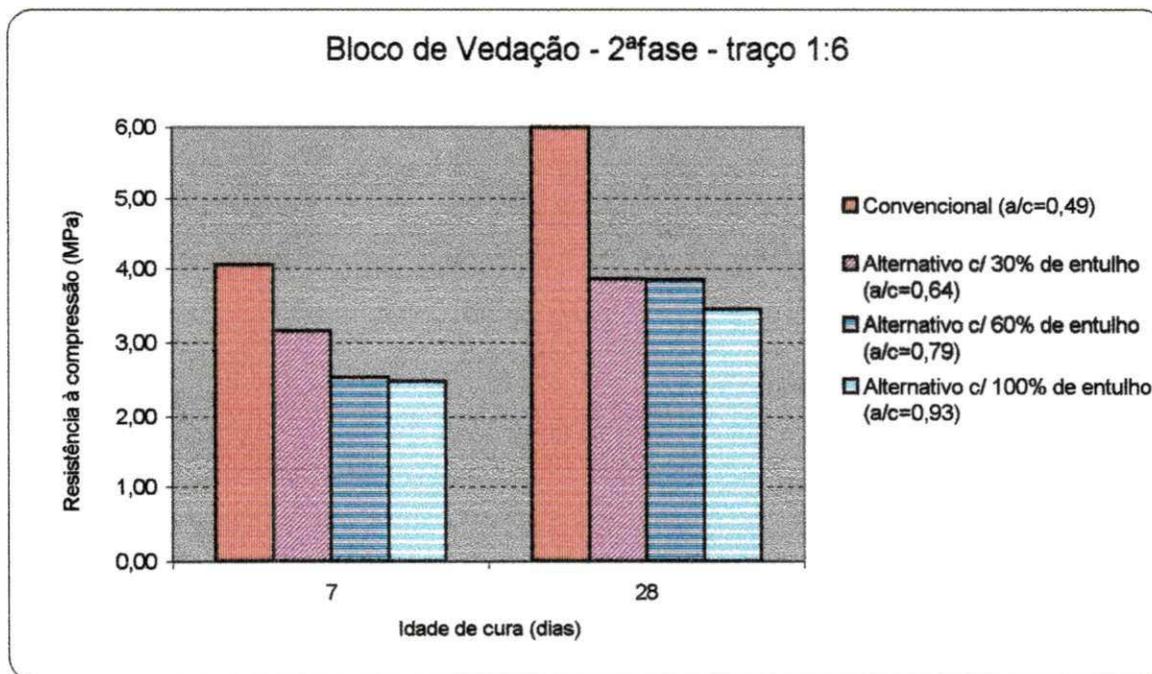
As Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 apresentam os resultados de resistência a compressão simples ( $f_c$ ) obtidos para blocos convencionais e alternativos de vedação tanto na primeira fase quanto na segunda fase, moldados com traço de 1:6 e 1:8.

Comparando as Figura 4.15 e 4.13, pode-se verificar que o tipo de bloco e a máquina utilizada para a fabricação do mesmo têm influência no resultado da resistência à compressão simples, pois a mesma mistura produziu resultados muito diferentes. Com os blocos de vedação as resistências à compressão simples foram menores.

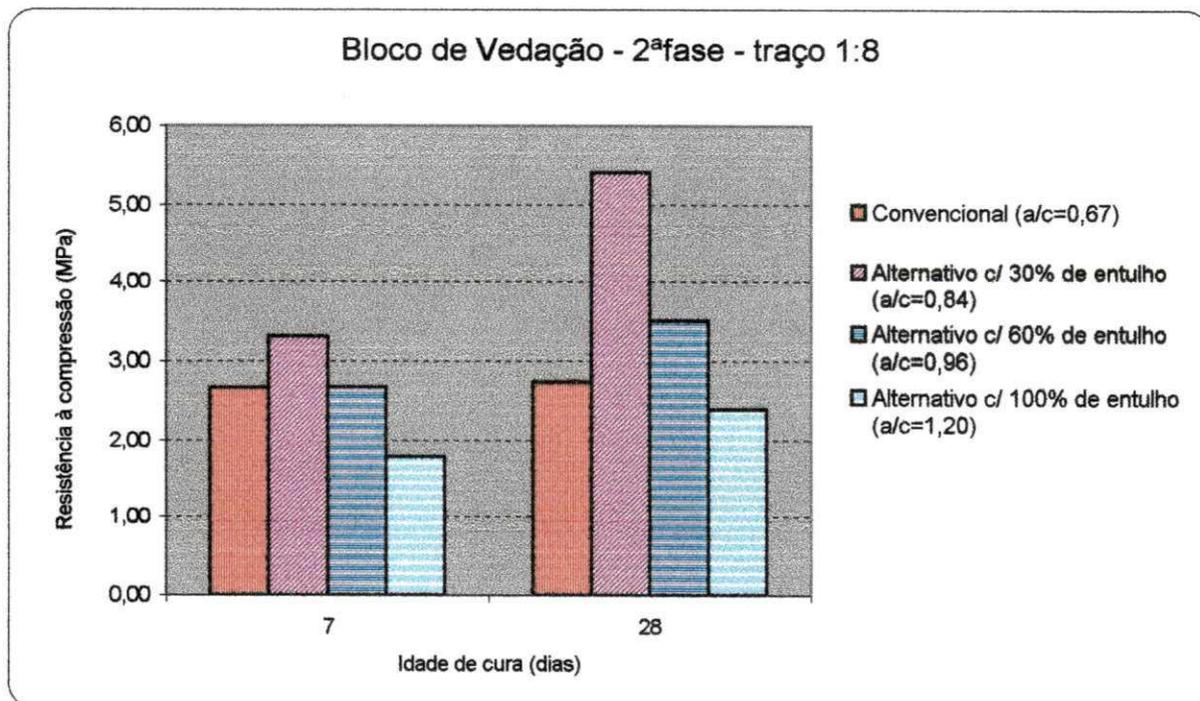
O comportamento dos blocos alternativos de vedação (Figura 4.14) na idade de 7 e 28 dias mostra que não se atinge o valor mínimo de 2,5MPa para resistência à compressão (valor aceitável pela Norma da ABNT – NBR 7173/82).



**FIGURA 4.14** – Resistência à compressão simples para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-F-32, moldados com o traço 1:6 na primeira fase



**FIGURA 4.15:** Resistência à compressão simples para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:6 na segunda fase

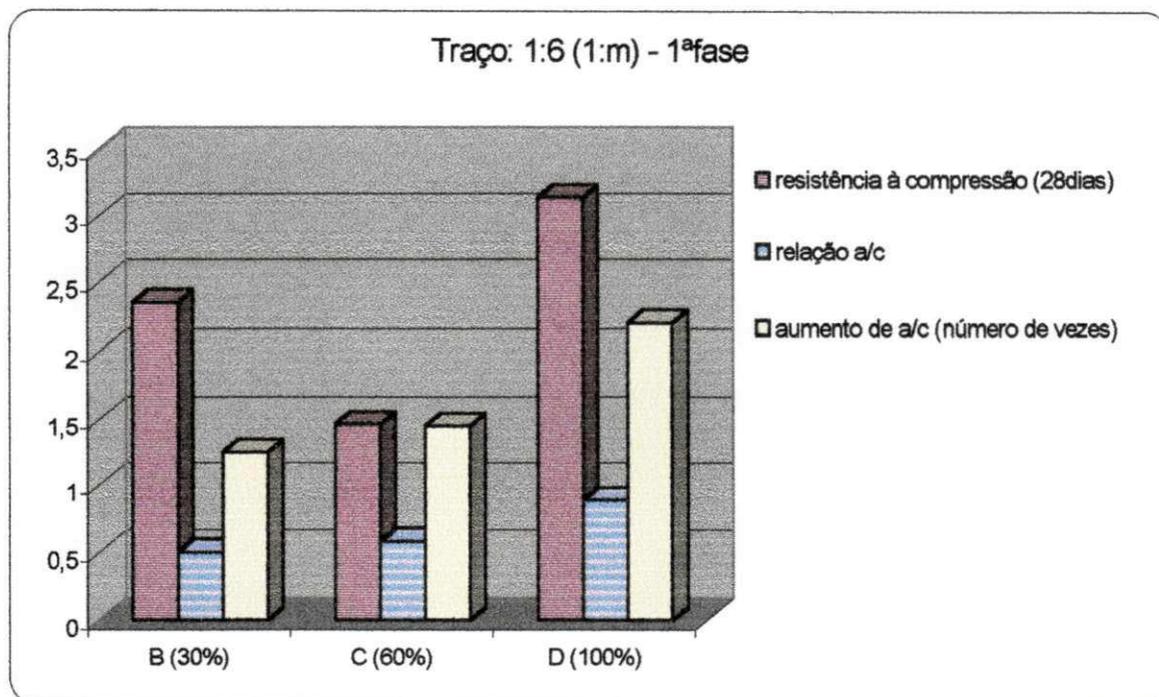


**FIGURA 4.16:** Resistência à compressão simples para os blocos de vedação (convencionais e alternativos) confeccionados com cimento CP II-Z-32, moldados com o traço 1:8 na segunda fase

Através das Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 pode-se perceber que com o aumento do tempo de cura também houve um crescimento da resistência à compressão simples dos blocos, o que já era esperado, pois reflete o progresso da hidratação do cimento no intervalo de tempo considerado, fato também constatado nos blocos estruturais.

Observando o traço 1:6 1ª fase (Figura 4.14) teve-se a redução da resistência à compressão na medida em que houve um aumento do teor de entulho incorporado nas composições com 30% e 60% de entulho. Da mesma forma, o aumento da relação  $a/c$  necessário para manter a mesma trabalhabilidade das misturas com entulho acabou contribuindo para a queda na resistência mecânica dos blocos de vedação para essas amostras.

Vale destacar o comportamento atípico da amostra com 100% de entulho, que apresentou resistência à compressão simples superior, igualando-se à do bloco convencional na idade de 28 dias. Percebe-se que este foi o único caso em que parece ter ocorrido a correção do teor de água na mistura (relação  $a/c=0,80$ ), para compensar a alta absorção de água por parte do entulho (Figura 4.17).



**FIGURA 4.17:** Efeito da correção do teor de água nas misturas para compensar a alta absorção de água pelo entulho realizado na primeira fase

Portanto, partindo do comportamento atípico constatado para a amostra do traço 1:6 na primeira fase com 100% de entulho incorporado, foram realizados novos ensaios com o objetivo de se obter as relações água cimento ótimas para cada composição estudada, o que resultou a segunda fase deste trabalho.

De acordo com o traço 1:6 na segunda fase (Figura 4.15) percebe-se que com o aumento do tempo de cura houve um crescimento da resistência à compressão dos blocos, o que já era esperado, pois reflete o progresso da hidratação do cimento no intervalo de tempo considerado. Observa-se também que houve uma redução na resistência à compressão na medida em que houve o aumento do teor de entulho incorporado nas composições.

A Figura 4.16 (traço 1:8 segunda fase) apresenta um comportamento diferenciado dos demais traços estudados, havendo um acréscimo da resistência à compressão simples com o aumento do teor de entulho, decrescendo depois de determinado ponto (30% de entulho), fato também ocorrido no estudo dos blocos estruturais na segunda fase. Em geral, todos os blocos alternativos estudados na segunda fase atenderam ao valor mínimo especificado pela Norma da ABNT – NBR 7173/82.

Comparando todos os resultados obtidos com os ensaios realizados observa-se que quando a resistência à compressão aumenta a absorção de água é reduzida, o que está coerente, pois com uma menor porosidade tem-se maiores resistências mecânicas. Conforme já foi discutida, essa permeabilidade decresce com o aumento do grau de hidratação do cimento Portland (quando aumenta o tempo de cura por imersão em água) e com a redução da relação água/cimento.

Considerando os resultados de resistência à compressão simples obtida para os blocos estruturais estudados na 1ª fase, observou-se que nenhuma das amostras estudadas atingiu o valor mínimo aceitável pela Norma da ABNT NBR 6136/94 ( $f_c > 4,50$  MPa). Apesar disso, todas as composições avaliadas são aceitáveis pelo critério de absorção de água. Constatou-se também que os blocos com o menor teor de entulho incorporado são os mais resistentes.

Para os traços estudados na 2ª fase houve, com aumento do teor de entulho, um crescimento da resistência a compressão simples, havendo uma redução após um determinado ponto. Vale destacar que as resistências à compressão simples, correspondente a idade de 28 dias, são superiores ao limite mínimo pré-estabelecido pela Norma da ABNT NBR 6136/94 ( $f_c > 4,5$  MPa). Portanto, analisando o critério de resistência à compressão simples, tem-se que todos os blocos do traço estudados na segunda fase são aceitáveis. Quanto ao critério de absorção tem-se que todas as amostras estudadas na 2ª fase atendem ao limite máximo estabelecido pela Norma com exceção do lote com traço 1:6 com 100% de entulho.

Para os resultados obtidos com os ensaios realizados para os blocos de vedação, convencionais e alternativos, com traços 1:6 estudados na 1ª fase, pode-se dizer que:

- os blocos convencionais com relação a/c igual a 0,41 apresentaram os resultados aceitáveis pela citada norma da ABNT NBR 6136/94, já com sete dias de cura, ou seja, resistência à compressão simples maior que 2,5MPa e absorção menor que 10%;
- os blocos alternativos com 30% de entulho alcançaram resultados muito próximos do exigido pela Norma aos 28 dias de cura;
- os blocos alternativos com 100% de entulho apresentaram resistência à compressão superior aos demais alternativos, devido à correção do teor de água na mistura.

Para os resultados obtidos com os ensaios realizados para os blocos de vedação, convencionais e alternativos, estudados na 2ª fase, podemos dizer que:

- todos os blocos apresentaram resultados aceitáveis pela Norma da ABNT quanto à resistência compressão simples, exceto o traço 1:8 com 100% de entulho incorporado;
- todos os blocos, com exceção do traço 1:6 com 100% de entulho apresentaram resultados de absorção de água aceitáveis pela Norma ABNT.

A Tabela 4.10 apresenta os traços ideais para o bloco estrutural e de vedação que atendem ao critério das normas da ABNT NBR 7173 e NBR 6136.

**TABELA 4.10:** Valores de resistência mecânica dos blocos de concreto estudados nesta pesquisa, considerando os valores mínimos preconizado pelas normas da ABNT

Blocos	a/c	1:m	Teor de entulho	Tempo de cura	Fase	$f_c$ (MPa)
Estrutural	0,79	1:6	60%	7 dias	2ª	6,07 ( $\geq 4,5$ )
Vedação	0,96	1:8	60%	7 dias	2ª	2,68 ( $\geq 2,5$ )

De acordo com Tabela 4.10 nos dois casos especificados, considerando todas as condições e os materiais utilizados nesta pesquisa, tanto para os blocos estruturais quanto para os blocos de vedação, observa-se que poderia defini-los como os melhores traços (teor máximo de entulho de 60% com cura de 7 dias), para atender ao critério das normas de resistência mecânica da ABNT NBR 7173 e 6136, respectivamente.

Uma síntese de todos os fatores água cimentos estudados encontra-se no anexo B. Quanto aos valores obtidos para a resistência mecânica e absorção de água obtidos neste trabalho encontram-se no anexo C e D respectivamente.

## 4.4 Ensaios de durabilidade – método molhagem e secagem

### 4.4.1 Envelhecimento acelerado modificado – primeira fase

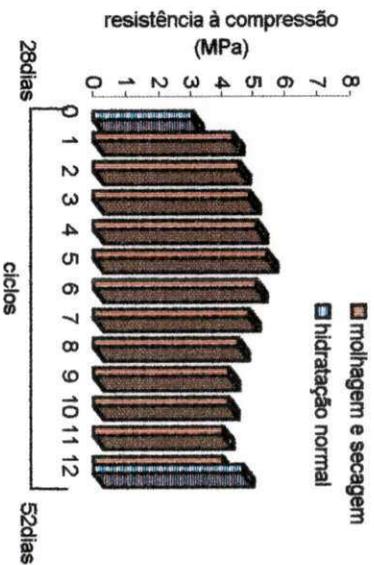
A Figura 4.18 apresenta o comportamento das amostras submetidas ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, utilizando o traço 1:4. Considerando esses resultados, pode-se ver que o padrão de comportamento tanto para o concreto convencional sem adição de entulho (A) quanto para o concreto alternativo com adição de 30% de entulho (B), com adição de 60% de entulho (C) e com adição de 100% de entulho (D) foi o mesmo, ou seja, sempre houve um ganho de resistência à compressão ( $f_c$ ) nos ciclos iniciais, em geral até o 5º ciclo, seguido de uma queda de  $f_c$  até o ciclo final (12º). Em todos os casos (Figura 4.18a, 4.18b, 4.18c e 4.18d), observou-se que a resistência à compressão final das amostras submetidas aos ciclos de molhagem/secagem foi menor do que as amostras que não sofreram ataques de molhagem/secagem (hidratação normal). Essa comparação entre resultados de amostras protegidas e não protegidas do fator de degradação permite uma melhor visualização dos efeitos da degradação que sempre foi mais destacado nos concretos alternativos (com entulho). A comparação entre as duas colunas correspondentes ao 12º ciclo torna evidente que a menor diferença ocorre para o concreto convencional.

A Tabela 4.11 apresenta os valores de  $f_c$  correspondente ao 12º ciclo, das amostras que foram submetidas ao ensaio de molhagem e secagem e daquelas submetidas à hidratação normal.

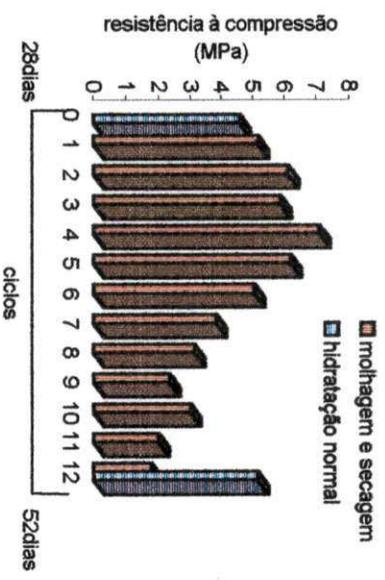
**TABELA 4.11:** Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:4, 1ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à hidratação normal

Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (A)		Alternativo c/ 30% de entulho (B)		Alternativo c/ 60% de entulho (C)		Alternativo c/ 100% de entulho (D)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
52	12	4,01	4,65	1,76	5,17	3,16	4,89	1,09	3,20
Diferença de $f_c$		0,64		3,41		1,73		2,11	
Perda de $f_c$ (%)		13,8		66,0		35,4		65,9	

Convencional "A" - Traço 1:4 a/c=0,33



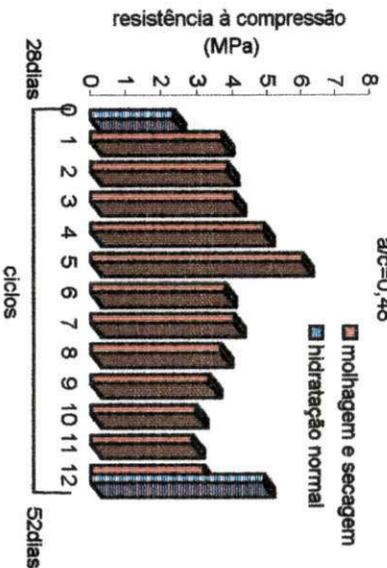
Alternativo c/ 30% entulho "B" - Traço 1:4 a/c=0,37



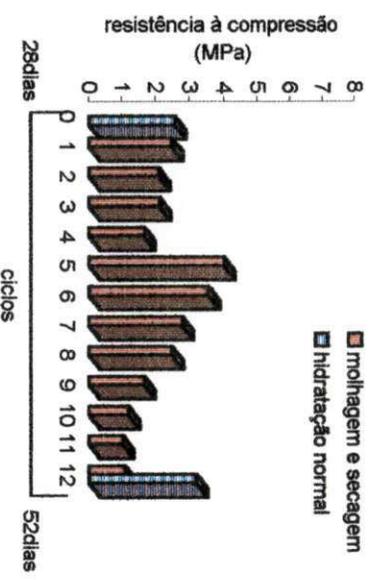
a)

b)

Alternativo c/ 60% entulho "C" - Traço 1:4 a/c=0,48



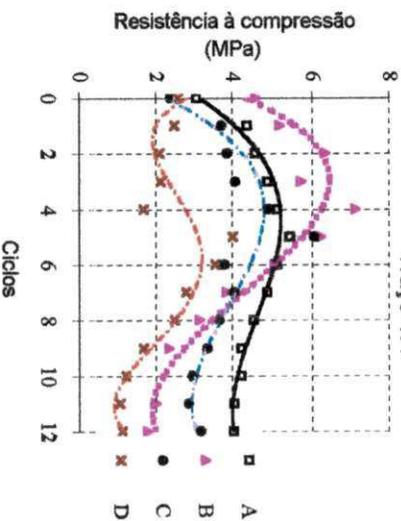
Alternativo c/ 100% entulho "D" - Traço 1:4 a/c=0,61



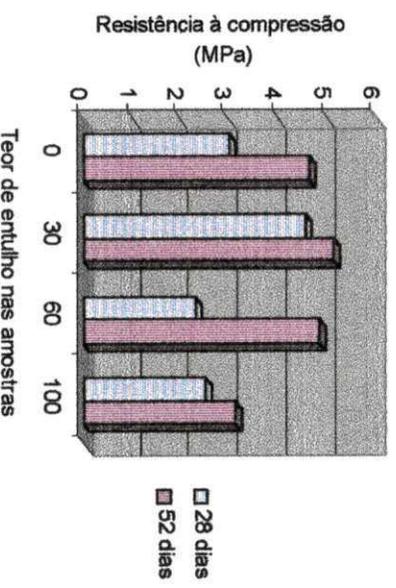
c)

d)

Envelhecimento por molhagem e secagem - Traço 1:4



Hidratação normal - Traço 1:4



e)

f)

FIGURA 4.18: Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo (1ª fase), utilizando o traço 1:4 (1:m): a) Concreto convencional sem entulho (A); b) Concreto alternativo com 30% de entulho (B); c) Concreto alternativo com 60% de entulho (C); d) Concreto alternativo com 100% de entulho (D); e) Comparação entre as curvas de tendência de comportamento das quatro composições; f) Crescimento da resistência à compressão entre 28 dias e 52 dias, considerando as quatro composições sob condições normais hidratação (imersão em água)

Analisando os valores expostos na Tabela 4.11, observa-se que a menor perda de  $f_c$  ocorreu para a amostra de concreto sem adição de entulho (A) (13,8 MPa) seguida da amostra de concreto alternativo com adição de 60% de entulho (C) (35,4 MPa).

As curvas médias de tendência de comportamento das 4 composições (Traço 1:4) podem ser vista na Figura 4.18e. Confirma-se o mesmo padrão de comportamento para todas as amostras que foram submetidas aos 12 ciclos de molhagem/secagem, contudo, vale destacar, que as amostras com concreto alternativo (B – 30% de entulho) apresentou resistência inicial superior ao concreto convencional (A). Esse comportamento pode estar relacionado com os efeitos da reação pozolânica, devido à presença de materiais cerâmicos (argila calcinada obtida dos tijolos cerâmicos) no entulho triturado. Pode-se ver também que essa mesma amostra (B – com 30% de entulho) apresentou a maior queda da resistência à compressão a partir do 4º ciclo, ficando inclusive o seu valor final inferior àquela da amostra (C – com 100% de entulho). Outra constatação interessante é que o concreto convencional (A) manteve-se com a maior resistência final após os 12 ciclos de molhagem/secagem.

A Tabela 4.12 apresenta o crescimento da resistência das amostras de concreto que não foram submetidas aos ciclos de molhagem e secagem (hidratação normal).

**TABELA 4.12:** Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$  e  $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:4, 1ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal

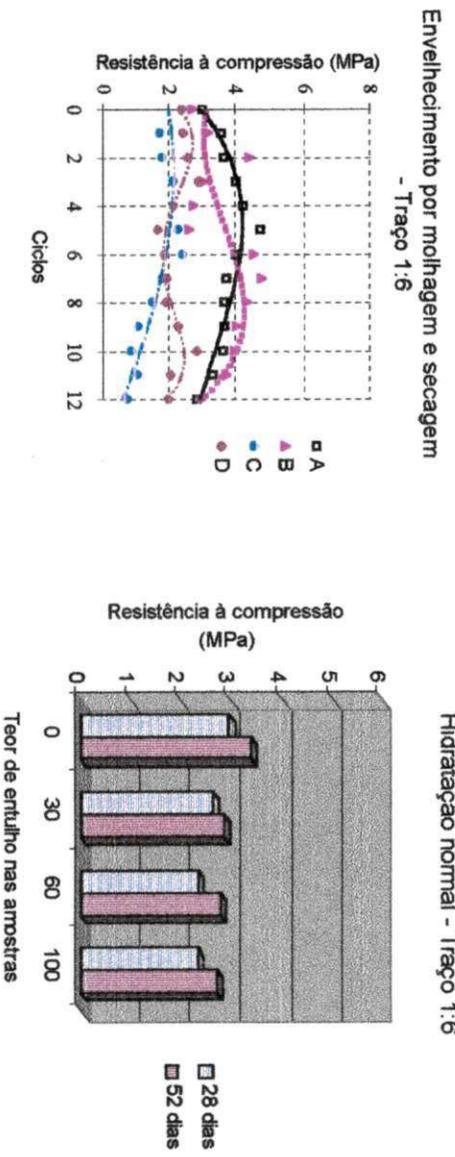
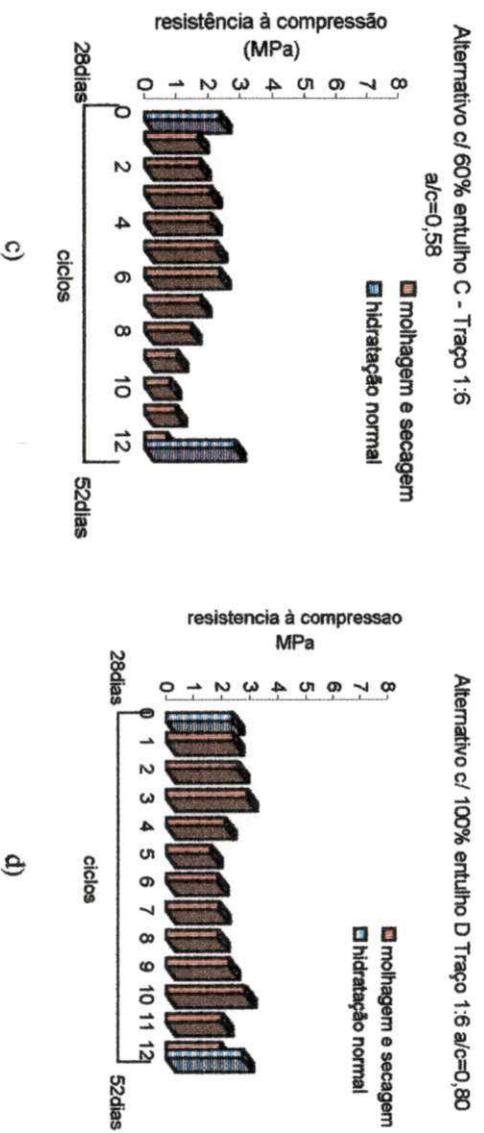
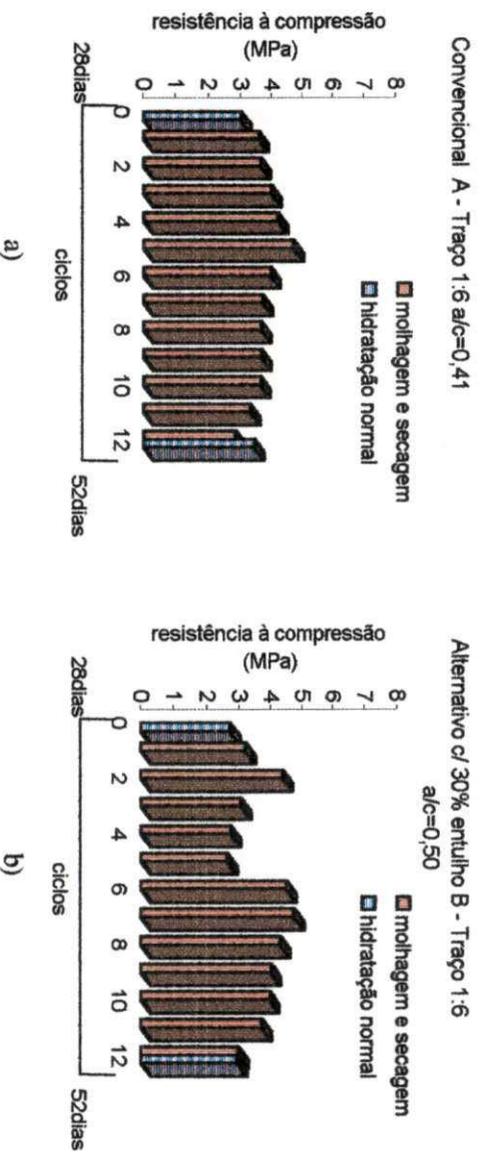
Idade (dias)	a/c	Hidratação normal - $f_c$ (MPa)			
		0,33	0,37	0,48	0,61
		Convencional sem entulho (A)	Alternativo c/ 30% de entulho (B)	Alternativo c/ 60% de entulho (C)	Alternativo c/ 100% de entulho (D)
28	0	3,05	4,57	2,36	2,57
52	12	4,65	5,17	4,89	3,20
Crescimento de $f_c$ (%)		52,46	13,13	107,20	24,51

A análise das amostras protegidas do fator de degradação (molhagem/secagem) pode ser acompanhada através da Tabela 4.12 e melhor

visualizada na Figura 4.18f. Observa-se tanto na Tabela 4.12 como na Figura 4.18f um ganho de resistência à compressão, expressando a evolução da hidratação do cimento devido à cura das amostras. Constata-se que houve evolução da hidratação do cimento Portland sob condições normais (hidratação normal), no período entre 28 dias e 52 dias (sempre houve aumento de  $f_c$  no período). Destaca-se um maior crescimento de  $f_c$  (107,20%) para a amostra (C – com 60% de entulho), que refletiu na menor perda entre as amostras alternativas (Tabela 4.11) e, o maior valor de  $f_{c28}$  (5,17 Mpa) para a amostra (B – com 30% de entulho), confirmando o efeito da reação pozolânica. Esse efeito nas composições com concreto alternativo compensa, de certo modo, o efeito negativo sobre  $f_c$  devido ao aumento da relação  $a/c$  que ocorreu quando se aumenta o teor de entulho nas composições. Deve-se lembrar que a relação  $a/c$  é inversamente proporcional a  $f_c$ , mas para misturas com consistência seca, como é este caso, essa lógica nem sempre é confirmada. O fator de adensamento das misturas durante a moldagem pode justificar os resultados aparentemente contraditórios. Esse aspecto tem sido confirmado na análise dos resultados obtidos na segunda fase dos ensaios realizados.

A Figura 4.19 apresenta os resultados de  $f_c$  obtidos durante os ciclos de molhagem/secagem para as amostras de concreto convencional sem adição de entulho (A) quanto para o concreto alternativo com adição de 30% de entulho (B), com adição de 60% de entulho (C) e com adição de 100% de entulho (D), moldados com o traço 1:6. Observa-se o mesmo padrão de comportamento em relação à oscilação dos valores de  $f_c$  ao longo dos 12 ciclos, das amostras com o traço 1:4 (Figura 4.18).

O concreto alternativo com 30% de entulho (B), com o traço 1:6 (Figura 4.19b) demonstrou um comportamento muito semelhante ao concreto convencional (A – Figura 4.19a), tendo inclusive menor diferença entre as resistências finais (compare-se as duas colunas no 12º ciclo de ambas figuras) obtidas com as amostras protegidas (hidratação normal) e não protegidas do fator de degradação (molhagem/secagem).



**FIGURA 4.19: Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo (1ª fase), utilizando o traço 1:6 (1:m): a) Concreto convencional sem entulho (E); b) Concreto alternativo com 30% de entulho (F); c) Concreto alternativo com 60% de entulho (G); d) Concreto alternativo com 100% de entulho (H); e) Comparação entre as curvas de tendência de comportamento das quatro composições; f) Crescimento da resistência à compressão entre 28 dias e 52 dias, considerando as quatro composições sob condições normais de hidratação (imersão em água)**

Diferentemente daquilo que ocorreu com o traço 1:4 (Figura 4.18e) as resistências iniciais (ciclo 0) obtidas com o traço 1:6 alternativo (Figura 4.19e) composto com 30% de entulho (B) não são superiores às resistências obtidas com a composição do concreto convencional (A). Nesse caso (Figura 4.19e), o efeito pozolânico no concreto alternativo foi mais destacado na melhoria das resistências finais reduzindo os efeitos da degradação da amostra (B). Isto também pode ser observado através dos valores de resistência mecânica apresentados na Tabela 4.13.

**TABELA 4.13:** Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 1ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à hidratação normal

Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (A)		Alternativo c/ 30% de entulho (B)		Alternativo c/ 60% de entulho (C)		Alternativo c/ 100% de entulho (D)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
52	12	2,83	3,42	2,96	2,92	0,71	2,84	1,96	2,75
Diferença de $f_c$		<b>0,59</b>		<b>-0,04</b>		<b>2,13</b>		<b>0,79</b>	
Perda de $f_c$ (%)		17,3		-1,4		75,0		28,5	

Comparando-se somente as amostras com o traço 1:6 protegidas do fator de degradação (hidratação normal – Figura 4.19f) vê-se que além das resistências ( $f_{c28}$  e  $f_{c52}$ ) serem menores; em relação ao traço 1:4 (Figura 4.18f), são reduzidas na medida em que são aumentados os teores de entulho nos concretos alternativos. Por outro lado, confirma-se novamente a evolução da hidratação através do ganho de resistências para todas as composições no período considerado entre 28 dias e 52 dias. A Tabela 4.14 apresenta os valores de resistência mecânica e o crescimento em percentagem do crescimento da hidratação nestas amostras.

Analisando a Tabela 4.14 observa-se que o crescimento de resistência mecânica é mais acentuado para as amostras de concreto com adição de 60% entulho (C), e o menor crescimento de  $f_c$  (%) para a amostra de concreto alternativo com 30% de entulho (B), apesar disto estas amostras apresentou nos ciclos de molhagem e secagem (Tabela 4.13) uma menor perda de  $f_c$  (%).

**TABELA 4.14:** Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$  e  $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 1ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal

Idade (dias)	a/c	Hidratação normal - $f_c$ (MPa)			
		0,41	0,50	0,58	0,88
		Convencional sem entulho (A)	Alternativo c/ 30% de entulho (B)	Alternativo c/ 60% de entulho (C)	Alternativo c/ 100% de entulho (D)
28	0	3,00	2,69	2,39	2,39
52	12	3,42	2,92	2,84	2,75
Crescimento de $f_c$ (%)		14,00	8,55	18,83	15,06

#### 4.4.2 Envelhecimento acelerado modificado – segunda fase

Nesta fase foi utilizado o cimento Portland CP-II-Z 32 e, os novos fatores água cimento. A Figura 4.20 apresenta o comportamento das amostras submetidas ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, utilizando o traço 1:6.

Analisando a Figura 4.20, percebe-se o mesmo padrão de comportamento das amostras quando submetidas ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, conforme ocorreu na primeira etapa desta pesquisa. Ou seja, houve sempre um ganho de resistência à compressão ( $f_c$ ) nos ciclos iniciais, em geral até o 5º ciclo, seguido de uma queda de  $f_c$  até o ciclo final (12º). Em todos os casos (Figura 4.20a, 4.20b, 4.20c e 4.20d), a resistência à compressão final das amostras submetidas aos ciclos de molhagem/secagem foi inferior a das amostras que não sofreram ataques de molhagem/secagem (hidratação normal). Essa comparação entre resultados de amostras protegidas e não protegidas do fator de degradação permite uma visualização dos efeitos da degradação, que também pode ser observado através da Tabela 4.15, que apresenta os valores da resistência final das amostras submetidas ao ciclo de molhagem e secagem e hidratação normal.

Esse comportamento apresentado tanto nas Figuras 4.20a, 4.20b, 4.20c e 4.20d, como na Tabela 4.15 pode estar relacionado com os efeitos da reação pozolânica, devido à presença de materiais cerâmicos (argila calcinada obtida dos tijolos cerâmicos) no entulho triturado.

**TABELA 4.15:** Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à hidratação normal

Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (A)		Alternativo c/ 30% de entulho (B)		Alternativo c/ 60% de entulho (C)		Alternativo c/ 100% de entulho (D)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
52	12	3,50	3,97	3,05	<b>3,63</b>	<b>3,76</b>	4,37	2,82	3
Diferença de $f_c$		<b>0,47</b>		<b>0,58</b>		<b>0,61</b>		<b>1,06</b>	
Perda de $f_c$ (%)		11,8		16,0		14,0		27,3	

As curvas médias de tendência de comportamento das amostras podem ser vistas na Figura 4.20e. Observa-se nesta figura o mesmo padrão de comportamento para todas as amostras que foram submetidas aos 12 ciclos de molhagem/secagem. Vale destacar, na Figura 4.20e, que as amostras com concreto alternativo (C – 60%E) apresentou resistência inicial inferior às demais amostras, a mesma amostra manteve-se com a maior resistência final após os 12 ciclos de molhagem/secagem.

Comparando-se somente as amostras com o traço 1:6 protegidas do fator de degradação (hidratação normal – Figura 4.20f) verificou-se que as resistências ( $f_{c28}$  e  $f_{c52}$ ) foram maiores; em relação ao traço 1:6 da 1ª fase (Figura 4.19f). Por outro lado, confirma-se novamente a evolução da hidratação através do ganho de resistências para todas as composições no período considerado entre 28 dias e 52 dias. A Tabela 4.16 apresenta os valores de resistência mecânica e o crescimento em percentagem da hidratação nestas amostras.

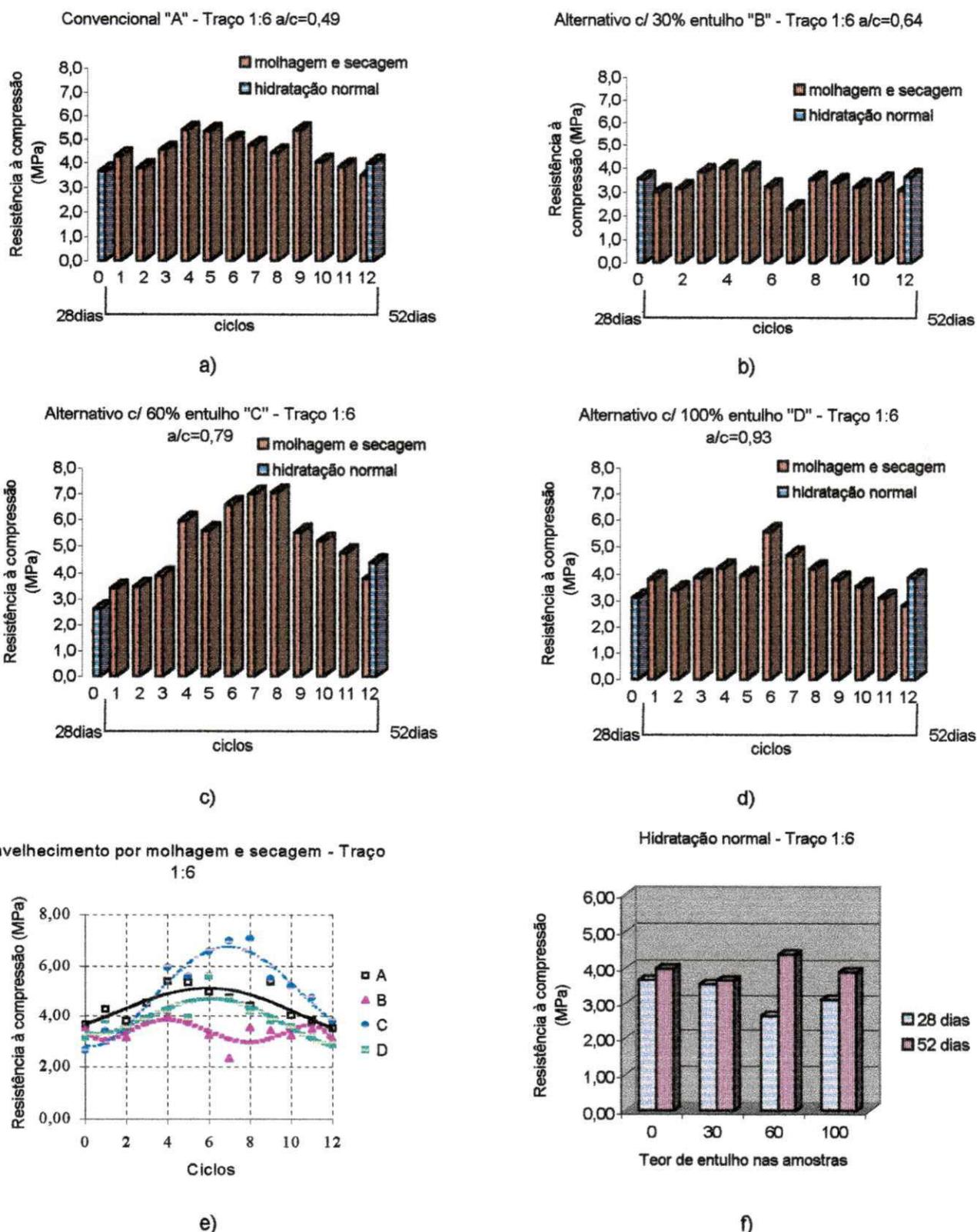
Analisando a Tabela 4.16 observa-se que o crescimento de resistência mecânica foi similar ao ocorrido com o traço 1:6 da 1ª fase, ou seja, mais acentuado para as amostras de concreto alternativo com adição de 60% entulho (C), seguida das amostras com concreto com alternativo com 100% de entulho (D).

**TABELA 4.16:** Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$  e  $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 2ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal

Idade (dias)	a/c	Hidratação normal - $f_c$ (MPa)			
		0,49 Convencional sem entulho (A)	0,64 Alternativo c/ 30% de entulho (B)	0,79 Alternativo c/ 60% de entulho (C)	0,93 Alternativo c/ 100% de entulho (D)
28	0	3,65	3,52	2,62	3,09
52	12	3,97	3,63	4,37	3,88
Crescimento de $f_c$ (%)		8,77	3,13	66,79	25,57

A Figura 4.21 apresenta o comportamento das amostras submetidas ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, utilizando o traço 1:8.

Observa-se na Figura 4.21, comportamento similar a das amostras quando submetidas ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, da primeira etapa desta pesquisa. Ou seja, há sempre um ganho de resistência à compressão ( $f_c$ ) nos ciclos iniciais, em geral até o 5º ciclo, seguido de uma queda de  $f_c$  até o ciclo final (12º). Em todos os casos (Figura 4.21a, 4.21b, 4.21c e 4.21d), a resistência à compressão final das amostras submetidas aos ciclos de molhagem/secagem é inferior a das amostras que não sofreram ataques de molhagem/secagem (hidratação normal). Como já foi citada, essa comparação entre resultados de amostras protegidas e não protegidas do fator de degradação permite uma melhor visualização dos efeitos da degradação, que também pode ser observado através dos valores de resistência apresentados na Tabela 4.17, onde é possível destacar que a menor perda de  $f_c$  acontece para a amostra de concreto convencional (A) e cresce para as demais amostras com o aumento da incorporação do entulho.



**FIGURA 4.20: Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo (2ª fase), utilizando o traço 1:6 (1:m): a) Concreto convencional sem entulho (A); b) Concreto alternativo com 30% de entulho (B); c) Concreto alternativo com 60% de entulho (C); d) Concreto alternativo com 100% de entulho (D); e) Comparação entre as curvas de tendência de comportamento das quatro composições; f) Crescimento da resistência à compressão entre 28 dias e 52 dias, considerando as quatro composições sob condições normais hidratação (imersão em água)**

**TABELA 4.17:** Perda de resistência mecânica ( $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:8, 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem comparada à hidratação normal

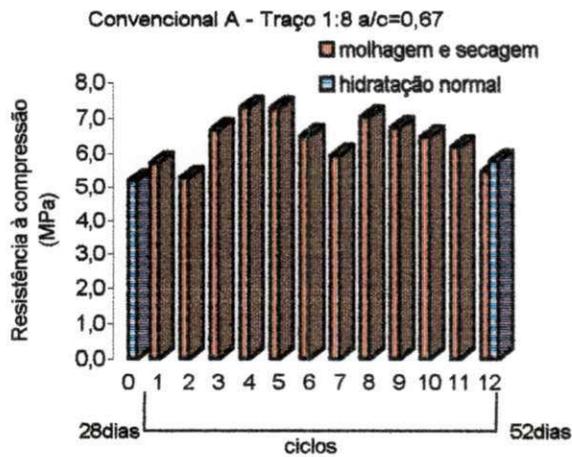
Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (A)		Alternativo c/ 30% de entulho (B)		Alternativo c/ 60% de entulho (C)		Alternativo c/ 100% de entulho (D)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
52	12	5,47	5,76	4,66	5,27	3,64	4,50	2,76	5,15
Diferença de $f_c$		0,29		0,60		0,86		2,39	
Perda de $f_c$ (%)		5,0		11,4		19,1		46,4	

A Tabela 4.18 apresenta a resistência mecânica das amostras de concreto convencional e alternativo submetidas à hidratação normal e o crescimento em percentagem destas amostras

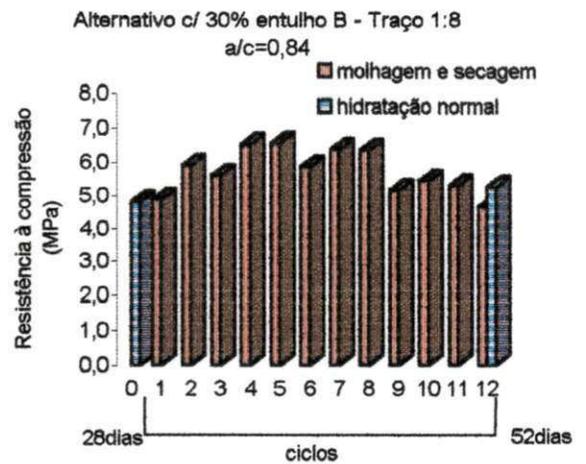
**TABELA 4.18:** Crescimento de resistência mecânica ( $f_{c28}$  e  $f_{c52}$ ) das amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:8, 2ª fase, submetido ao ciclo de hidratação normal

Idade (dias)	Ciclos	Hidratação normal - $f_c$ (MPa)			
		Convencional sem entulho (A)	Alternativo c/ 30% de entulho (B)	Alternativo c/ 60% de entulho (C)	Alternativo c/ 100% de entulho (D)
28	0	5,18	4,81	4,34	2,24
52	12	5,76	5,27	4,50	5,15
Crescimento de $f_c$ (%)		11,20	9,51	3,72	129,30

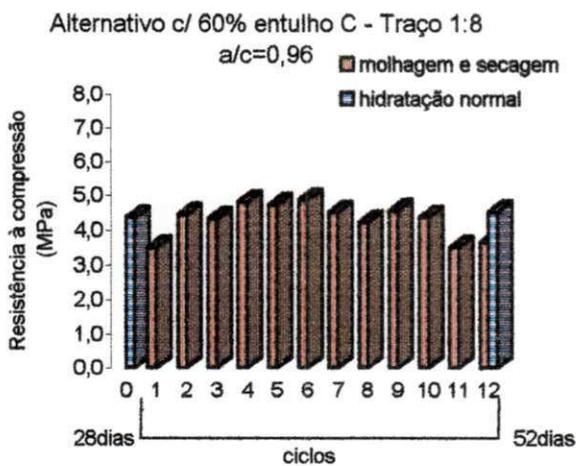
Analisando a Tabela 4.18, confirma-se novamente a evolução da hidratação através do ganho de resistências para todas as composições no período considerado entre 28 dias e 52 dias, destacando que o maior crescimento  $f_c$  de ocorreu para a mostra de concreto alternativo com 100% de entulho (D).



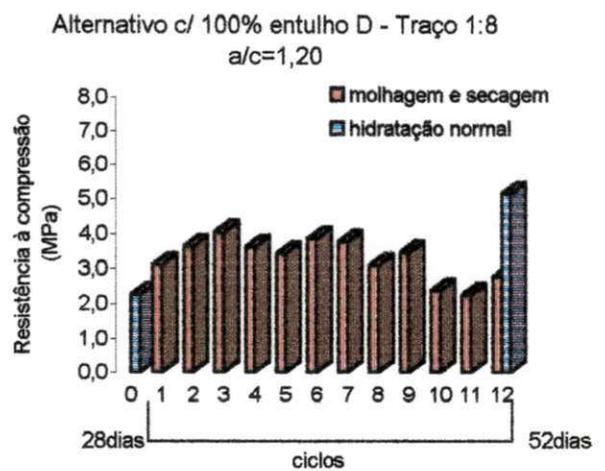
a)



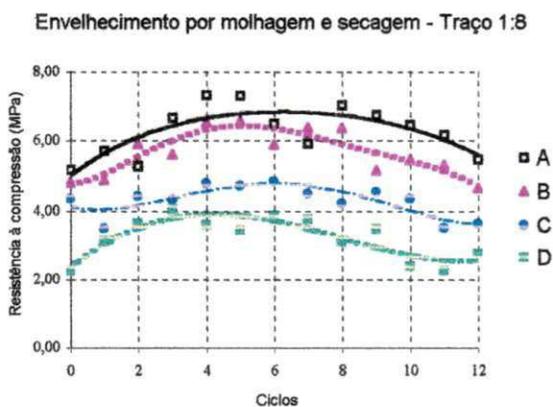
b)



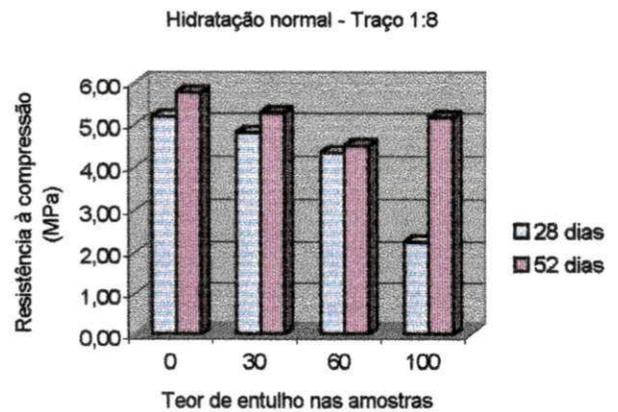
c)



d)



e)



f)

**FIGURA 4.21: Resultados de ensaio de envelhecimento acelerado (molhagem e secagem) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo (2ª fase), utilizando o traço 1:8 (1:m): a) Concreto convencional sem entulho (E); b) Concreto alternativo com 30% de entulho (F); c) Concreto alternativo com 60% de entulho (G); d) Concreto alternativo com 100% de entulho (H); e) Comparação entre as curvas de tendência de comportamento das quatro composições; f) Crescimento da resistência à compressão entre 28 dias e 52 dias, considerando as quatro composições sob condições normais hidratação (imersão em água)**

Quanto às curvas médias de tendência de comportamento das amostras podem ser vista na Figuras 4.21e. Verifica-se o mesmo padrão de comportamento apresentado na Figura 4.20, para todas as amostras que foram submetidas aos 12 ciclos de molhagem/secagem. Quanto a Figura 4.21e, tem-se que o concreto convencional manteve-se sempre com resistência a compressão simples superior ao do concreto alternativo ao longo dos doze ciclos de molhagem e secagem.

A análise considerando todas as amostras protegidas do fator de degradação (molhagem/secagem) da 2ª fase pode ser acompanhada na Figura 4.20f. e 4.21f. Constata-se nestas Figuras que houve uma evolução na hidratação do cimento Portland sob condições normais (hidratação normal), no período entre 28 dias e 52 dias (sempre houve aumento de  $f_c$  no período). Destaca-se o maior valor de  $f_{c52}$  na Figura 4.20f para a amostra C – 60%E, confirmando o efeito da reação pozolânica. Esse efeito nas composições com concreto alternativo compensa, de certo modo, o efeito negativo sobre  $f_c$  devido ao aumento da relação a/c que ocorre quando se aumentou o teor de entulho nas composições.

Comparando os resultados do traço 1:6 ensaios realizados na primeira fase com os do traço 1:6 da segunda fase, observa-se que o fator de degradação foi mais acentuado na primeira, isto se deve ao fato de que para a segunda fase houve um melhor ajuste no estudo de dosagem, com correções no teor de água nas misturas, ocasionando melhores resultados.

Todos os valores de resistência mecânica obtida nos ciclos de molhagem e secagem referentes a 1ª e 2ª fase encontram-se no anexo E. E, após a avaliação dos resultados é possível indicar as composições ideais para a fabricação de blocos de concreto com adição de entulho da construção civil (anexo F). Assim como apresentar diagramas de dosagens (anexo G) e diagramas de consumo de cimento (anexo H) para blocos de concreto estruturais e de vedação. Por fim, o anexo I apresenta uma síntese de análise de custos de equipamentos, concreto alternativo, argamassa, alvenaria comum e blocos de concreto de vedação e estrutural, convencionais e alternativo nas diversas composições estudadas neste trabalho.

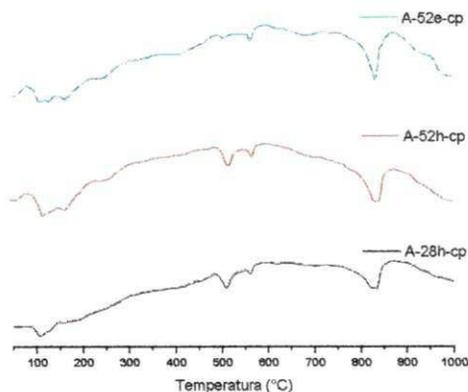
## 4.4 Caracterização dos constituintes após ensaio de durabilidade

Para a caracterização dos constituintes após ensaio de durabilidade foi escolhido o traço 1:8, estudado na segunda fase deste trabalho, devido aos excelentes resultados obtidos com os compósitos utilizados para produzir blocos de concreto sem função estrutural. Assim, foram selecionadas amostras dos corpos-de-prova tipo 1 (Figura 3.16) e tipo 2 (Figura 3.18) com este traço, que foram submetidos a ensaios de envelhecimento acelerado. As amostras selecionadas foram aquelas submetidas à hidratação normal aos 28 (28h) dias e 52 (52h) dias de cura e as envelhecidas durante 52 (52e) dias, para que fosse possível comparar o efeito pozolânico e a evolução de hidratação das amostras em estudo.

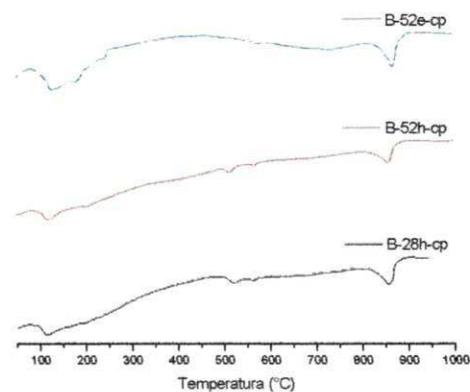
### 4.4.1 Análise térmica diferencial

#### 4.4.1.1 Análise térmica diferencial das amostras dos corpos-de-prova tipo 1

As Figuras 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25 apresentam as curvas de análise térmica diferencial das amostras dos corpos-de-prova tipo 1 (cp) sem a adição de entulho (A), com a adição de 30% de entulho (B), de 60% de entulho (C) e de 100% de entulho (D).



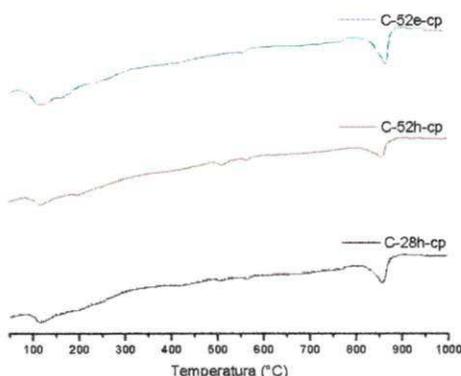
**FIGURA 4.22:** Curvas de análise térmica diferencial dos corpos-de-prova tipo 1 sem adição de entulho



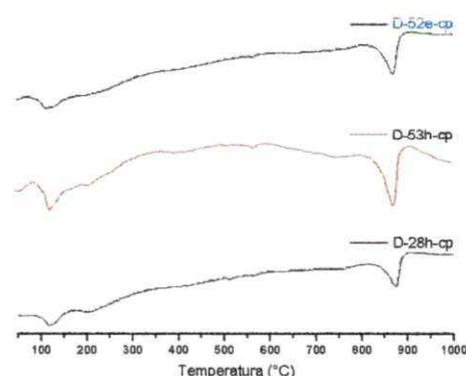
**FIGURA 4.23:** Curvas de análise térmica diferencial dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 30% de entulho

Analisando as curvas de análise térmica diferencial (ATD) na Figura 4.22, referente aos corpos-de-prova tipo 1, sem a adição de entulho, denominado convencional, verifica-se que as curvas referentes às amostras com 28 dias de hidratação (28h), 52 dias de hidratação (52h) e 52 dias de envelhecimento (52e), apresentaram de forma geral picos endotérmicos de pequena intensidade entre as temperaturas de 110°C a 160°C, caracterizando a presença de água livre; picos endotérmicos de pequena intensidade 510°C e 570°C correspondente a presença de brucita ( $Mg(OH)_2$ ) e portlandita ( $Ca(OH)_2$ ) respectivamente; pico endotérmico de grande intensidade a 820°C, correspondente à presença do carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) provavelmente proveniente do cimento Portland em forma de adição (filler calcário) e da carbonatação da amostra durante a preparação para o ensaio.

Para a Figura 4.23, observa-se que as curvas de ATD, referente aos corpos-de-prova tipo 1, com adição de 30% entulho, verifica-se que as amostras com 28 dias de hidratação (28h), 52 dias de hidratação (52h) e 52 dias de envelhecimento (52e) apresentaram picos endotérmicos de pequena intensidade em torno de 110°C, o que caracteriza a presença de água livre; apenas as amostras com 28h e 52h apresentaram picos endotérmicos de intensidade muito pequena a 510°C e 570°C correspondente presença de brucita ( $Mg(OH)_2$ ) e portlandita ( $Ca(OH)_2$ ), respectivamente. Já para todas as amostras observou-se picos endotérmicos de grande intensidade a 820°C, correspondente à presença de carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ).



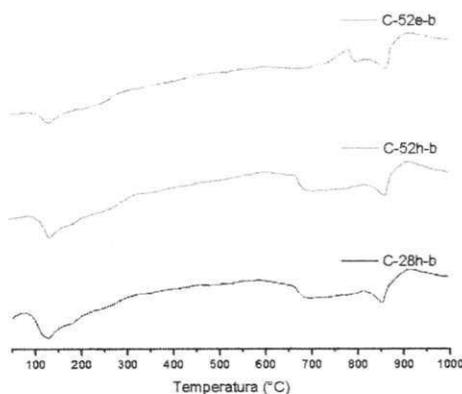
**FIGURA 4.24:** Curvas de análise térmica diferencial dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 60% de entulho



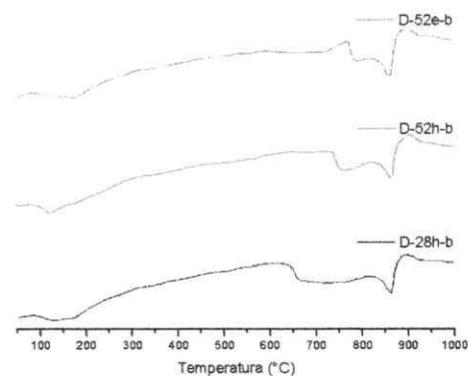
**FIGURA 4.25:** Curvas de análise térmica diferencial dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 100% de entulho

Analisando as curvas de ATD na Figura 4.26, referente aos corpos-de-prova cilíndricos, tipo 2, sem a adição de entulho, denominado convencional, verifica-se que as curvas referentes às amostras com 28 dias de hidratação (28h), 52 dias de hidratação (52h) e 52 dias de envelhecimento (52e), apresentaram em todas as curvas, picos endotérmicos de pequena intensidade a 110°C, caracterizando a presença de água livre; picos endotérmicos de pequena intensidade 550°C correspondente a presença de portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ); pico endotérmico de grande intensidade a 820°C, correspondente à decomposição do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Para as curvas de ATD da Figura 4.27, referente aos corpos-de-prova tipo 2, com adição de 30% entulho, verifica-se que as amostras com 28 dias de hidratação (28h), 52 dias de hidratação (52h) e 52 dias de envelhecimento (52e) apresentaram picos endotérmicos de pequena intensidade a 110°C, o que caracteriza a presença de água livre; para as amostras hidratadas aos 28 dias e 52 dias observa-se provavelmente a presença da magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), entre as temperaturas de 650°C a 750°C. Já em todas as amostras observa-se picos endotérmicos de grande intensidade a 820°C, correspondente à presença da calcita ou carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).



**FIGURA 4.28:** Curvas de análise térmica diferencial dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho



**FIGURA 4.29:** Curvas de análise térmica diferencial dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 100% de entulho

Para as curvas de ATD da Figura 4.28 e 4.29, referente aos corpos-de-prova

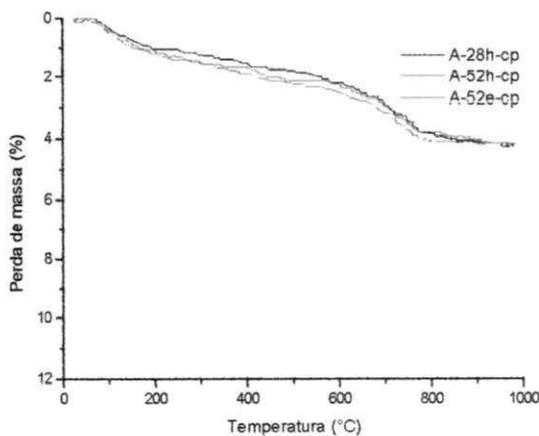
para todas as amostras, com picos endotérmicos de pequena intensidade a 110°C, o que caracteriza a presença de água livre; observa-se que pode haver presença da magnesita ( $MgCO_3$ ), entre as temperaturas de 650°C a 750°C, e picos endotérmicos de pequena intensidade a 820°C, correspondente à presença da calcita ou carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ).

Para as amostras, confeccionadas utilizando os corpos-de-prova cilíndricos tipo 2, observa-se que com a adição progressiva do entulho da construção civil, ocorreu o desaparecimento do pico referente a portlandita e o conseqüente aparecimento da magnesita.

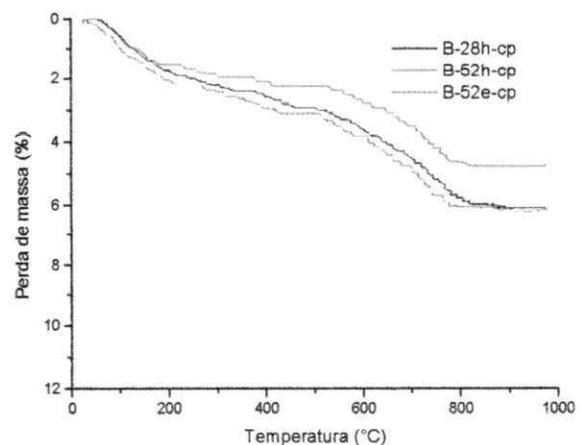
#### 4.4.2 Análise termogravimétrica

##### 4.4.2.1 Análise termogravimétrica das amostras dos corpos-de-prova tipo 1

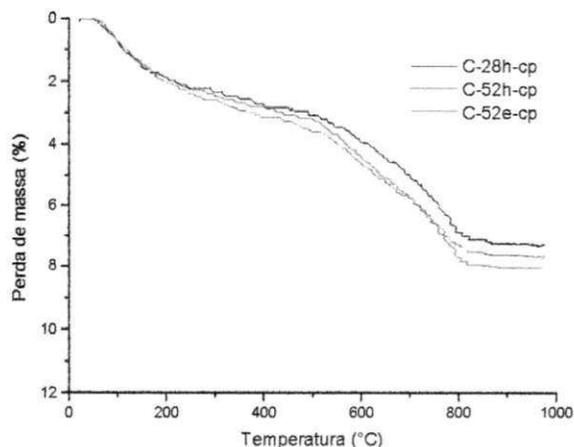
As Figuras 4.30, 4.31, 4.32 e 4.33 apresentam as curvas referentes às curvas termogravimétrica (ATG) das amostras dos corpos-de-prova tipo 1 (cp) sem a adição de entulho (A), com a adição de 30% de entulho (B), de 60% de entulho (C) e de 100% de entulho (D).



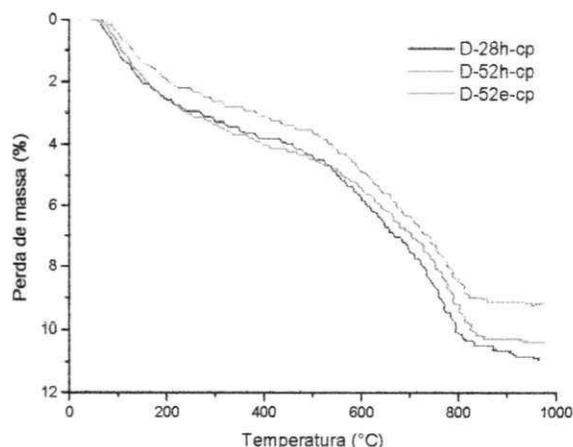
**FIGURA 4.30:** Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 sem adição de entulho



**FIGURA 4.31:** Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 30% de entulho



**FIGURA 4.32:** Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 60% de entulho



**FIGURA 4.33:** Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 1 com adição de 100% de entulho

Analisando as curvas de ATG da Figura 4.30, verifica-se que em todas as amostras, há uma pequena perda de massa, entre 40°C e 180°C, referente à evaporação das águas livres e adsorvidas; pequena perda de massa entre 400°C a 600°C, devido a desidroxilação da portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$ ); perda de massa entre 600°C e 800°C correspondente a descarbonatação do  $\text{CaCO}_3$ . As Figuras 4.31, 4.32, 4.33 apesar de possuírem a adição de 30%, 60% e 100%, de entulho da construção civil, respectivamente, apresentam comportamentos similares ao da Figura 4.30, sem a adição de entulho, e as mesmas perdas de massas entre as mesmas faixas de temperaturas. Verificou-se ainda que a perda de massa total ficou em torno de 4%, para amostras sem adição de entulho, de 6% para amostras com 30% de entulho, de 8% para amostras com 60% de entulho, e 10% para amostras com 100% de entulho.

#### 4.4.2.2 Análise termogravimétrica das amostras dos corpos-de-prova tipo 2

As Figuras 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37 apresentam as curvas termogravimétricas das amostras dos corpos-de-prova tipo 2 (b) sem a adição de entulho (A), com a adição de 30% de entulho (B), de 60% de entulho (C) e de 100% de entulho (D).

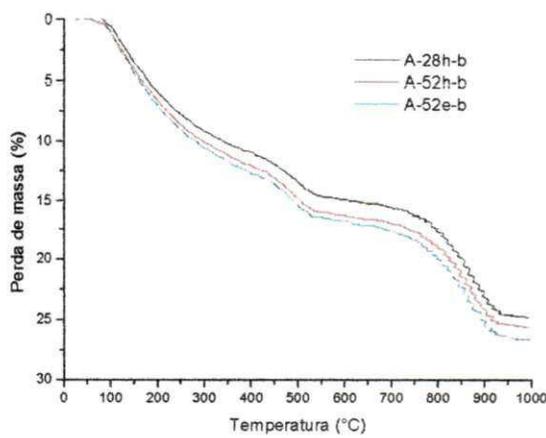


FIGURA 4.34: Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 sem adição de entulho

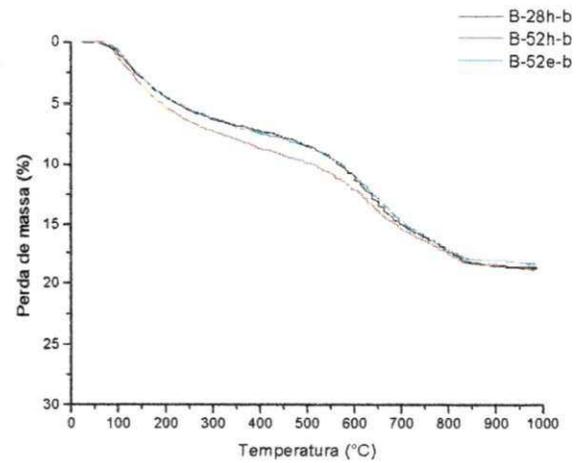


FIGURA 4.35: Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 30% de entulho

Analisando as curvas de ATG da Figura 4.34, verifica-se um comportamento muito semelhante para todas as amostras, com uma perda de massa, entre 40°C e 180°C, referente à evaporação das águas livres e adsorvidas; perda de massa entre 400°C a 600°C, oriunda da desidroxilação da portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$ ); perda de massa entre 600°C e 800°C correspondente a descarbonatação do  $\text{CaCO}_3$ . As Figuras 4.36 (com 30% de entulho), 4.37 (com 60% de entulho), 4.36 (com 100% de entulho), apresentam comportamentos similares ao da Figura 4.34, sem a adição de entulho, e as mesmas perdas de massas entre as mesmas faixas de temperaturas.

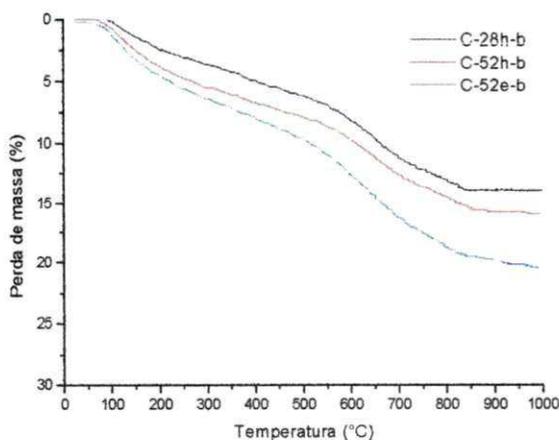


FIGURA 4.36: Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 60% de entulho

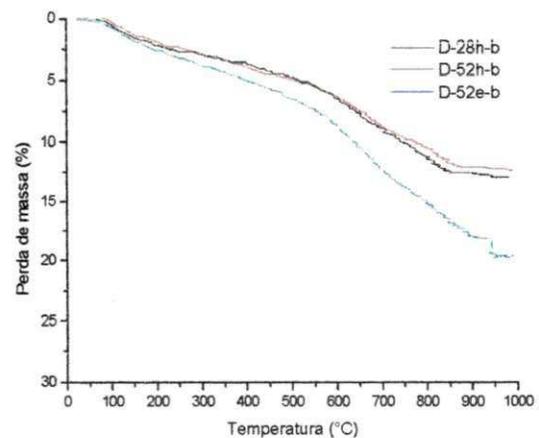


FIGURA 4.37: Curvas termogravimétrica dos corpos-de-prova tipo 2 com adição de 100% de entulho

Comparando as Figuras 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37, verifica-se que a perda de massa total para a Figura 3.34 foi maior (em torno de 24%) que os das figuras com adição de entulho, as quais, diferentemente do comportamento das amostras obtidas com os corpos-de-prova tipo1, onde houve uma pequena diminuição na perda total de massa.

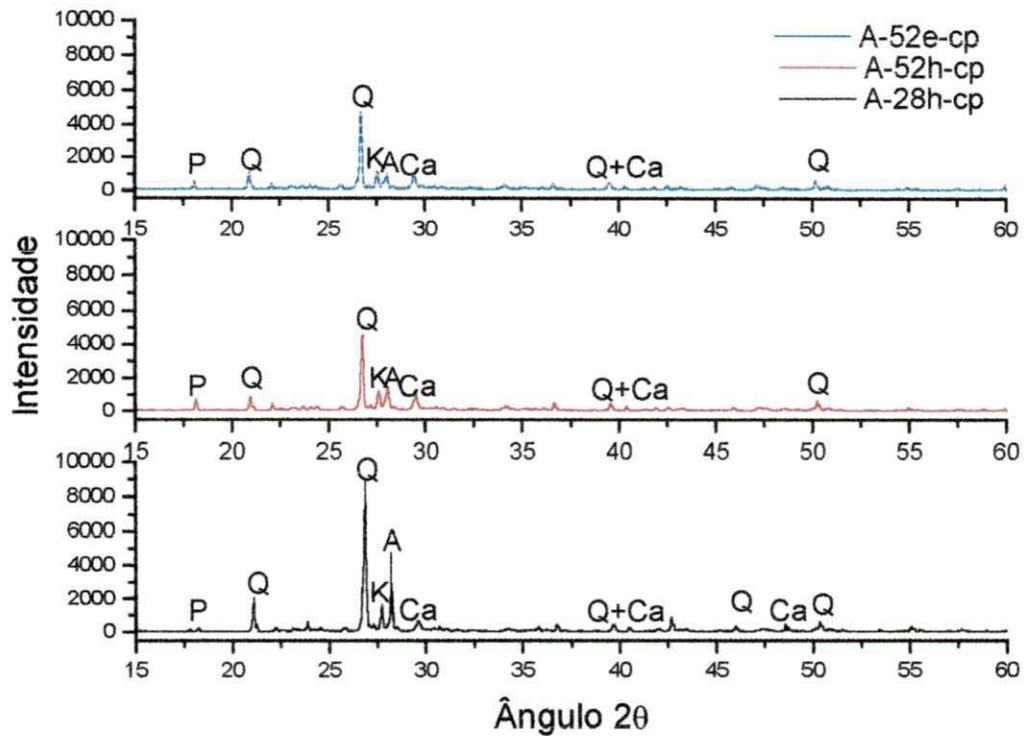
#### 4.4.3 *Análise por difração de raios-X*

Os difratogramas apresentados nas Figuras 4.38, 4.38, 4.40 e 4.41 são referentes às amostras de concreto convencional (amostra de controle) e incorporados com entulho da construção civil elaborados com os corpos-de-prova tipo 1, enquanto que as Figuras 4.42, 4.43, 4.44 e 4.45 são referentes às amostras confeccionadas utilizando os corpos-de-prova tipo 2.

##### 4.4.3.1 *Curvas de difração de raios-X das amostras dos corpos-de-prova tipo 1*

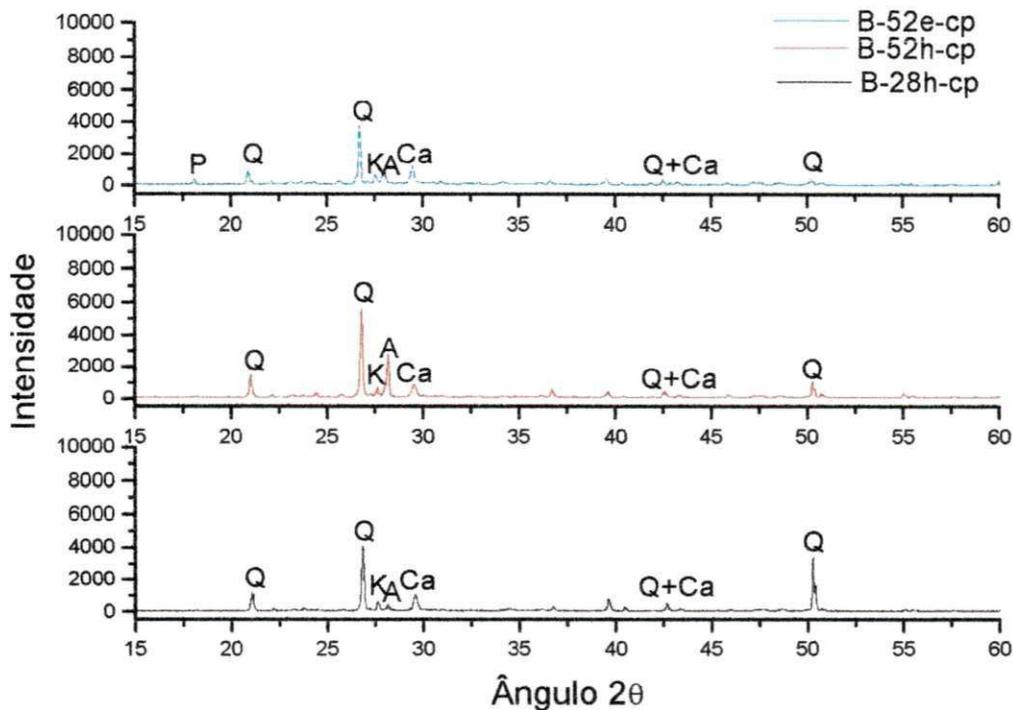
A Figura 4.38 apresenta as curvas de DRX para as amostras de concreto convencional aos 28 dias de hidratação (A-28h-cp), aos 52 dias de hidratação (A-52h-cp) e aos 52 dias envelhecimento (A-52e-cp).

Através das curvas de DRX da Figura 4.38 é possível observar que as amostras A-28h-cp, A-52h-cp e A-52e-cp apresentaram em sua composição as fases cristalinas de quartzo (Q), calcita (Ca), albita (A) e óxido de potássio (K) e Portlandita (P). Os difratogramas são dominados pelo pico de quartzo. A presença dos picos de calcita se deve a presença de "fíler" calcário presente no cimento anidro, e são constantes em todas as condições de ensaio das amostras em estudo. A taxa de hidratação das amostras pode ser avaliada, comparando o aumento dos picos hidratados ou a redução dos picos anidros nas condições do ensaio. Pode-se observar que o pico referente a albita, da fase silicato, é mais intenso aos 28 dias de hidratação, diminuindo de intensidade aos 52 dias de hidratação e mantendo o mesmo comportamento quando envelhecido aos 52 dias, ou seja, caracterizando o efeito de hidratação.



**FIGURA 4.38:** Difração de raios-X das amostras de concreto convencional dos corpos-de-prova tipo 1

As curvas de DRX apresentados na Figura 4.39 são referentes às amostras de concreto com a adição de 30% de entulho da construção civil aos 28 dias de hidratação (B-28h-cp), aos 52 dias de hidratação (B-52h-cp) e aos 52 dias de envelhecimento (B-52e-cp). Através das curvas de DRX desta figura observar-se que as amostras B-28h-cp, B-52h-cp e B-52e-cp apresentam em sua composição as fases cristalinas de quartzo (Q), calcita (Ca), albita (A), óxido de potássio (K) e Portlandita (P). O pico dominante, nesta figura é o de quartzo, como acontece na Figura 4.4.

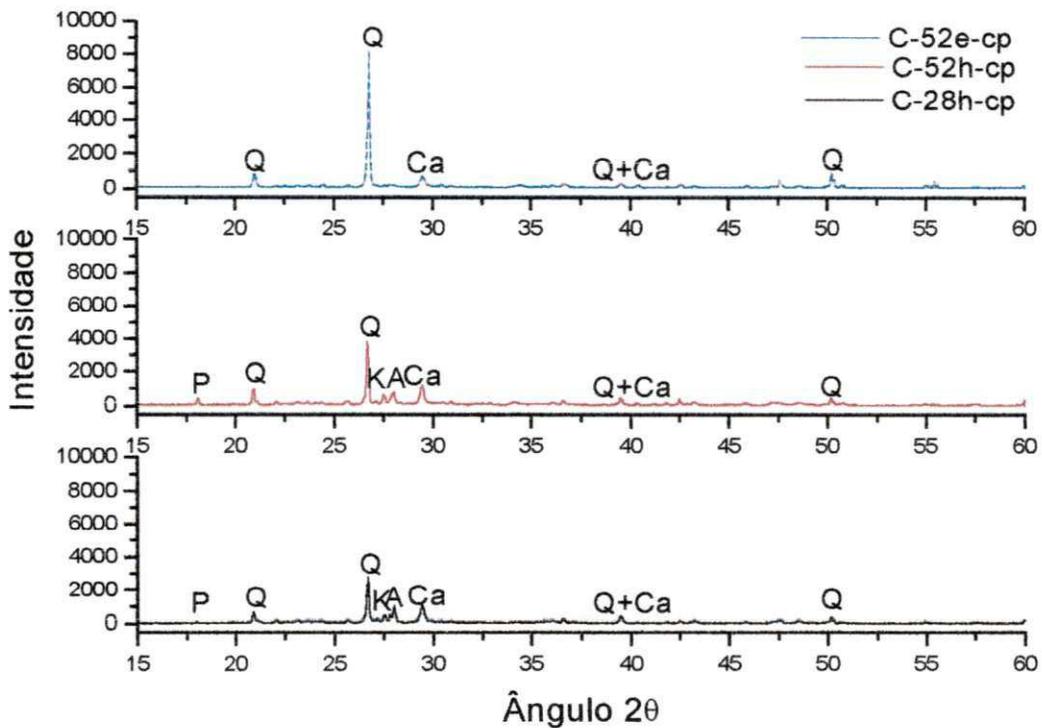


**FIGURA 4.39:** Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 30% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 1

Com a análise das curvas de DRX da Figura 4.39 é possível observar que as amostras B-28h-cp, B-52h-cp e B-52e-cp apresentaram as mesmas fases presentes nas amostras de concreto convencional apresentadas na Figura 4.38. Com relação à hidratação, valem os mesmos comentários feitos para o concreto convencional. Nota-se uma diminuição dos picos correspondentes a condição anidra, indicando uma evolução na hidratação destas amostras. Percebe-se também, que o pico referente a Portlandita (P) volta a aparecer com a diminuição do pico referente a albita (A) para a amostra envelhecida. Isto pode significar que a maior hidratação da albita com o envelhecimento aumentou a presença da fase portlandita. Isto significa que a adição de 30% de entulho não foi suficiente para que a sua parte fina possa reagir com a portlandita e consumi-lo na reação pozolânica.

A Figura 4.40 apresenta as curvas de DRX referentes as amostras de concreto com a adição de 60% de entulho da construção civil aos 28 dias de

hidratação (C-28h-cp), aos 52 dias de hidratação (C-52h-cp) e aos 52 dias de envelhecimento (C-52e-cp).

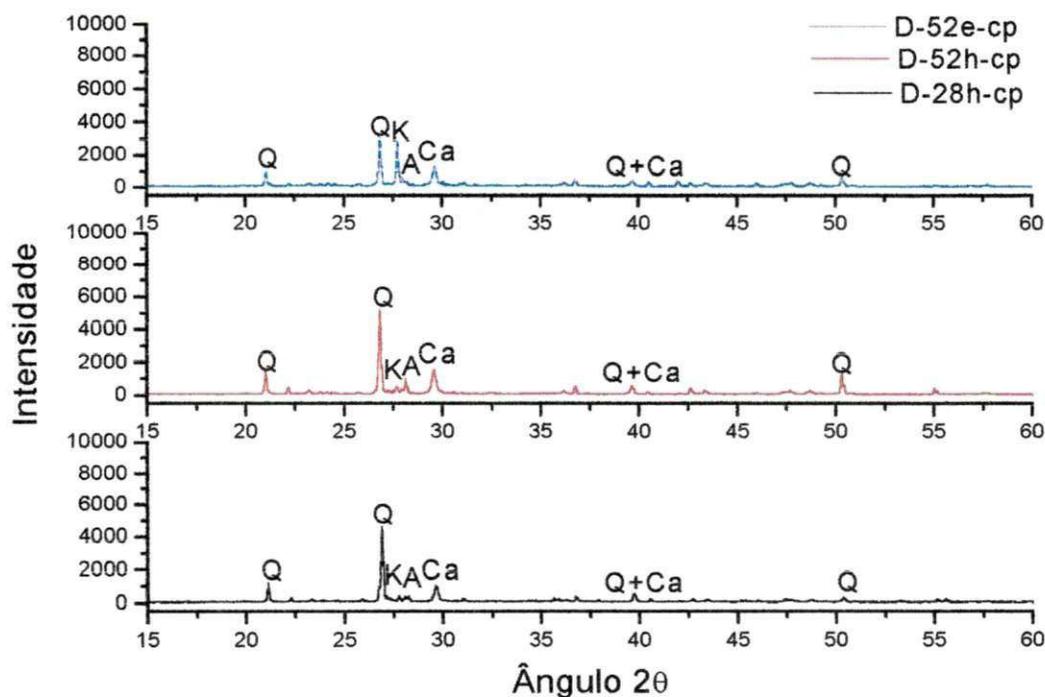


**FIGURA 4.40:** Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 60% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 1

As fases presentes na difratometria das amostras citadas são: quartzo (Q), calcita (Ca), albita (A) e óxido de potássio (K) e Portlandita (P). Observa-se comportamento similar as das amostras com 30% entulho incorporado. Nota-se que os picos referentes ao quartzo são mais evidentes para as três amostras, sendo que a amostra envelhecida tem o pico referente a esta fase mais intenso e não apresenta a fase albita, caracterizando uma maior evolução na hidratação do concreto. De forma geral observa-se que os picos referentes a portlandita desaparecem ao mesmo tempo em que os picos referentes a albita. Pode-se admitir que há um balanço entre a geração de portlandita e seu consumo pela reação pozolânica.

As curvas de DRX apresentados na Figura 4.41 são referentes às amostras de concreto com a adição de 100% de entulho da construção civil aos 28 dias de

hidratação (D-28h-cp), aos 52 dias de hidratação (D-52h-cp) e aos 52 dias de envelhecimento (D-52e-cp).



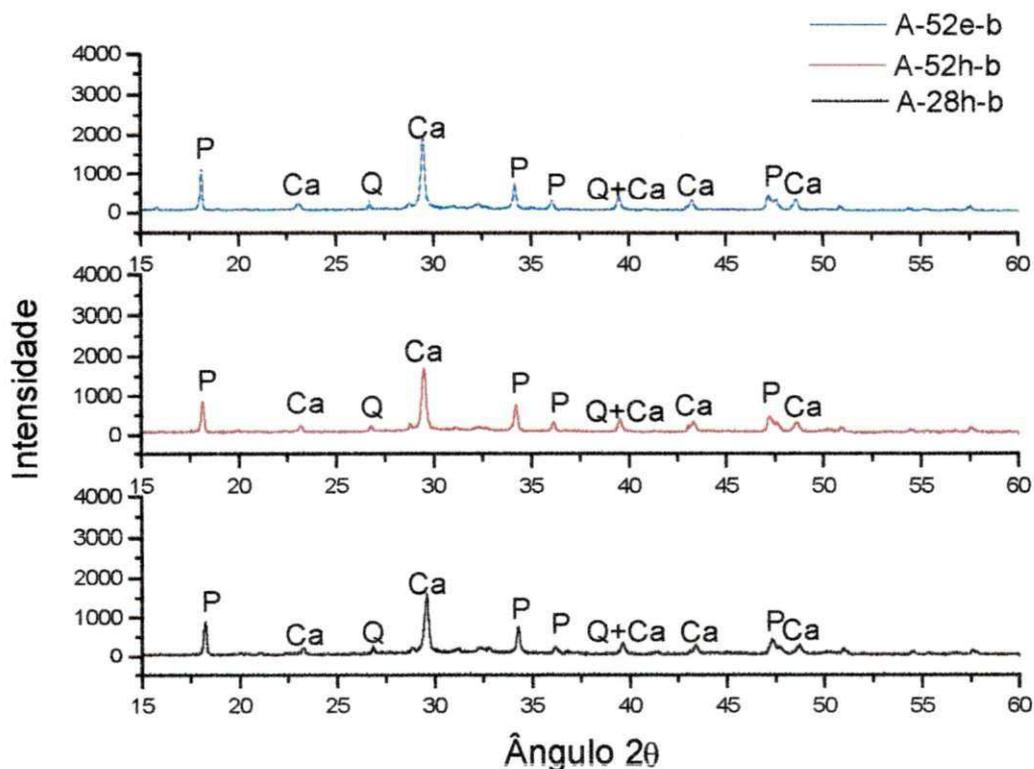
**FIGURA 4.41:** Difração de raios-X das amostras de concreto alternativo com 100% de entulho incorporado dos corpos-de-prova tipo 1

Como era de se esperar nestas amostras estão presente às mesmas fases das amostras citadas anteriormente, que são: quartzo (Q), calcita (Ca), albita (A) e óxido de potássio (K). Este comportamento é, equivalente para todos os difratogramas apresentados nesta figura. Nota-se que os picos referentes às fases anidra apresentam-se com menor intensidade, este fato pode caracterizar um excesso de material pozolânico devido aos 100% de entulho presente na amostra. Observa-se também que não há picos referentes a portlandita em nenhuma dos três difratogramas.

#### 4.4.3.2 Curvas de difração de raios-X das amostras dos corpos-de-prova tipo 2

Estes corpos-de-prova foram confeccionados, com o objetivo de analisar o indicativo do efeito pozolânico da parte fina do entulho presente no agregado reciclado com o cimento. A mistura é composta de cimento, entulho em pó e água nas mesmas proporções utilizadas para os blocos com traço 1:8.

A Figura 4.42 apresenta as curvas de DRX para as amostras de concreto convencional aos 28 dias de hidratação (A-28h-b), aos 52 dias de hidratação (A-52h-b) e aos 52 dias envelhecimento (A-52e-b).

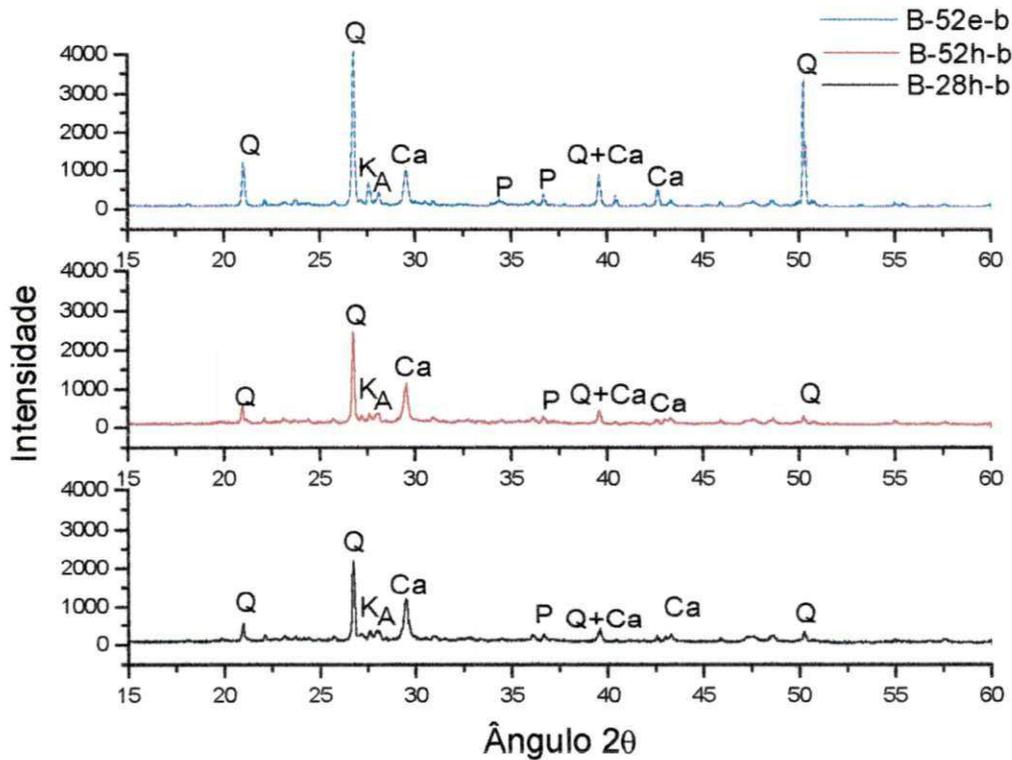


**FIGURA 4.42:** Difração de raios-X das amostras compostas sem entulho da construção civil dos corpos-de-prova tipo 2

As fases cristalinas observadas nas difratometria da Figura 4.42 são as seguintes: quartzo (Q), calcita (Ca) e portlandita (P). Os difratogramas são dominados pelo pico de calcita e portlandita. O discreto aumento dos picos referente

a Portlandita para as amostra A-52h-b e A-52e-b indica que houve uma maior hidratação do cimento Portland.

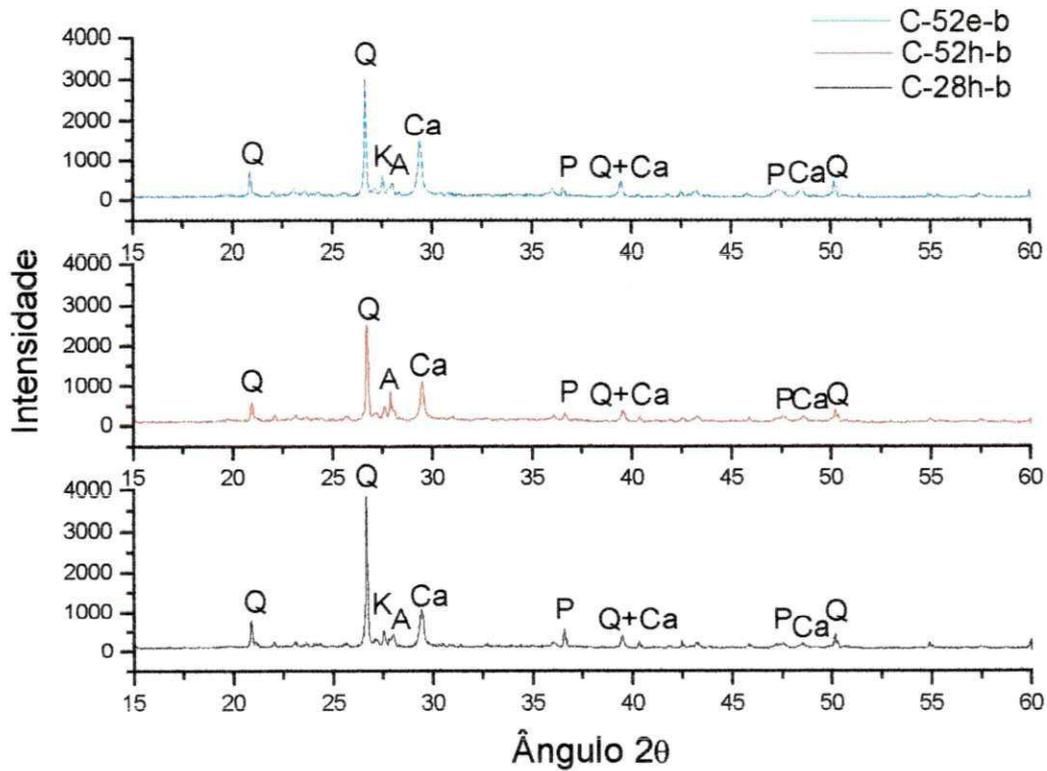
A Figura 4.43 apresenta as curvas de DRX para as amostras de concreto com 30% de entulho aos 28 dias de hidratação (B-28h-b), aos 52 dias de hidratação (B-52h-b) e aos 52 dias de envelhecimento (B-52e-b).



**FIGURA 4.43:** Difração de raios-X das amostras compostas com 30% de entulho da construção civil dos corpos-de-prova tipo 2

Observa-se em todos os difratogramas da Figura 4.43 a presença das seguintes fases: quartzo (Q), calcita (Ca), portlandita (P), hidróxido de potássio (K) e albita (A). Estes difratogramas são dominados pelo pico de quartzo e calcita. O consumo acelerado dos picos referentes a portlandita quando comparado com as amostras sem entulho (Figura 4.42) pode ter sido ocasionado pelo excesso de entulho presente nas amostras, proveniente da reação pozolânica.

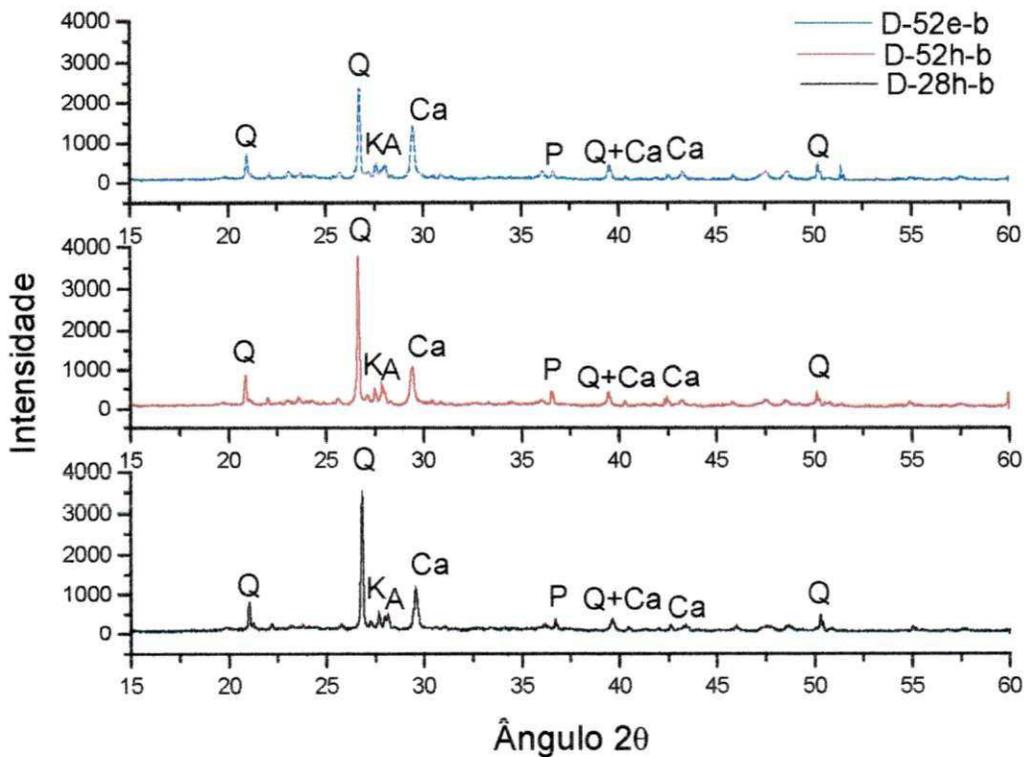
A Figura 4.44 apresenta as curvas de DRX para as amostras de concreto com 60% de entulho aos 28 dias de hidratação (C-28h-b), aos 52 dias de hidratação (C-52h-b) e aos 52 dias envelhecimento (C-52e-b).



**FIGURA 4.44:** Difração de raios-X das amostras compostas com 60% de entulho da construção civil dos corpos-de-prova tipo 2

Nesta figura, os difratogramas são compostos, das seguintes fases: quartzo (Q), calcita (Ca), portlandita (P), hidróxido de potássio (K) e albita (A). Estes difratogramas são dominados pelo pico de quartzo e calcita. Apresenta também comportamento similar a Figura 4.43 com a diminuição dos picos de Portlandita.

A Figura 4.45 apresenta as curvas de DRX para as amostras de concreto com 100% de entulho aos 28 dias de hidratação (D-28h-b), aos 52 dias de hidratação (D-52h-b) e aos 52 dias envelhecimento (D-52e-b).



**FIGURA 4.45:** Difração de raios-X das amostras compostas com 100% de entulho da construção civil dos corpos-de-prova tipo 2

Observa-se nesta figura que os difratogramas são composto das seguintes fases: quartzo (Q), calcita (Ca), portlandita (P), hidróxido de potássio (K) e albita (A). Estes difratogramas são dominados pelo pico de quartzo e calcita e apresenta comportamento similar aos da Figuras 4.43 e 4.44.

Comparando todas as figuras de DRX pode-se verificar a presença muito marcante de quartzo e que pode mascarar outras fases possivelmente presentes nas amostras.

## CAPÍTULO V - CONCLUSÕES

1 - Considerando os resultados obtidos, os materiais utilizados e a metodologia de ensaio adotada neste trabalho para a fabricação de blocos de concreto com e sem função estrutural, pode-se chegar as seguintes conclusões de caráter geral:

- a absorção de água é inversamente proporcional à resistência à compressão dos blocos, o que é coerente com a esperada redução da porosidade devido ao progresso da hidratação do cimento Portland entre 7 dias e 28 dias;
- o aumento no teor de entulho provoca o aumento da relação a/c necessária à moldagem dos blocos devido à presença de materiais de alta absorção, tais como argamassa moída e materiais cerâmicos, que influenciam no aumento da absorção de água das amostras;
- o aumento do grau de hidratação do cimento Portland proporcionado pela garantia do processo de cura utilizado, por imersão das amostras em tanques com água, refletiu-se na melhoria das propriedades de resistência à compressão e de absorção de água de todos os blocos avaliados.
- comparando os resultados da primeira fase com os da segunda fase para os mesmos traços (1:4 e 1:6), observa-se que em geral, o aumento da relação a/c não significou aumento da absorção de água e a queda da resistência à compressão simples, pelo contrario, até melhorou essas propriedades nas amostras.

2 - Considerando os resultados obtidos, os materiais utilizados e a metodologia de ensaio adotada na avaliação de durabilidade por molhagem e secagem dos compósitos utilizados para produzir blocos de vedação e estrutural, pode-se concluir que:

- o padrão de comportamento de todas as amostras submetidas ao ensaio de envelhecimento acelerado por molhagem/secagem é o mesmo, demonstrando ganhos de resistência à compressão durante os primeiros ciclos, em geral até o 5º ciclo, seguido de quedas até o 12º ciclo. Pode-se dizer que, até certo ponto, as condições de ensaio aceleram (devido ao aumento de temperatura até 71°C) as reações de hidratação do cimento anidro ainda presente nas amostras, resultando em ganho rápido de resistência à compressão. A partir desse ponto, o início do processo de envelhecimento (degradação) passa a governar o comportamento das amostras, reduzindo as resistências a valores sempre inferiores quando comparado às amostras protegidas do fator de degradação (hidratação normal);
- a comparação entre resultados obtidos com amostras protegidas (hidratação normal) e não protegidas do fator de degradação (ciclos de molhagem/secagem) permite afirmar que:
  - a. as amostras com concreto convencional degradam menos do que as amostras com concreto alternativo com entulho da construção civil.
  - b. o concreto alternativo com 30% de entulho na 1ª fase (substituindo o total de agregados naturais) e 60% de entulho na 2ª fase, com o traço 1:6, destacam-se como aqueles que melhor evidenciam o provável efeito pozolânico, devido à presença de material cerâmico no entulho triturado. Esse efeito parece ser diferente em função da quantidade de cimento Portland presente nas composições;
  - c. o concreto alternativo com 60% de entulho (substituindo o total de agregados naturais) na 2ª fase, com o traço 1:6, apresenta o melhor comportamento e evidencia-se como aquele que mais se aproxima do comportamento da amostra convencional que pode ser considerado como referência no envelhecimento acelerado implementado nessa avaliação deste trabalho;
  - d. a combinação entre menor consumo de cimento (traço 1:8) e 30% de entulho parece favorecer mais a redução dos efeitos da degradação devido aos ciclos de molhagem e secagem.

3 - Considerando os resultados obtidos, os materiais utilizados e a metodologia de ensaio adotada na caracterização dos constituintes após o ensaio de durabilidade, utilizado para produzir blocos de vedação e estrutural, pode-se concluir que:

- através dos ensaios de caracterização não foi possível identificar qualquer relação entre a queda no desempenho mecânico e o surgimento de novas fases cristalinas;
- de forma geral os resultados obtidos nos ensaios de DRX confirmam os resultados obtidos na análise térmica diferencial e termogravimétrica, ou seja, acima de 30% de entulho o efeito pozolânico é mínimo na medida em que toda a portlandita é consumida pelo excesso de entulho presente nos compósitos.

Os blocos fabricados com o traço 1:8, com 60% de entulho incorporado, obedecem aos parâmetros estabelecidos pela Norma da ABNT, apresentando um melhor desempenho aos efeitos de degradação por molhagem e secagem, sendo, portanto a composição ideal para a fabricação de blocos de vedação com resíduos da construção civil.

Portanto, a combinação entre o menor consumo de cimento Portland (traço 1:8) na amostra e menor teor de entulho (30%) no compósito alternativo substituindo o total de agregados naturais favorece a redução dos efeitos de degradação, devido ao melhor desempenho no ensaio de molhagem e secagem pelo método modificado.

Assim, de acordo com o bom comportamento dos concretos alternativos com adição de entulho da construção civil apresentado neste trabalho em função do comportamento mecânico, a composição ideal para a fabricação de blocos estruturais alternativos ocorreu para o traço 1:6, e para a fabricação de blocos de vedação, o traço 1:8, com teor de entulho na proporção de 60% entulho, considerando o tempo de cura de 7 dias. Com relação ao critério de envelhecimento pelo método de molhagem secagem, é possível utilizar os mesmos traços e teores de entulho da construção civil, na proporção de 60% e 30% para fabricação de blocos estruturais e de vedação respectivamente, adotando como tempo de cura, 28 dias.

Este trabalho é de grande importância, por fornecer subsídios para obtenção de informações sobre a reciclagem e o uso do entulho reciclado. Com isso, espera-se contribuir para reduzir a agressão ao meio ambiente ao mesmo tempo em que se pretende aumentar o grau de confiabilidade da reciclagem de entulho da construção civil como materiais reaproveitáveis para confecção de componentes utilizados em edificações.

## CAPÍTULO VI - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Principalmente quando se trata de um novo material, é extremamente impossível vencer todas as possibilidades de estudo sobre o seu comportamento. Considerando a importância e a atualidade dos estudos sobre a reciclagem de resíduos da construção civil, este trabalho é mais um passo no sentido da implantação da reciclagem destes resíduos no país. Assim, com o objetivo de contribuir para aumentar o conhecimento sobre este assunto, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- desenvolver um estudo de retração por secagem dos blocos de concreto com adição de entulho;
- elaborar um estudo de avaliação ambiental, levando em consideração o fenômeno de lixiviação;
- avaliar o aproveitamento apenas da parte graúda do entulho obtido em obra em execução em substituição ao cascalho presente na dosagem do concreto convencional;
- elaborar uma análise cinética da decomposição térmica dos compósitos utilizados na elaboração de blocos de concreto com entulho incorporado, como também a sua estabilidade térmica;
- realizar um estudo aprimorado da viabilidade econômica para a elaboração de blocos de concreto com entulho da construção civil incorporado em grande escala;
- desenvolver uma proposta de parcerias com as empresas da construção civil, de forma que elas venham a assumir um compromisso para o reaproveitamento e/ou reciclagem do entulho;
- Estudar outros métodos de envelhecimento utilizando entulho da construção civil;
- construir protótipos em alvenaria usando os blocos que obtiveram melhor desempenho neste trabalho, para verificar em condições reais de uso quanto às condições de construção e estudo pós-ocupacional (conforto térmico, acústico, etc);

- fazer um estudo estequiométrico da reação pozolânica do entulho da construção civil com cal, cimento Portland CP II-F-32 e cimento Portland CP II-Z-32.

## CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 6.1 Referências Bibliográficas

**AÏTCIN, P. C.** The durability characteristics of high performance concrete: a review. In: *Cement & Concrete Composites* 25 (2003) 409-420. Elsevier, 2003.

**AGOPIAN, V. et. al.** Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. São Paulo, PCC/USP, 1998. Relatório final: v. 1-45p, v. 2-592p, v. 4-334p, v. 5-189p.

**ALAVEDRA, P.; DOMINGUEZ, J.; GONZALO, E. et. al.** La construction sostenible. El estado da la cuestion. *Informes de la construccion*, v.49, nº451, p. 41-47, 1997.

**AMORIM, L. V.** Influência da área específica na reatividade do sistema pozolana-cal visando a obtenção de aglomerantes alternativos. Universidade Federal da Paraíba. Dissertação de mestrado, 1999.

**ANDRADE, A. C.** Método para qualificação de perdas de materiais em obras de construção de edifícios. São Paulo, 1999. 35p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

**ÂNGULO, S. C.;** Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. Escola Politécnica de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 2000.

**ARAÚJO, F. T. V.; NEVES, G. A. & FERREIRA, H.C.** Pega e envelhecimento de argamassas alternativas com cais pozolânicas. Relatório do CNPq, 1995.

**ARAÚJO, E. S.; NEVES, G. A. & FERREIRA, H.C.** Aproveitamento dos resíduos da construção civil para uso como aglomerante pozolânico em argamassa. Relatório do CNPq, 1997.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Massa específica real. NBR - NM 23/98.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Superfície específica Blaine. NBR - NM 76/98.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Composição química. NBR 05742.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – cimento Portland de alta resistência inicial. NBR 5733/94.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – cimento Portland resistentes aos sulfatos. NBR 5737/94.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – moldagem e cura de Corpos-de-prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos. NBR 5738/94.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos, NBR 5739/94.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural – Especificação, NBR 6136/94.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Massa Específica Real. NBR 6508/84.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. NBR 7173/82.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Determinação de absorção de água. **NBR 7182.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Blocos vazados de concreto simples - Determinação da resistência a compressão. **NBR 7184/91.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural. **NBR 7186/82.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Agregados para concreto. **NBR 7211/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão simples - Método de ensaio, **NBR 7215/91.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Determinação da composição granulométrica dos agregados. **NBR 7217/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. **NBR 7218/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Agregados em estado compactado seco – Determinação da massa unitária. **NBR 7219/83.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Agregado em Estado Solto – Determinação da Massa Unitária em Estado Solto – Método de Ensaio. **NBR 7251/82.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Agregado em estado compactado seco - Determinação da massa unitária. **NBR 7810/83.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Determinação da composição granulométrica dos agregados. **NBR 7810/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Determinação da massa específica real. **NBR 9776/82.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Método de ensaio para determinação da massa específica do agregado miúdo - Frasco de Chapman. **NBR 9776/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Determinação da Massa Específica e Absorção do Agregado Graúdo - Método de Ensaio. **NBR 9937/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório. **NBR 9941/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Resíduos sólidos, **NBR 10004/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Solubilização de resíduos, **NBR 10006/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Amostragem de resíduos, **NBR 10007/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Cimento Portland Composto. **NBR 11578/91.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Finura de resíduos na peneira 0,075mm. **NBR 11579/91**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Tempo de pega: início e fim. **NBR 11581/91.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – Método de ensaio, **NBR 13554/96**.

**ÁVILA, A. P. R. T.** Reciclagem de resíduos cimentícios na construção civil. 5º Congresso Brasileiro de Cimento (CBC) - São Paulo, 8 a 12 de novembro de 1999.

**BARRA, M.; VASQUEZ, E.** Particularidades do processo de carbonatação em concretos de agregado reciclado. In: Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções. 4., 1997. Porto Alegre. Anais.... Porto Alegre: UFRGS, 1997, p. 217-224.

**BAUER, E.; COSTA, R. A.; OLIVEIRA, S. J.** Geração de parâmetros de referência para controle de recebimento de agregados para argamassa de revestimento. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2., Salvador, 1997. Anais. Salvador, ANTAC, 1997.

**BASÍLIO, F. A.** A Permeabilidade do concreto à água e a sua durabilidade. In: Colóquio do Instituto Brasileiro do Concreto, n4, 1976, São Paulo. Anais.... São Paulo: Editora, IBRACON, 1976. 15p.

**BASÍLIO, F. A.** Durabilidade do concreto em água do mar. In: Colóquio do Instituto Brasileiro do Concreto, n4, 1972, São Paulo. Anais.... São Paulo: Editora, IBRACON, 1972.

**BOGUE, R. H.** Chemistry of Portland Cement. New York: Reinhold, 1965, 235p.

**BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J.H.** Construction waste: qualification and source evaluation. Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 122, nº 01, p. 55-59, mar. 1996.

**BUREAU OF RECLAMANTION.** Concrete construction. 8. ed. Denver: EUA Department of Interior, 1975. 70p.

**CAMARINI, G.** Desempenho de misturas de cimento Portland comum e escória de alto forno submetidas à cura térmica. Tese de Doutorado – Escola Politécnica USP – Departamento de Construção Civil, 252p. São Paulo, 1995.

**CAMARINI, G. & BATTAGIN, A. F. & CINCOTTO, M.** A cura térmica: características do início de hidratação dos cimentos com escória. In: 4º Congresso Brasileiro de Cimento, São Paulo, 1996.

**CASCUDO, O. M. & REPETTE, W. L.** A ação deletéria de cloretos em estruturas de concreto armado de edifícios residenciais: Um caso real. In: 37º REIBRAC, IBRACON – INTITUTO Brasileiro do concreto, v. 1, anais, 13p. Goiânia, 1995.

**CRAIGHILL, A. L.; POWELL, J. C.** Using environmental economics in decision making and policy formulation for sustainable construction waste management. In: Waste Materials in Constructions: Putting Theory Info Practice. Great Britain, 1997. Proceeding. Great Britain, 1997. p. 857-67.

**CINCOTTO, M. A.** Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. Tecnologia das Edificações, Ed. PINI, São Paulo, 1988.

**COLLEPARDI, M.** A state-of-the-art review on delayed attack on concrete. In: Cement & Concrete Composites 25 (2003) 401-407. Elsevier, 2003.

**CONAMA.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. Critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil. Artigo 3º Incisos de I a IV da resolução 307 de 05/07/2002.

**CORBIOLI N.,** Reciclagem de entulho do caos à solução. Construção, nº 2505, Editora Pini, São Paulo, Fevereiro 1996.

**COLLINS, R J.** Upgrading the use of recycled aggregates. In: CIB BUILDING CONGRESS- MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION. Suíça, 1998. Proceedings. Suíça. 1998. p 101-06.

**CNOL e SINDUSCON-SP**, SuperObra.com, 2001. <http://www.infohab.org.br> (acessado no dia 19/09/2001).

**DE PAUW, C.**; Recyclage des Descombres d'Une Ville Sinistree. CSTC, revue n° 4, p. 12-28. dez 1982.

**DE PAUW, P.; THOMAS, P. VYNCKE, J.; et al.** Shrinkage and creep of concret with recycled materials as coarse aggregate. In: **DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C.** (Eds.). Sustainable Construction: Use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998. p.213-225.

**DOBLE, D. D.; HELLAWELL, A.; PERRY, S. J.** Hydration of Cement. Proc. R. Soc. London, London, v. 359, n. 1699, p. 435-451, 1978.

**DOBLE, D. D.**; New developments in understanding the chemistry of cement hydration. Phil. Trans. R. Soc. London, London, v. 310, n. 1511, p. 53-66, 1983.

**ENBRI.** Development of a framework for environmental assesement of building materials and components. (ENBRI Propposal to European Community BRITE EURAM Program). Mimeo. 18 mar. 1994.

**GALIVAN, R. M.; BERNOLD, L. E.** Source evaluation of solid waste in building construction. Journal of construction engineering and management. 1994.

**GARTNER. E. M.; GAIDIS, J. M.** Hydration mechanisms. In: Materials Science of Concrete I. Ed. Skalny, j. P., American Ceramic Society, 1989.

**GOLDSTEIN, H.** Not your father's concrete. Civil Engineering, v. 65, n. 5, p. 60-63, 1995.

**GRI.** Glass Packaging institute solid waste & Recycling policy. <http://www.gpi.org/swp2.htm>. Acesso em 15 de outubro de 1996.

**GRIGOLI, A. S.** Resíduo de construção civil utilizado como material de construção civil no local onde foi gerado. In: 3º Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Fortaleza, IBRACON, 2000.

**GRN.** Glossary of recycling terms. [http://ass.packaging.institute/solid\\_waste & Recycling policy](http://ass.packaging.institute/solid_waste&recycling_policy). <http://www.grn.com/libra/gloss-t.htm>. Acesso em 15 de outubro de 1996.

**HANSEN, T. C.** Recycled of demolished concrete and masonry. London Chapman & Hall, 1992. 316p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160 (RILEM TC Report 6).

**HARTLÉN, J.** Environmental consequences using residues. In: Int. Symp. On Bulk "Inert" Waste (pre-prints of the papers). Leeds: U. Leeds, 21-22 Sept 1995 p.

**HENDRICKS, C. F.** Wiederverwendung von Strassenaufbruch und Bauschutt in den Niederlanden. In: International Recycling Congress, 4º, Berlin 1985. Proceedings Berlin –1984 pp 972-977.

**HENDRICKS, C. F.** Certification system for aggregates produced from building waste and demolished buildings. In: Environmental Aspects of construction with waste Materials. Proceedings. Elsevier, 1993.

**JAWED, I.; SKALNY, J.; YOUNG, J. F.** Hydration of Portland cement. In: structure and performance of cements. Ed. Barbes, P. Applied Science Publishers, London, 1983.

**JOHN, V. M.** Durabilidade de materiais componentes e edifícios. Porto Alegre, CPGE/UFRGS, Dissertação de Mestrado, 1987.

**JOHN. V. M.** A construção e o meio ambiente. <http://www.recycle.pcc.usp.Br/artigos1.htm>. 1998a.

**JOHN, V. M. AGOPYAN, V. & PRADO, T. A.** Durabilidade de compósitos de cimento e fibras vegetais. III Seminário Internacional de Durabilidade de Materiais. Componentes e Estruturas. PCC /USP, São Paulo, Junho/1997.

**JOHN, V. M.** Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. Anais do Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. ANTAC - PCC /USP, São Paulo, 1996.

**JOHN, V. M.** Panorâmica sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. Anais – II Seminário – Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil. São Paulo, 1999.

**JOHN, V. M.** Reciclagem de resíduos na construção civil. São Paulo, PCC/USP, Tese de Livre Docência, 2000.

**KAMMALI, S.; GÉRARD, B.; MICHELINE, M.** Modelling the leaching kinetics of cement-based materials- influence of materials and environment. In: Cement & Concrete Composites 25 (2003) 451-458. Elsevier, 2003.

**LANGE, L. C.** A tecnologia da solidificação estabilização aplicada ao tratamento de resíduos industriais. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1-2, p. 55-66, 1988.

**LAURITZEN, K. E.** RILEM Buletin – International rilem symposium on demolition and reuse of concrete and masonry. Materials and Structures. N° 27, p. 307-30, 1994.

**LEITE, M. B.** Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. 2001.

**LEVY, S. M. & MARTINELLI, F. A. & HELENE, P. R. L.** A influência de argamassas endurecidas e resíduos cerâmicos, finamente moídos, nas propriedades de novas

argamassas. Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador/Ba, 1997;

**LEVY, S. M.** Reciclagem do entulho na construção civil, para utilização como agregado de argamassa e concreto. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. 1997.

**LEVY, S. M. & HELENE, P.** Durabilidade de concretos produzidos com resíduos minerais de construção civil práticas recomendadas. In: Seminário de desenvolvimento sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Práticas Recomendadas, 2. São Paulo. 2000. Anais. São Paulo. IBRACON, 2000a.

**LEVY, S. M. & HELENE, P. R. L.** Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry. In: CIB Symposium in construction and environment: Theory into practice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... (CD-ROM). São Paulo: CIB, 2000b. 12p.

**LEVY, S. M.** Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 2001.

**LIMA, J. A. R.** Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. 1999.

**MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO.** Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPE, 1999.

**MARZOUK, H.; LANGDON, S.** The effect of alkali-aggregate reactivity on the mechanical properties of high and normal strength concrete. In: Cement & Concrete Composites 25 (2003) 549-556. Elsevier, 2003.

**MELO, A. B.;** Influência de cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica no desenvolvimento da microestrutura dos concretos de cimento Portland. Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 2000.

**MENTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.** Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994. 573P.

**MIRANDA, L. F. R.** Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimento de argamassa com entulho reciclado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 2000.

**NAVARRO, R. F.** Materiais e ambiente. João Pessoa: Editora Universitária/ufpb. 2001 180p.

**NEVES, G. A.** Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica. Universidade Federal de Campina Grande. Tese de Doutorado, 2002.

**NEVILLE, A. M.** Propriedades do concreto. Trad. Salvador E. Giamusso. São Paulo: Pini, 1982.

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

**NÓBREGA, A. R. S.;** Contribuição ao diagnóstico da geração de entulho da construção civil no município de Campina Grande, PB. Universidade Federal da Paraíba – Campus II. Dissertação de Mestrado, 2002.

**PENG et al.** Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. Construction, Management and Economics. n° 15, p. 49-58, 1997.

**PENTALA, V.** Concrete and sustainable development. ACI Materials Journal, v. 94, n. 5, p. 409-416, 1997.

**PERA, J.** State of report – use of waste materials in construction in western Europe. Anais do Seminário reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo.

**PETRUCCI, E. G. R.** Concreto de cimento portland, 13ª ed., rev. por PAULON, V. A. São Paulo, ed. Globo 1998.

**PICCHI, F. A.** Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção e edifícios. São Paulo. 1993 462p Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

**PINTO, T. P.,** Reciclagem de entulho da construção civil, Técnica, nº 15, março de 1995.

**PINTO, T. P.** Utilização de resíduos de construção. estudo do uso de argamassas, São Carlos, 1994. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, 148p, Departamento de Arquitetura e Planejamento. Universidade São Paulo.

**PINTO, T. P.** Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas. São Carlos, 1986. 137p. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de Paulo.

**PINTO, T. P.** Metodologia pa gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. 189p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil.

**PINTO, T. P.** Desperdício em cheque. Revestimento. São Paulo, p.37-38, dez. 1989/1990.

**PINTO, T. P; LIMA, J. A. R.** Industrialização de componentes a partir de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana. In: Simpósio Ibero-americano sobre técnicas construtivas industrializadas para habitação de interesse social; 3º, 1993 – IPT, São Paulo, Brasil. Anais, São Paulo, 1993.

**PONTES, I. F.** Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos. São Paulo, 2000. 150p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

**PUERTAS, F.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.** Mineralogical and microstructural characterization of alkali-activated fly ash/slag paste. In: Cement & Concrete Composites 25 (2003) 287-292. Elsevier, 2003.

**QUEBAUD, M. R. & BUYLE-BODIN, F.** A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto. 5º Congresso Brasileiro de Cimento (CBC) - São Paulo, 8 a 12 de novembro de 1999.

**SCIOTTI, M.; DOLARA, E.; DI NIRO, G.; et al** Bonding surface between recycled aggregate and new cement paste. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub. 1998. p. 135-142.

**SCHULZ, R. R.; HEDRICKS, Ch. F.** Recycling of masonry rubble. In: Hansen, T. C. Recycling of demolished concrete and masonry. London: Chapman & Hall, 1992. Part Two, p. 161-255. (RILEM TC Report 6).

**SCRIVENER, K. L.** The microstructure of Concrete. In: Materials Science of Concrete, p. 127-161, 1988.

**SCRIVENER, K. L.** effect of heat treatment on inner product C-S-H. Cement and Concrete research, vol. 22, nº 6, pp. 1226, nov. 1992.

**SIJÖSTRÖM, C.** Durability and sustainable use of building materials. 8p., 1997. (texto digitado).

**SIJÖSTRÖM, C.** Durability of building materials and components. In: CIB Symposium in construction and environment: Theory into practice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings.... (CD-ROM). São Paulo: CIB, 2000. 9p.

**SOIBELMAN, L.** As perdas de materiais na construção de edificações: suas incidências e seu controle. Porto Alegre. Dissertação de mestrado. 1993. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**SOUZA, U. E. L. et al.** Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. In: Simpósio nacional – São Paulo, 1999. Anais. São Paulo (PCC/EPUSP). 48p.

**SOUZA, U. E. L. et al.** Perdas de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. Qualidade na Construção, SindusCon/SP, 1998. Ano II, nº 13, p. 10-15.

**SOUZA SANTOS, P.** Ciência Tecnologia de argilas. 3. ed. São Paulo. Volume I. Edgar Blucher Ltda. V. 1, 1992.

**TAYLOR, H. F. W.** The chemistry of cement. London: Academic Press, 1964. v. 1-2.

**TAYLOR, H. F. W.** Chemistry of cement hydration, In: Congresso Internacional de Química do Cimento, 8, 1986, Rio de Janeiro, RJ.

**TAYLOR, H. F. W.** Cement chemistry. London: Academic Press, 1990. 351 p.

**TAYLOR, H. F. W.** Cement chemistry. Academic Press Ltd, London: 1992.

**TEZUCA, Y.** Guia de utilização de Cimento Portland Hidráulico. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1988. 49p.

**TOALDO, E.** Para não virar pó. Construção, nº 2348, p.10, fev., 1993.

**TOBORI, N.; HOSODA, T. E.; KASAMI, H.** Properties of superplasticized concrete containing recycled fine aggregate. In: International conference on high-performance concrete, and performance and quality of concrete structures, 2, 1999. Gramado. Supplementary Papers... (CD-ROM). Porto Alegre: UFRGS, 1999. Arquivo: SP37, 19p.

**VÉSQUEA, E.; BARRA, M.** Recycling of aggregates in the construction industry. In: CIB Symposium in construction and environment: Theory into practice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceeding... (CD ROM). São Paulo: 2000, 8p.

**VEIGA, F. N. et al.** Reação alcali- agregado: a utilização da técnica de microscopia eletrônica da varredura na identificação de seus produtos. In: Simpósio sobre álcalis-agregado em estruturas de concreto. Anais, 1997.

**WEDLER, B.; HUMMEL, A.** Trummervwertung und ausbau von brandruinen. Wilhelm Ernest & Sohn, Berlin, 1946.

**ZORDAN, S. E.** Entulho da Indústria da Construção Civil. <http://www.recycle.pcc.usp.Br/fichatécnica.htm>. 2000 (acessado em maio de 2000).

## **6.2 Obras Consultadas.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** –moldagem e cura de Corpos-de-prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto. **NBR 5738/94.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. **NBR 7113/82.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria sem Função Estrutural - Teor de materiais pulverulentos. **NBR 7173/82.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria sem Função Estrutural. **NBR 7173/92.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Teor de materiais pulverulentos. **NBR 7219.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório – Procedimento, **NBR 9941/87**.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** - Determinação da resistência à compressão. **NBR 13279/95**.

**AGOPIAN, V.** Estudo dos materiais de construção civil – materiais alternativos. In: Tecnologia de edificações. Pini, São Paulo, 1998 pp. 75-79.

**AMORIM, L. V.** Influência da área específica na reatividade do sistema pozolana-cal visando a obtenção de aglomerantes alternativos. Anais da 29<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá - MT, 1995;

**ANDRÉ, T. C. HELENE, P. R. L.** Difusão de cloretos e a influência do grau de saturação do concreto: Ensaio em laboratório e medição de obra em uso. In: Boletim técnico da escola politécnica da USP. BT/PCC/265. Departamento de Engenharia de construção civil. São Paulo, 2000.

**BEZERRA, A. J. V.** Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA-ETILENO ECETATO DE VINILA) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-graduação em engenharia Civil/UFPB, 2002.

**BOLETIM TÉCNICO.** Guia básico de utilização do Cimento Portland. Associação Brasileira DE Cimento Portland. BT-106. São Paulo, 1998.

**CAMARGO, A.** Reciclagem de entulhos da construção civil. Revista Técnica N<sup>o</sup> 15, mar/abril, 1995.

**CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A.COSTA, D. B. et al.** Characterization of C & D waste and processed debris aiming the production of construction materials. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO

PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings...(CD\_DOM). São Paulo: CIB, 2000. 10p.

**CLAUDIO, V. FILHO, M. HELENE, P. R. L.** Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações. Proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. In: Boletim técnico da escola politécnica da USP. BT/PCC/208. Departamento de Engenharia de construção civil. São Paulo, 1998.

**CEMPE** – Manual de Gerenciamento Integrado, 1995.

**COUTINHO, A. S.** Fabrico e propriedades do betão. 3ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997.

**CUNHA, E. H.; TINOCO, H. F. F.; CARASEK, H.** A Influência da Adições Minerais na Durabilidade do Concreto. World TecNet – Tecnologia do Concreto - nº 00046. Universidade Federal de Goiás - UFG. <http://www.altodesempenho.faitthweb.com> (acessado no dia 03 março de 2003).

**COSTA, M. R. M.; HELENE, P. R. L.** Método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavado. In: Boletim técnico da escola politécnica da USP. BT/PCC/161. Departamento de Engenharia de construção civil. São Paulo, 1996.

**DE PAUW, C.; LAURITZEN, E. K.** (1994). Disaster planning, structural assess, demolition and recycling (RILEM REPORT 9). Londres, E&FN Spon.

**DORSTHORST, B. J. H.; HENDRIKS, CH. F.** Re-use of construction and demolition waste in the EU. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 200, São Paulo, Brazil. Proceedings... (CD\_ROM). São Paulo: CIB, 2000. 9p.

**GRIGOLI, A. S.;** Entulho de Obra – Reciclagem e Consumo na Própria Obra que o Gerou. SCOBIN ENGENHARIA. Maringá – Paraná.

**GRÜN, R.** Zusammensetzung und Beständigkeit von 1850 Jahre Altem Beton. Angewandte Chemie, 1935.

**HONG KONG POLYTECHNIC** (Department of Building and Real Estate); The Hong Kong Construction Association Ltda. Reduction of construction waste final report. Hong Kong, march 1993.

**JOHN, V. M., AGOPYAN, V.& PRADO, T. A.** Durabilidade de compósitos de cimentos e fibras vegetais. III Seminário Internacional Durabilidade de materiais, componentes e estruturas. PCC-USP São Paulo, Julho/1997.

**JORGE, M.; ASCOLI, C. R.; CARASEK, H.** Durabilidade do Concreto de Alto Desempenho. World TecNet – Tecnologia do Concreto - nº 00049. Universidade Federal de Goiás -UFG. <http://www.altodesempenho.faitthweb.com> (acessado no dia 03 março de 2003).

**LIMA, E. S.; CHENNA, S. I. M.** Reciclagem de Entulho, Viçosa, Centro de Produções Técnicas – CTP, 2000. 90p.

**MANUAL DE EXECUÇÃO.** Perede de vedação em blocos cerâmicos. Divisão de edificações do IPT. São Pauli 1988.

**MEDEIROS, J. S.** Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1993.

**NEVILLE, A. M.** Properties of concrete. 4ª ed. London: Longman, 1995. 884p.

**PENG, Chun-Li; SCOPIO, D. E. KIBERT, C. J.** Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. Construction Management and Economics, v. 94, n. 5, p. 409-416, 1997.

**OLIVEIRA, D. F.** Estudo da reação pozolana artificial e cal: influência do tipo de pozolana, tempo de cura, temperatura de reação e temperatura de calcinação sobre a resistência mecânica das argamassas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande –PB, 1995.

**OLIVEIRA, M. J. E.** Materiais descartáveis pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro - São Paulo, 2002.

**PINTO, T. P.** De volta a questão do desperdício. 1995. A construção – São Paulo, nº 249 1, nov./95, p18-19.

**PINTO, T. P.** Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL (Workshop),1997. São Paulo, EPUSP, p 1-110.

**PINTO, T. P.** Utilização de resíduos de construção – possibilidade de uso em argamassas. In: Simpósio Internacional sobre produção e transferência de tecnologia em habitação: da pesquisa à prática. 1º, 1987. São Paulo – SP – Brasil. Anais, São Paulo, 1987.

**PONTES, I. F.; JUNIOR, A. S.** Aplicação de rejeitos dos teores do Espírito Santo na Indústria cerâmica. Rochas de Qualidade, n.161, p. 118-125, 2001.

**QUEBAUD, M. R.** Caracterisation des granulats recycles etude de la composition et du comportement de betons incluant ces granulats. França, 1996. 247p. Tese de Doutorado – Universidade d’Artois.

**ROCCA et al.** Resíduos sólidos industriais. Trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB, 2ª ed. São Paulo, 1992.

**SIMPLICIO, M. A. S. E.** Propriedades e Características do Concreto de Alto Desempenho. World TecNet – Tecnologia do Concreto - nº 00062. Universidade

Federal de Goiás - UFG. <http://www.altodesempenho.faitthweb.com> (acessado no dia 03 março de 2003).

**THOMAZ, E. HELENE, P. R. L.** Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios. In: Boletim técnico da escola politécnica da USP. BT/PCC/252. Departamento de Engenharia de construção civil. São Paulo, 2000.

**TORRING, M.** Management of construction and demolition waste streams, In: Materials and technologies for sustainable construction – Cib world building congress, 1998, Gävle, Sweden. Proceedings... Gävle: Kickan Fahlstedt, KTH, 1998. Symposium C., p. 1911-1918.

**VAZ FILHO, P.; CORDEIRO, J. S.** Construction solid waste and urban drainage: a problem to be solve. In: Cib simposium in construction and environment: theory into practice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... (CD-ROM). São Paulo: CIB, 2000. 12p.

**VÁZQUES, E.** Projeto Entulho Bom. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2001.

**WAST AGE.** A crisis is building. V23 n. 1, p. 26-36, jan. 1992.

**WINKLER, A. MÜELLER, H. A.** Recycling of fine processed building rubble materials. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 157 –168.

**ZORDAN, S. E.** A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto. Campinas: departamento de saneamento e meio ambiente da faculdade de engenharia civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (Mestrado), 1997.

**ZORDAN, S. E.; PAULON, V. A.; JONHO, V. M.** Concreto com entulho reciclado: avaliação do desempenho em função do consumo de cimento. II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures. June 1-4, 1999. Gramado –RS – Brazil.

## **ANEXOS**

## ANEXO A - Método de molhagem e secagem equivalente – Segunda fase

Nestes ensaios foi utilizado o cimento Portland CP-II-Z 32 e, os fatores água cimento obtidos para a segunda fase.

Os dados obtidos com a variação do volume não foram significativos de modo a permitir conclusões consistentes. Portanto, neste trabalho, não será feita análise sobre a variação de volume das amostras em função dos ciclos de envelhecimento a que foram submetidas. Os valores da umidade para todas as amostras de cada composição podem ser observados na Tabela A.1.

**TABELA A.1:** Umidade (%) dos corpos-de-prova para cada composição

	E0	E30	E60	E100
<b>Ciclo 0</b>	9,61	9,48	10,95	13,98
<b>Ciclo 1</b>	6,95	7,19	7,99	11,56
<b>Ciclo 2</b>	6,85	7,44	8,53	11,69
<b>Ciclo 3</b>	6,84	7,48	8,85	11,68
<b>Ciclo 4</b>	<b>6,51</b>	<b>6,86</b>	<b>7,88</b>	<b>10,94</b>
<b>Ciclo 5</b>	6,57	6,94	8,15	11,38
<b>Ciclo 6</b>	6,68	7,23	8,65	11,87

A Tabela A.2 apresenta os resultados da absorção tanto das amostras protegidas do fator de degradação como das amostras que sofreram ciclos de molhagem e secagem.

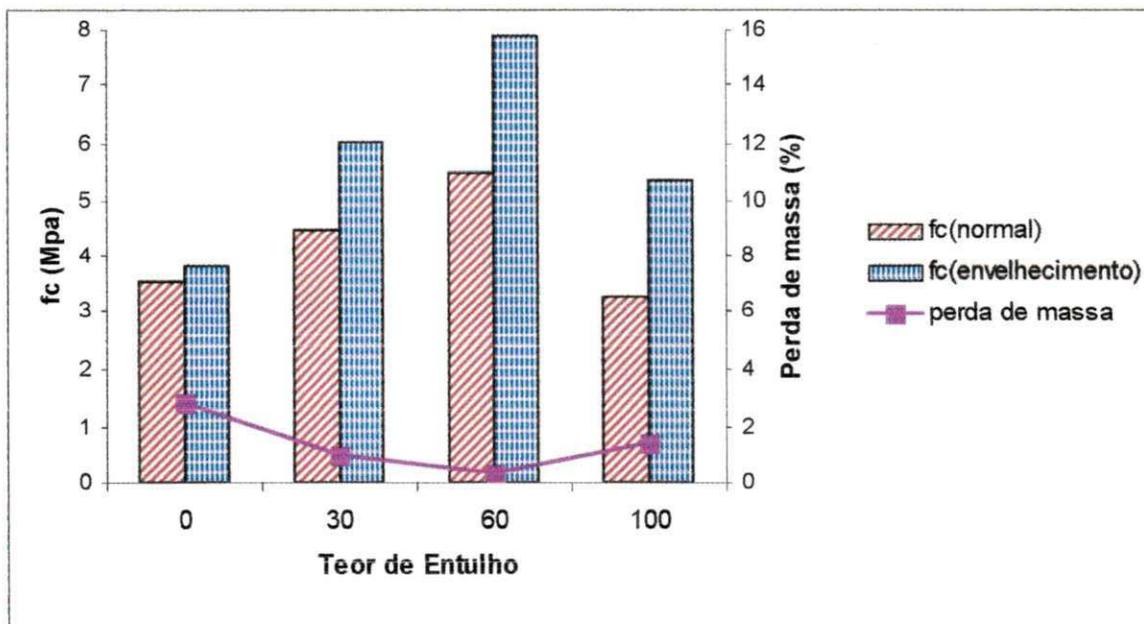
O ciclo 7 não está presente na Tabela A.2, pois corresponde à absorção do compósito.

**TABELA A.2:** Resultados de absorção (%) final dos corpos-de-prova para cada composição, conforme os ciclos de envelhecimento por molhagem e secagem

	E0	E30	E60	E100
<b>Envelhecimento</b>	7,09	7,80	9,29	12,32
<b>Normal</b>	8,91	9,85	11,24	12,35

Observando os valores da absorção da Tabela A.2 percebe-se um crescimento com o aumento da quantidade de entulho nas amostras, fato este esperado devido a grande absorção dos materiais constituintes do entulho (argamassa, tijolos, etc.). Percebe-se um valor menor da absorção das amostras que sofreram o processo de degradação em relação às amostras que foram protegidas do fator de degradação. Pode-se dizer que até certo ponto as condições do ensaio de molhagem e secagem aceleram as reações do cimento, melhorando assim a qualidade do compósito, passando em seguida a prevalecer o processo de degradação do compósito, fato este observado na Tabela A.1 na qual há um decréscimo do valor da umidade até o 4º ciclo, evidenciando uma melhoria nas qualidades do compósito passando em seguida a apresentar valores maiores a este evidenciando assim o processo de degradação.

Os valores da perda de massa final e da resistência à compressão simples ( $f_c$ ) final ocorrida para cada composição tanto das amostras que sofreram degradação e das que não sofreram podem ser observados na Figura A.1.



**FIGURA A.1:** Comparação das amostras confeccionadas com cimento CP II-Z 32, que sofreram e não-sofreram degradação, moldados com traço 1:4 na segunda fase

Observa-se à medida que é incorporado entulho nas composições que a perda de massa tende a diminuir. Isso se deve ao provável efeito pozolânico presentes no material cerâmico do entulho triturado o qual tende a melhorar a qualidade do compósito. Esse efeito parece ser diferente para a composição com 100% de entulho. Nota-se que o valor das perdas de massas dos compósitos com concreto alternativo são sempre, inferiores ao compósito com concreto convencional (sem entulho).

Analogamente ao que ocorreu com o resultado da absorção, o valor da resistência a compressão simples ( $f_c$ ) das amostras que sofreram degradação são maiores do que daquelas que permaneceram no processo de cura.

Os resultados obtidos com o ensaio de molhagem e secagem equivalente confirmam o crescimento das resistências à compressão simples. O número de ciclos do ensaio equivalente corresponde à metade (aproximadamente) ao número de ensaios de molhagem e secagem modificado. Dessa forma todos os ensaios estão coerentes.

Outra constatação interessante é que à medida que aumenta a quantidade de entulho o valor da resistência aumenta, evidenciando assim uma melhoria da qualidade do compósito, fato análogo constatado na avaliação da perda de massa.

## ANEXO B - Determinação do fator água cimento utilizados para a confecção dos blocos de concreto convencionais e com agregados alternativos na 2ª fase

**TABELA B1:** Determinação do fator água cimento para confecção de blocos de concreto utilizando o traço 1:4

1:4												
Nº de amostras	3											
% de entulho	0			30			60			100		
a/c	0,30	0,34	0,38	0,37	0,41	0,47	0,47	0,53	0,60	0,60	0,65	0,72
Média de $f_c$ (Mpa)	2,51	2,92	6,07	2,23	4,34	11,25	-	4,26	10,38	-	1,48	4,44

**TABELA B2:** Determinação do fator água cimento para confecção de blocos de concreto utilizando o traço 1:6

1:6												
Nº de amostras	3											
% de entulho	0			30			60			100		
a/c	0,40	0,44	0,49	0,55	0,59	0,64	0,69	0,74	0,79	0,88	0,93	0,98
Média de $f_c$ (MPa)	1,63	2,85	3,84	1,15	2,59	3,33	2,00	1,93	2,67	1,04	2,65	2,38

**TABELA B3:** Determinação do fator água cimento para confecção de blocos de concreto utilizando o traço 1:8

1:8												
Nº de amostras	3											
% de entulho	0			30			60			100		
a/c	0,58	0,63	0,67	0,76	0,81	0,84	0,85	0,90	0,96	0,99	1,10	1,20
Média de $f_c$ (MPa)	1,45	1,98	2,42	1,28	1,46	2,20	1,25	1,07	1,55	0,52	1,58	1,96

## ANEXO C - Valores de resistência à compressão simples blocos de concreto analisados neste trabalho.

### Valores de resistência à compressão simples para os blocos de concreto estrutural

**TABELA C1:** Valores de resistência à compressão simples de blocos de concreto estrutural, com traço 1:4 – 1ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		4	
% de entulho	a/c	Média amostral (MPa)	Média amostral (MPa)
0	0,33	3,71	4,08
30	0,37	2,19	2,85
60	0,48	1,66	2,24
100	0,61	1,49	1,85

**TABELA C2:** Valores de resistência à compressão simples de blocos de concreto estrutural, com traço 1:4 – 2ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		4	
% de entulho	a/c	Média amostral (MPa)	Média amostral (MPa)
0	0,37	8,10	12,18
30	0,47	11,07	12,89
60	0,60	9,00	10,80
100	0,72	5,26	9,41

**TABELA C3:** Valores de resistência à compressão simples de blocos de concreto estrutural, com traço 1:6 – 2ª fase.

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		4	
% de entulho	a/c	Média amostral (MPa)	Média amostral (MPa)
0	0,49	4,50	5,35
30	0,64	4,95	8,64
60	0,79	6,07	8,84
100	0,93	4,90	5,08

**Valores de resistência à compressão simples para os blocos de concreto de vedação**

**TABELA C4:** Valores de resistência à compressão simples de blocos de concreto de vedação, com traço 1:6 –1ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		4	
% de entulho	a/c	Média amostral (MPa)	Média amostral (MPa)
0	0,41	3,26	3,32
30	0,50	1,60	2,35
60	0,58	1,01	1,46
100	0,80	1,15	3,14

**TABELA C5:** Valores de resistência à compressão simples de blocos de concreto de vedação, com traço 1:6 –2ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		4	
% de entulho	a/c	Média amostral (MPa)	Média amostral (MPa)
0	0,49	4,06	6,00
30	0,64	3,16	3,86
60	0,79	2,54	3,85
100	0,93	2,49	3,46

**TABELA C6:** Valores de resistência à compressão simples de blocos de concreto de vedação, com traço 1:8 –2ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		4	
% de entulho	a/c	Média amostral (MPa)	Média amostral (MPa)
0	0,67	2,67	2,75
30	0,84	3,30	5,41
60	0,96	2,68	3,50
100	1,20	1,79	2,39

## ANEXO D - Valores de absorção de água para os blocos de concreto analisados neste trabalho.

### Valores de absorção de água para os blocos de concreto estrutural

**TABELA D1:** Valores de absorção de água a partir de blocos de concreto estrutural, com traço 1:4 – 1ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		2	
% de entulho	a/c	Média amostral (%)	Média amostral (%)
0	0,33	5,93	5,05
30	0,37	8,82	7,74
60	0,48	9,73	8,63
100	0,61	10,28	9,42

**TABELA D2:** Valores de absorção de água a partir de blocos de concreto estrutural, com traço 1:4 – 2ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		4	
% de entulho	a/c	Média amostral (%)	Média amostral (%)
0	0,37	3,83	2,76
30	0,47	7,15	6,86
60	0,60	9,62	6,66
100	0,72	12,45	9,37

**TABELA D3:** Valores de absorção de água a partir de blocos de concreto estrutural, com traço 1:6 – 2ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		2	
% de entulho	a/c	Média amostral (%)	Média amostral (%)
0	0,49	5,69	5,57
30	0,64	6,56	5,80
60	0,79	9,96	9,88
100	0,93	14,41	13,87

**Valores de absorção de água para os blocos de concreto de vedação.**

**TABELA D4:** Valores de absorção de água a partir de blocos de concreto de vedação, com traço 1:6 – 1ª fase.

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		2	
% de entulho	a/c	Média amostral (%)	Média amostral (%)
0	0,41	6,24	6,26
30	0,50	10,79	10,24
60	0,58	14,77	13,00
100	0,80	13,53	9,94

**TABELA D5:** Valores de absorção de água a partir de blocos de concreto de vedação, com traço 1:6 – 2ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		2	
% de entulho	a/c	Média amostral (%)	Média amostral (%)
0	0,49	6,91	4,88
30	0,64	7,71	7,50
60	0,79	9,24	9,84
100	0,93	13,04	13,07

**TABELA D6:** Valores de absorção de água a partir de blocos de concreto de vedação, com traço 1:8 – 2ª fase

Cura (dias)		7 dias	28
Nº de amostras		2	
% de entulho	a/c	Média amostral (%)	Média amostral (%)
0	0,67	5,85	6,62
30	0,84	7,33	6,87
60	0,96	10,27	7,97
100	1,20	12,58	9,26

**ANEXO E - Valores da resistência a compressão simples ( $f_c$ ) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, na 1ª e 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem**

**TABELA E1 – Valores da resistência a compressão simples ( $f_c$ ) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:4, 1ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem**

Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (A)		Alternativo c/ 30% de entulho (B)		Alternativo c/ 60% de entulho (C)		Alternativo c/ 100% de entulho (D)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
28	0	-	3,05	-	4,57	-	2,36	-	2,57
	1	4,36	-	5,18	-	3,69	-	2,47	-
	2	4,56	-	6,12	-	3,84	-	2,08	-
	3	4,87	-	5,88	-	4,05	-	2,11	-
	4	5,12	-	7,10	-	4,89	-	1,67	-
	5	5,43	-	6,2	-	6,03	-	3,99	-
	6	5,09	-	5,05	-	3,77	-	3,54	-
	7	4,86	-	3,82	-	4,03	-	2,78	-
	8	4,52	-	3,13	-	3,65	-	2,48	-
	9	4,21	-	2,32	-	3,34	-	1,67	-
	10	4,20	-	2,98	-	2,96	-	1,19	-
	11	4,03	-	1,98	-	2,86	-	1,03	-
52	12	4,01	4,65	1,76	5,17	3,16	4,89	1,09	3,2

**TABELA E2 – Valores da resistência a compressão simples ( $f_c$ ) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:6, 1ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem**

Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (E)		Alternativo c/ 30% de entulho (F)		Alternativo c/ 60% de entulho (G)		Alternativo c/ 100% de entulho (H)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
28	0	-	3,00	-	2,69	-	2,39	-	2,39
	1	3,56	-	3,18	-	1,70	-	2,42	-
	2	3,64	-	4,39	-	1,76	-	2,56	-
	3	4,00	-	3,03	-	2,10	-	2,88	-
	4	4,21	-	2,72	-	2,10	-	2,12	-
	5	4,71	-	2,61	-	2,25	-	1,64	-
	6	3,97	-	4,50	-	2,38	-	1,85	-
	7	3,7	-	4,74	-	1,78	-	1,90	-
	8	3,66	-	4,30	-	1,48	-	1,89	-
	9	3,66	-	4,01	-	1,04	-	2,26	-
	10	3,62	-	3,95	-	0,82	-	2,83	-
	11	3,29	-	3,70	-	1,01	-	2,03	-
52	12	2,83	3,42	2,96	2,92	0,71	2,84	1,96	2,75

**TABELA E3 – Valores da resistência a compressão simples ( $f_c$ ) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:8, 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem**

Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (A)		Alternativo c/ 30% de entulho (B)		Alternativo c/ 60% de entulho (C)		Alternativo c/ 100% de entulho (D)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
28	0	-	3,65	-	3,52	-	2,62	-	3,09
	1	4,26	-	2,98	-	3,39	-	3,80	-
	2	3,78	-	3,12	-	3,46	-	3,39	-
	3	4,51	-	3,81	-	3,89	-	3,86	-
	4	5,39	-	3,98	-	5,95	-	4,21	-
	5	5,34	-	3,90	-	5,57	-	3,93	-
	6	4,96	-	3,21	-	6,55	-	5,57	-
	7	4,73	-	2,30	-	6,98	-	4,68	-
	8	4,40	-	3,51	-	7,05	-	4,19	-
	9	5,37	-	3,40	-	5,50	-	3,79	-
	10	4,01	-	3,20	-	5,17	-	3,54	-
	11	3,83	-	3,46	-	4,74	-	3,11	-
52	12	3,50	3,97	3,05	3,63	3,76	4,37	2,82	3,88

**TABELA E4 – Valores da resistência a compressão simples ( $f_c$ ) obtido com amostras de concreto convencional e alternativo, utilizando o traço 1:8, 2ª fase, submetido ao ciclo de molhagem e secagem**

Idade (dias)	Ciclos	$f_c$ (MPa)							
		Convencional sem entulho (E)		Alternativo c/ 30% de entulho (F)		Alternativo c/ 60% de entulho (G)		Alternativo c/ 100% de entulho (H)	
		Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação normal	Molhagem e secagem	Hidratação Normal
28	0	-	5,18	-	4,81	-	4,34	-	2,24
	1	5,71	-	4,87	-	3,50	-	3,12	-
	2	5,27	-	5,90	-	4,42	-	3,63	-
	3	6,66	-	5,60	-	4,30	-	4,04	-
	4	7,29	-	6,52	-	4,79	-	3,61	-
	5	7,28	-	6,57	-	4,71	-	3,43	-
	6	6,48	-	5,87	-	4,84	-	3,86	-
	7	5,92	-	6,38	-	4,49	-	3,75	-
	8	7,01	-	6,35	-	4,21	-	3,09	-
	9	6,72	-	5,15	-	4,54	-	3,47	-
	10	6,45	-	5,44	-	4,34	-	2,38	-
	11	6,17	-	5,31	-	3,50	-	2,24	-
52	12	5,47	5,76	4,66	5,27	3,64	4,50	2,76	5,15

## ANEXO F - Composições ideais para fabricação dos blocos

TABELA F1: Composições ideais para fabricação dos blocos empregando os materiais utilizados neste trabalho

<b>Critério da absorção de água</b>					
<b>Blocos</b>	<b>a/c</b>	<b>1:m</b>	<b>Teor de entulho</b>	<b>Tempo de cura</b>	<b>Abs. (%)</b>
Estrutural	0,79	1:6	60%	7 dias	(~10%)
Vedação	0,96	1:8	60%	7 dias	(~10%)
<b>Critério da resistência mecânica</b>					
<b>Blocos</b>	<b>a/c</b>	<b>1:m</b>	<b>Teor de entulho</b>	<b>Tempo de cura</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
Estrutural	0,79	1:6	60%	7 dias	(≥ 4,5)
Vedação	0,96	1:8	60%	7 dias	(≥ 2,5)
<b>Critério de envelhecimento (molhagem/secagem modificado)</b>					
<b>Blocos</b>	<b>a/c</b>	<b>1:m</b>	<b>Teor de entulho</b>	<b>Tempo de cura</b>	<b>f<sub>c</sub> (MPa)</b>
Estrutural	0,79	1:6	60%	28 dias	(≥ 4,5)
Vedação	0,96	1:8	30%	28 dias	(≥ 2,5)

### Observações:

- ✓ O tempo de cura de 7 dias foi considerado porque é o prazo mínimo aceitável para que os pré-moldados possam ser comercializados.
- ✓ O maior consumo de cimento possibilita melhorar o desempenho dos compósitos alternativos com entulho, podendo favorecer uma ampliação no teor de entulho incorporado até o limite de 60%. Os desempenhos considerados nessas avaliações são a resistência mecânica e a absorção de água, que são os parâmetros estabelecidos pelas normas da ABNT NBR 7173/82 e NBR 6136/94.

## ANEXO G - Estudo da dosagem

### Blocos estruturais

TRAÇO 1:4

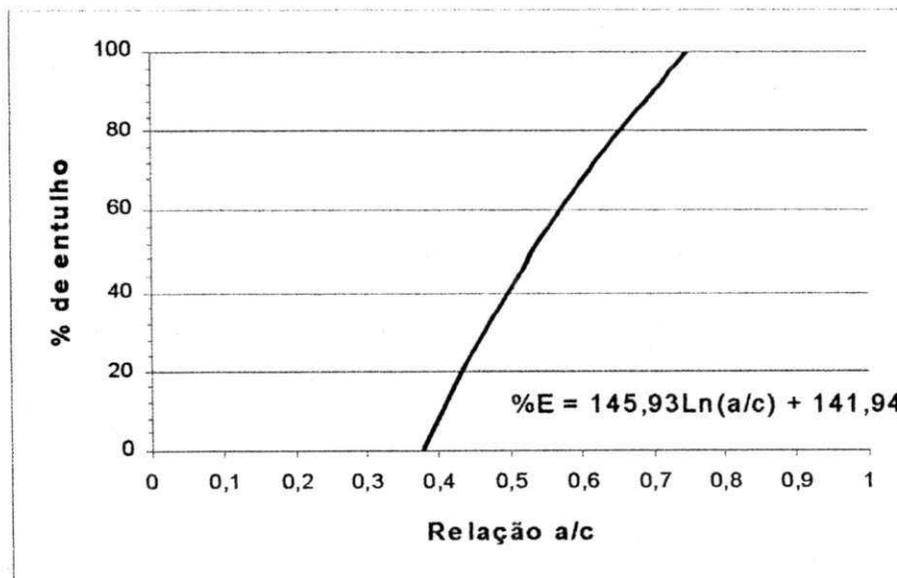
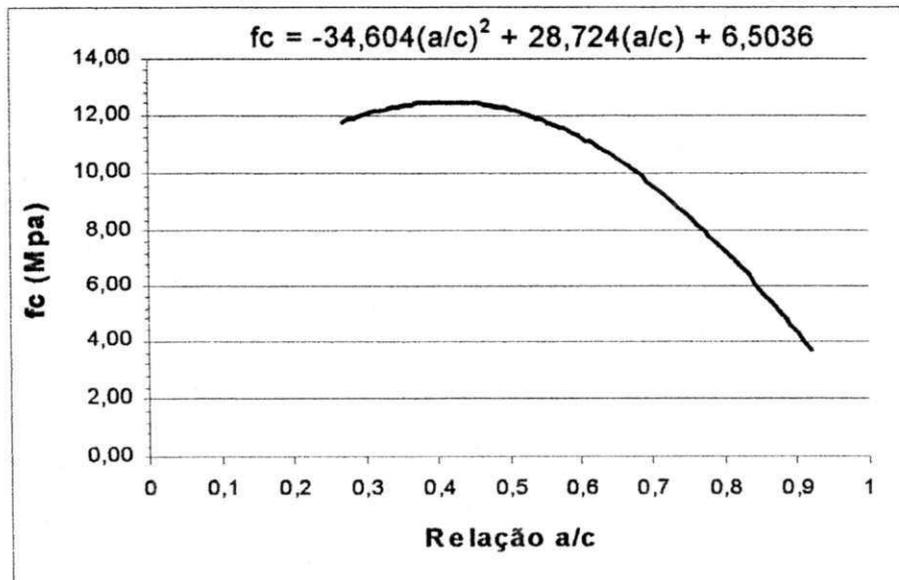


FIGURA G1: Dosagem para blocos estruturais com traço 1:4

Ex: para obter um  $f_c \approx 10,8$  MPa  $\Rightarrow a/c \approx 0,65 \Rightarrow$  Teor de entulho  $\approx 77\%$

### Blocos de estruturais

### TRAÇO 1:6

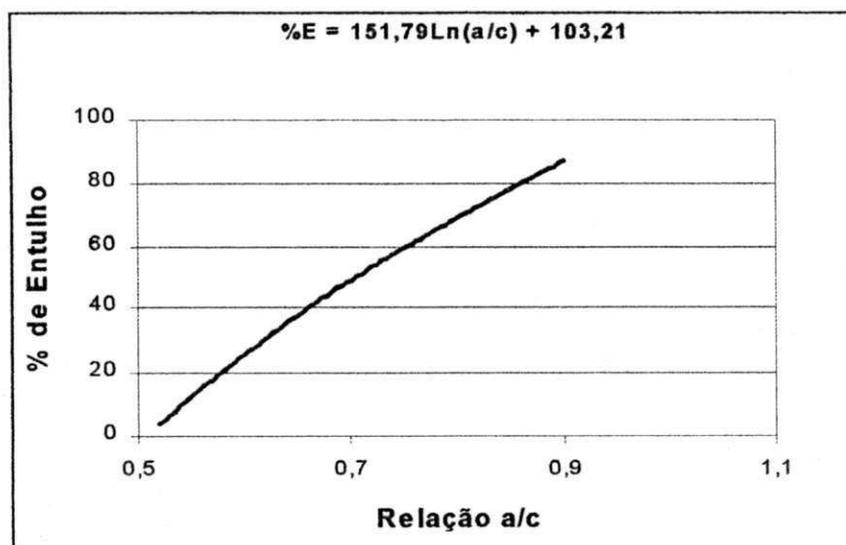
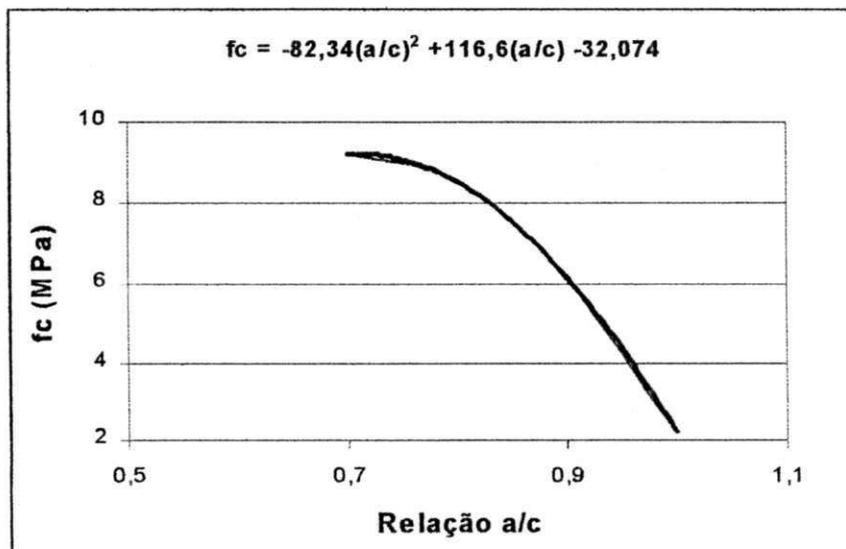


FIGURA G2: Dosagem para blocos estruturais com traço 1:6

Ex: para obter um  $f_c \approx 4,5$  MPa  $\Rightarrow$   $a/c \approx 0,95 \Rightarrow$  Teor de entulho  $\approx 100\%$

### Blocos de vedação

### TRAÇO 1:6

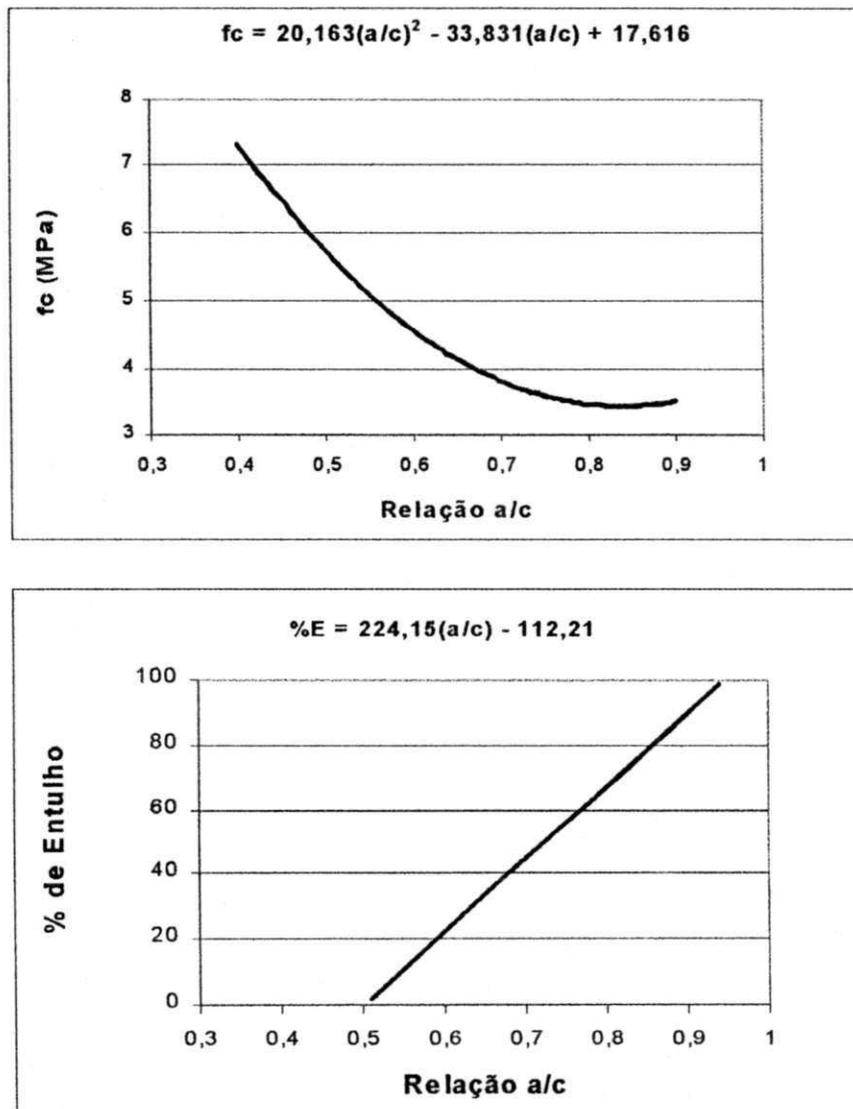


FIGURA G3: Dosagem para blocos de vedação com traço 1:6

Ex: para obter um  $f_c \approx 4,8$  MPa  $\Rightarrow a/c \approx 0,58 \Rightarrow$  Teor de entulho  $\approx 19\%$

### Blocos de vedação TRAÇO 1:8

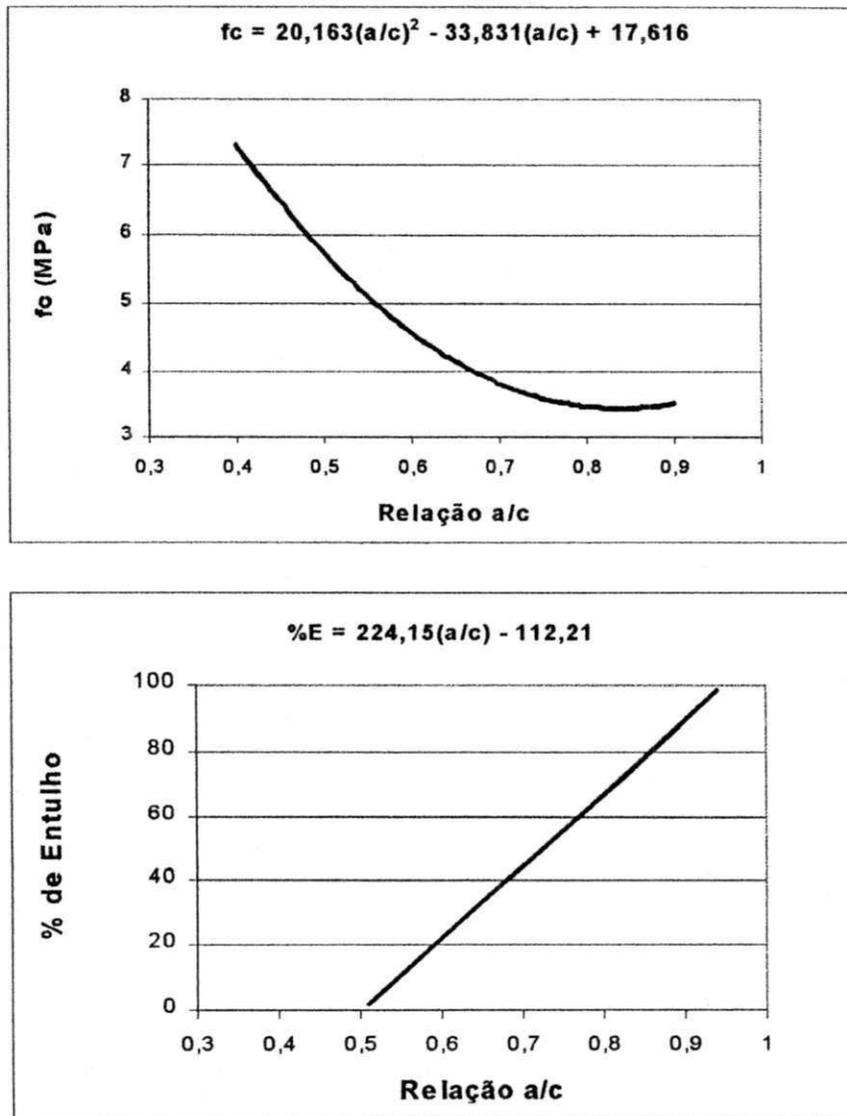


FIGURA G4: Dosagem para blocos vedação com traço 1:8

Ex: para obter um  $f_c \approx 2,5$  MPa  $\Rightarrow$   $a/c \approx 1,05 \Rightarrow$  Teor de entulho  $\approx 75\%$

## ANEXO H - Consumo de cimento para os blocos de concreto

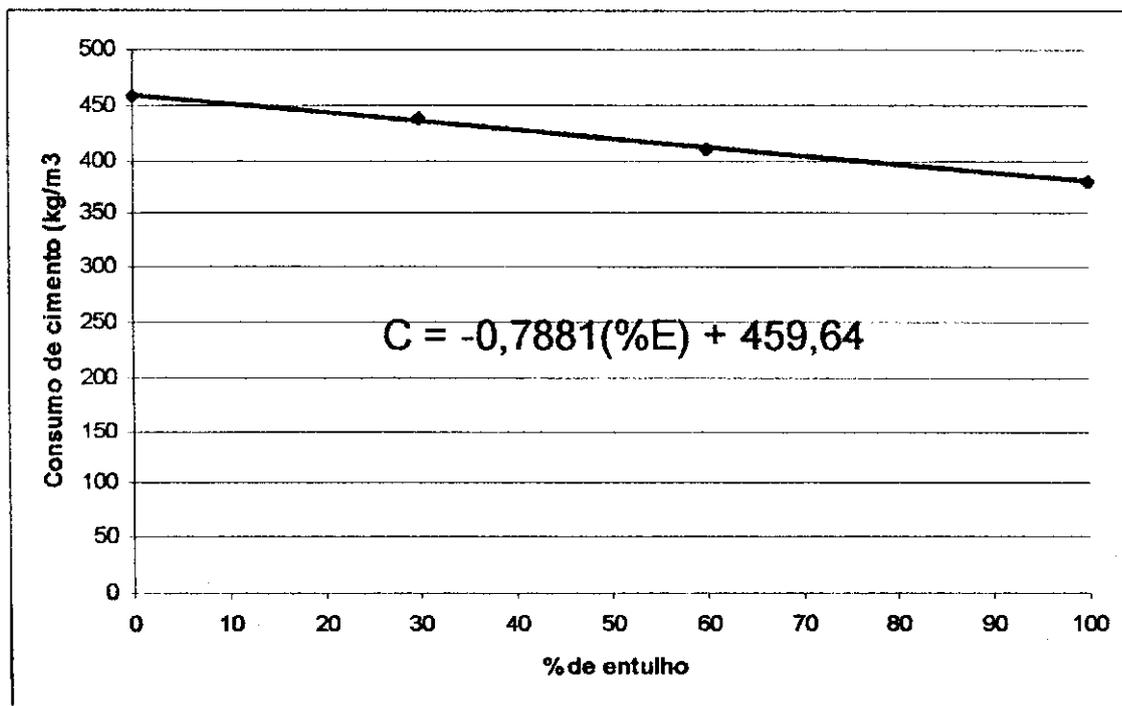


FIGURA H.1: Consumo de cimento de blocos alternativos elaborados utilizando o traço 1:4 da 1ª fase

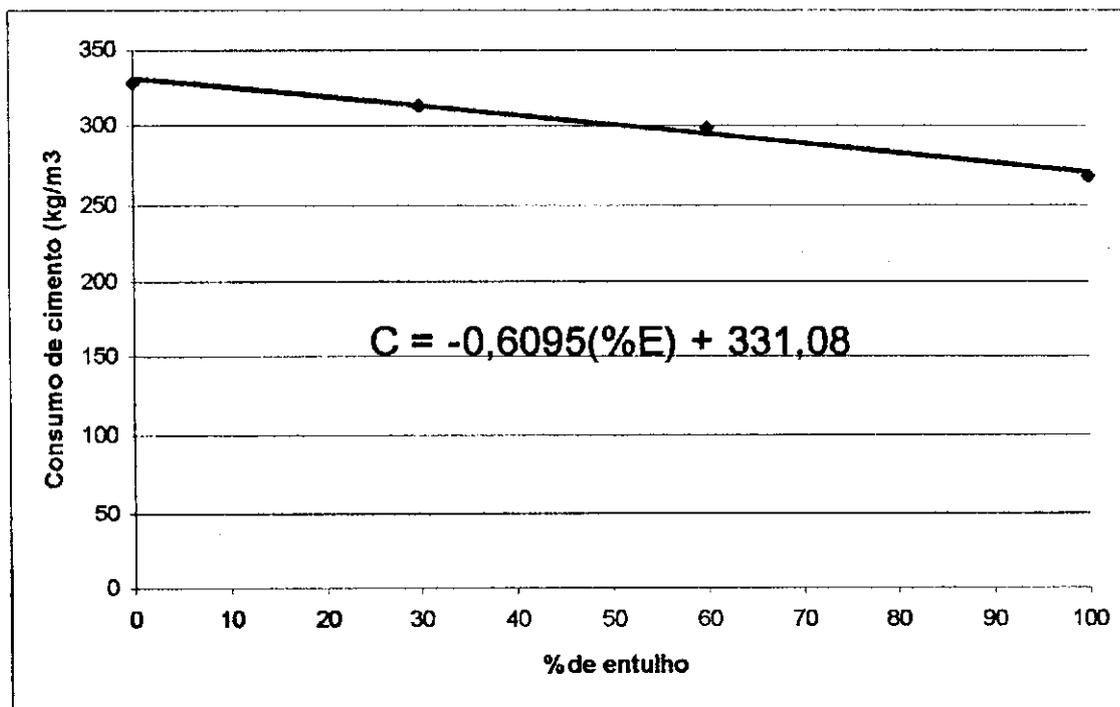
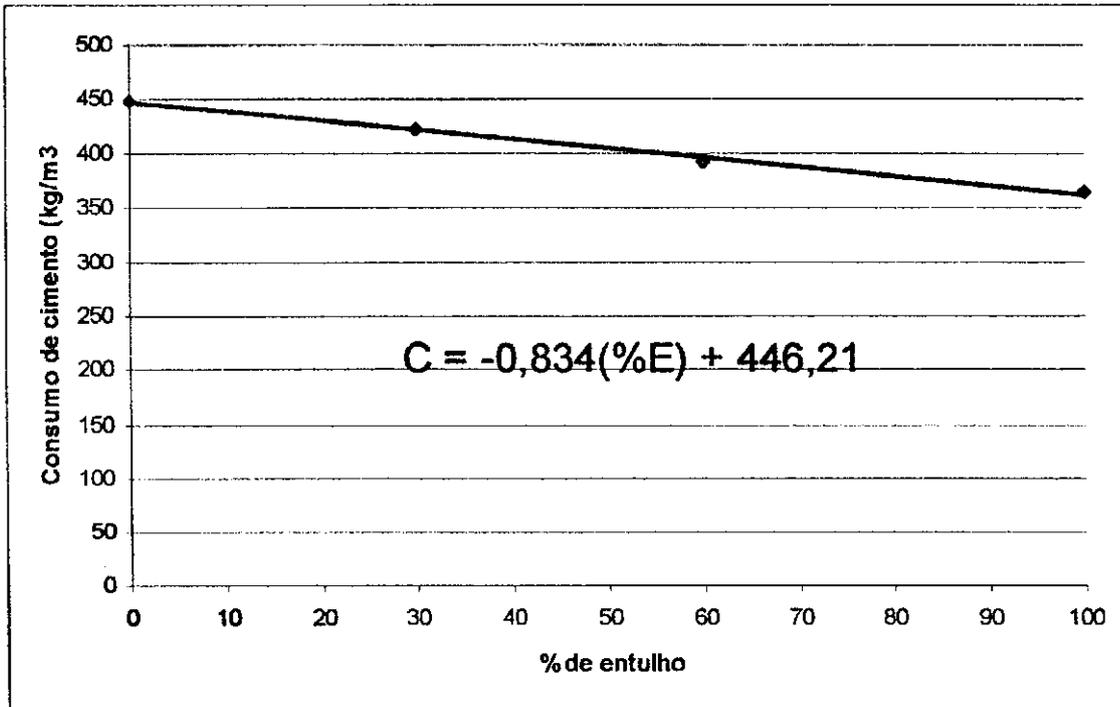
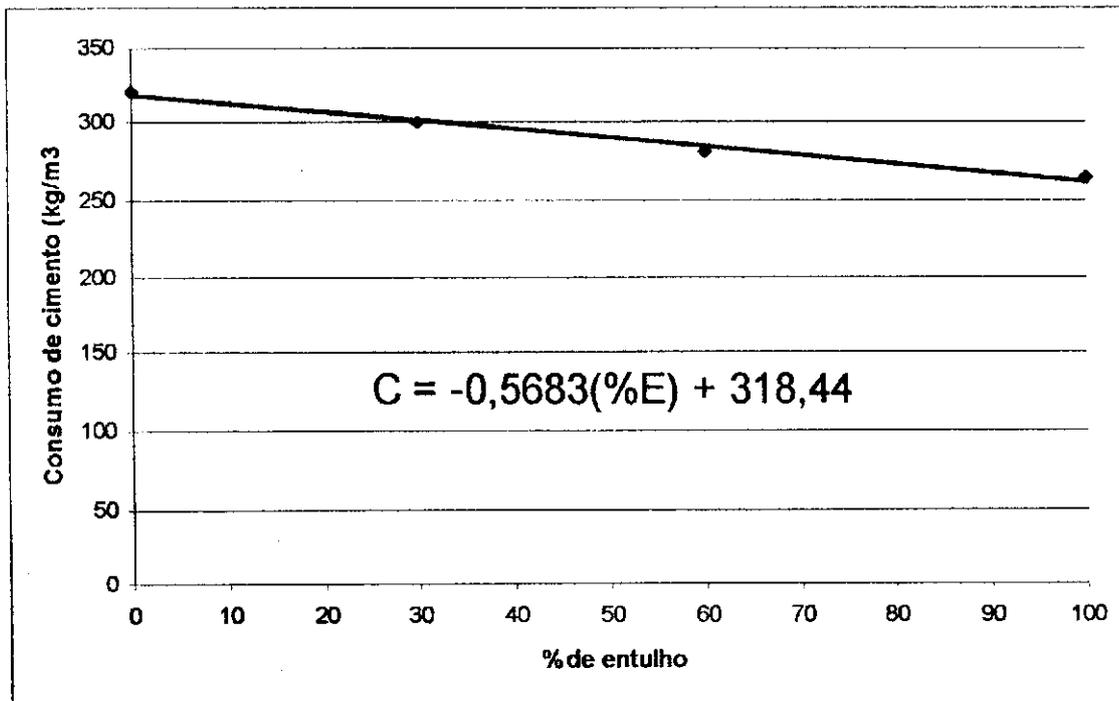


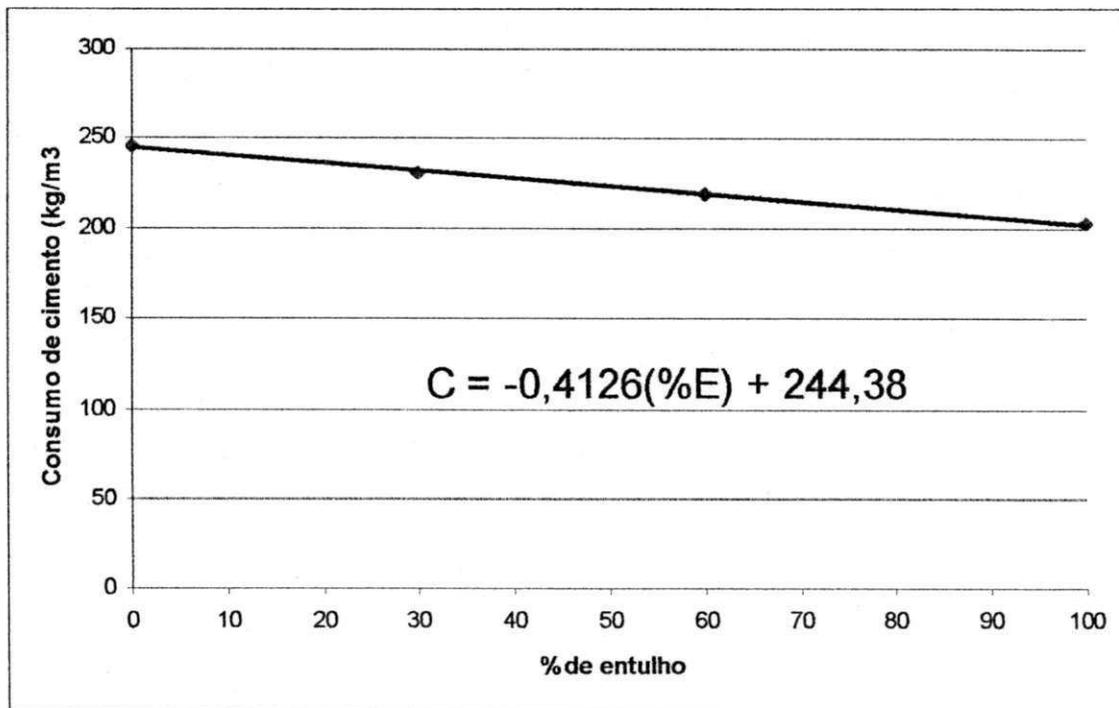
FIGURA H.2: Consumo de cimento de blocos alternativos elaborados utilizando o traço 1:6 da 1ª fase



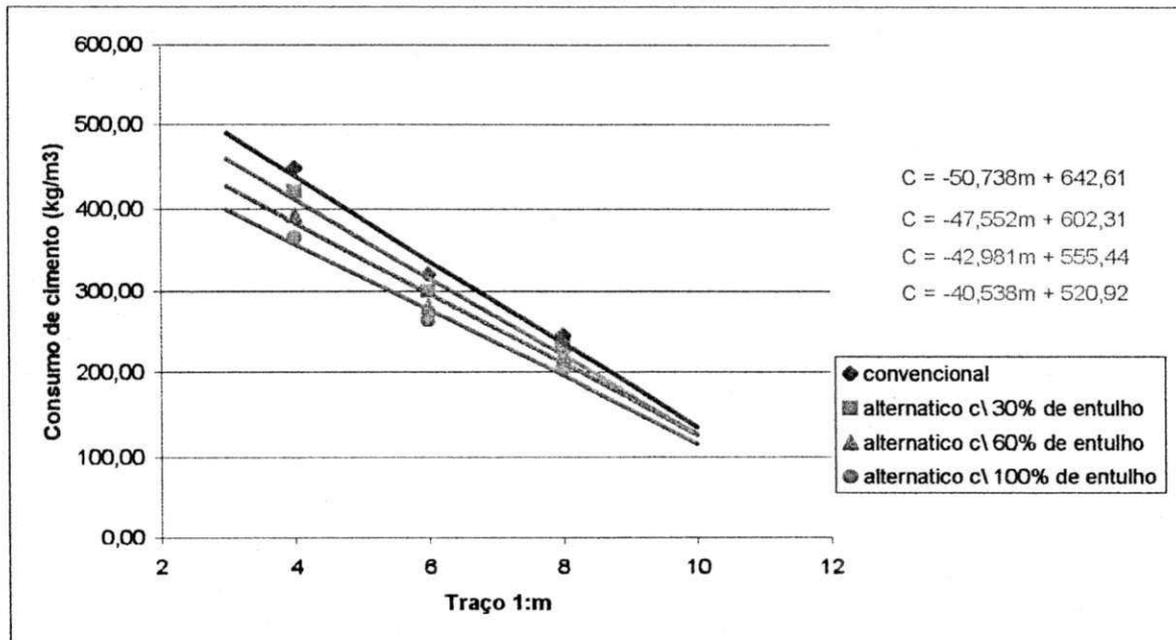
**FIGURA H.3:** Consumo de cimento de blocos alternativos elaborados utilizando o traço 1:4 da 2ª fase



**FIGURA H.4:** Consumo de cimento de blocos alternativos elaborados utilizando o traço 1:6 da 2ª fase



**FIGURA H.5:** Consumo de cimento de blocos alternativos elaborados utilizando o traço 1:8 da 2ª fase



**FIGURA H.6:** Análise do estudo do consumo de cimento

**ANEXO I - Analise de custos**

**MAQUINAS**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BETONEIRA ELÉTRICA com potência 0,3kW capacidade 120 litros				Nº
						UNIDADE: hora prod
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Energia elétrica	KW	0,35	0,25	0,09		Leis Sociais = 126,4%
Manutenção mecânica	-	8,00x10 <sup>-05</sup>	700,00	0,04		B.D.I.= 0%
Operador	h	1,00	1,01		1,01	
Depreciação	-	1,818x10 <sup>-04</sup>	700,00	0,13		
Juros de capital	-	0,0000438	700,00	0,03		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,29	1,01	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,28	
<b>TOTAIS</b>				0,29	2,29	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		MAQUINA VIBRO-PRENSA - vibração elétrica e prensagem manual				Nº
						UNIDADE: hora prod
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Energia elétrica	KW	1,15	0,26	0,29		Leis Sociais = 126,4%
Manutenção mecânica	-	6,00x10 <sup>-05</sup>	2500,00	0,15		B.D.I.= 0%
Operador	h	1,00	1,01		1,01	
Depreciação	-	9,100x10 <sup>-06</sup>	2500,00	0,23		
Juros de capital	-	0,0000384	2500,00	0,10		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,76	1,01	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,28	
<b>TOTAIS</b>				0,76	2,29	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS	BRITADOR - de mandibulas					Nº
						UNIDADE: hora prod
					Data 20/07/2003	
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Energia elétrica	kW	4,50	0,25	1,13		Leis Sociais = 126,4%
Manutenção mecânica	-	$6,00 \times 10^{-05}$	1500,00	0,09		B.D.I.= 0%
Operador	h	1,00	0,98		0,98	
Depreciação	-	$1,136 \times 10^{-04}$	1500,00	0,17		
Juros de capital	-	$3,97 \times 10^{-05}$	1500,00	0,06		
SUB-TOTAIS				1,44	0,98	CUSTO TOTAL
LEIS SOCIAIS					1,24	
TOTALIS				1,44	2,22	

### AGREGADO ALTERNATIVO

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS	ENTULHO				Nº	
	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	UNIDADE: m <sup>3</sup> Data 20/07/2003
Entulho bruto	m <sup>3</sup>	1,05	6,70	7,04		Leis Sociais = 126,4%
Britador de mandíbulas	h	3,50E-01	3,66	1,28		B.D.I.= 0%
<b>SUB-TOTAIS</b>				8,32	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				8,32	0,00	

### ARGAMASSA

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS	ARGAMASSA de cimento, cal hidratada e areia sem peneira - traço 1:0,5:8				Nº	
	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	UNIDADE: m <sup>3</sup> Data 20/07/2003
Cimento	kg	92,00	0,38	34,96		Leis Sociais = 126,4%
Cal hidratada	kg	87,00	0,90	78,30		B.D.I.= 0%
Areia	m <sup>3</sup>	1,216	12,00	14,59		
Servente	h	10,0	0,98	9,80	98,00	
<b>SUB-TOTAIS</b>				137,65	98,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					123,87	
<b>TOTAIS</b>				137,65	221,87	

### ALVENARIA COMUM

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS	ALVENARIA de elevação com tijolo cerâmico furado, dimensões 10 x 20 x 20, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº	
	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	UNIDADE: m <sup>2</sup> Data 20/07/2003
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,01133	359,52	4,07		Leis Sociais = 126,4%
Tijolo cerâmico	unid.	25,00	0,14	3,50		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	1,00	1,38		1,38	
Servente	h	1,00	0,98		0,98	
<b>SUB-TOTAIS</b>				7,57	2,36	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					2,98	
<b>TOTAIS</b>				7,57	5,34	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:6 SEM ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm			Nº UNIDADE: m <sup>2</sup> Data 20/07/2003	
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	359,52	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	1,14	15,44		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	1,38		0,91	
Servente	h	0,66	0,98		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				18,32	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				18,32	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia e cascalho, no traço 1:6			Nº UNIDADE: unid Data 20/07/2003	
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,428	0,38	0,54		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,002981	12,00	0,04		B.D.I.= 30%
cascalho	m <sup>3</sup>	0,003084	25,00	0,08		
Betoneira	h	0,083	2,57	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	3,05	0,01		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,88	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				0,88	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:6 COM 30% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	359,52	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	1,12	15,13		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	1,38		0,91	
Servente	h	0,66	0,98		0,65	
SUB-TOTAIS				18,01	1,56	CUSTO TOTAL
LEIS SOCIAIS					1,97	
TOTALIS				18,01	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 30% de entulho no traço 1:6				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,428	0,38	0,54		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,002088	12,00	0,03		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,002160	25,00	0,05		
Betoneira	h	0,083	2,57	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	3,05	0,01		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,001923	8,32	0,02		
SUB-TOTAIS				0,86	0,00	CUSTO TOTAL
LEIS SOCIAIS					0,00	
TOTALIS				0,86	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:6 COM 60% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	<b>359,52</b>	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>1,10</b>	14,82		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				17,69	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				17,69	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 60% de entulho no traço 1:6				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,43	<b>0,38</b>	0,54		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,001193	<b>12,00</b>	0,01		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,001234	<b>25,00</b>	0,03		
Betoneira	h	0,083	<b>2,57</b>	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	<b>3,05</b>	0,01		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,003846	<b>8,32</b>	0,03		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,84	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				0,84	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:6 COM 100% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº 04
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	359,52	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	1,07	14,40		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	1,38		0,91	
Servente	h	0,66	0,98		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				17,27	1,58	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				17,27	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento e 100% de entulho no traço 1:6				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,43	0,38	0,54		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,00	12,00	0,00		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,00	25,00	0,00		
Betoneira	h	0,083	2,57	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	3,05	0,01		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,006411	8,32	0,05		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,82	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				0,82	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:8 SEM ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	359,52	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	0,99	13,40		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	1,38		0,91	
Servente	h	0,66	0,98		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				16,28	1,58	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				16,28	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia e cascalho, no traço 1:8				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,111	0,38	0,42		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,003093	12,00	0,04		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,003200	25,00	0,08		
Betoneira	h	0,083	2,57	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	3,05	0,01		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,76	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				0,76	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:8 COM 30% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	359,52	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	0,97	13,08		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	1,38		0,91	
Servente	h	0,66	0,98		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				15,95	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				15,95	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 30% de entulho no traço 1:8				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,111	0,38	0,42		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,002165	12,00	0,03		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,002240	25,00	0,06		
Betoneira	h	0,083	2,57	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	3,05	0,01		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,001994	8,32	0,02		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,75	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				0,75	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:8 COM 60% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	<b>359,52</b>	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>0,94</b>	12,75		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				15,63	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				15,63	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 60% de entulho no traço 1:8				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,11	<b>0,38</b>	0,42		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,001237	<b>12,00</b>	0,01		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,001280	<b>25,00</b>	0,03		
Betoneira	h	0,083	<b>2,57</b>	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	<b>3,05</b>	0,01		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,003989	<b>8,32</b>	0,03		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,73	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				0,73	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO DE VEDAÇÃO TRAÇO 1:8 COM 100% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA de elevação com bloco de concreto, dimensões 9 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 10 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,008	<b>359,52</b>	2,88		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>0,91</b>	12,32		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				15,19	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				15,19	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento e 100% de entulho no traço 1:8				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	1,11	<b>0,38</b>	0,42		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,00	<b>12,00</b>	0,00		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,00	<b>25,00</b>	0,00		
Betoneira	h	0,083	<b>2,57</b>	0,21		
Maquina vibro-prensa	h	0,00324	<b>3,05</b>	0,01		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,006648	<b>8,32</b>	0,06		
<b>SUB-TOTAIS</b>				0,70	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				0,70	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:4 SEM ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	<b>359,52</b>	4,39		Leis Sociais = 126,4
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>2,68</b>	36,17		B.D.I.= 30
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				40,55	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				40,55	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia e cascalho, no traço 1:4				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	4,000	<b>0,38</b>	1,52		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,005567	<b>12,00</b>	0,07		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,005760	<b>25,00</b>	0,14		
Betoneira	h	0,117	<b>2,57</b>	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	<b>3,05</b>	0,03		
<b>SUB-TOTAIS</b>				2,06	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				2,06	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:4 COM 30% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	<b>359,52</b>	4,39		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>2,66</b>	35,92		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				40,31	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				40,31	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 30% de entulho no traço 1:4				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	4,000	<b>0,38</b>	1,52		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,003897	<b>12,00</b>	0,05		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,004032	<b>25,00</b>	0,10		
Betoneira	h	0,117	<b>2,57</b>	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	<b>3,05</b>	0,03		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,00590	<b>8,32</b>	0,05		
<b>SUB-TOTAIS</b>				2,05	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				2,05	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:4 COM 60% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	<b>359,52</b>	4,39		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>2,59</b>	35,00		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				39,38	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				39,38	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 60% de entulho no traço 1:4				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	4,00	<b>0,38</b>	1,52		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,002227	<b>12,00</b>	0,03		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,002304	<b>25,00</b>	0,06		
Betoneira	h	0,117	<b>2,57</b>	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	<b>3,05</b>	0,03		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,00718	<b>8,32</b>	0,06		
<b>SUB-TOTAIS</b>				1,99	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				1,99	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:4 COM 100% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	<b>359,52</b>	4,39		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>2,42</b>	32,64		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				37,03	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				37,03	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento e 100% de entulho no traço 1:4				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	4,00	<b>0,38</b>	1,52		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,00	<b>12,00</b>	0,00		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,00	<b>25,00</b>	0,00		
Betoneira	h	0,117	<b>2,57</b>	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	<b>3,05</b>	0,03		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,00120	<b>8,32</b>	0,01		
<b>SUB-TOTAIS</b>				1,86	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				1,86	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:6 SEM DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	<b>359,52</b>	4,39		Leis Sociais = 126,4
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>2,13</b>	28,80		B.D.I.= 30
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				33,19	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				33,19	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia e cascalho, no traço 1:6				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	2,856	<b>0,38</b>	1,09		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,005962	<b>12,00</b>	0,07		B.D.I.= 30%
cascalho	m <sup>3</sup>	0,006168	<b>25,00</b>	0,15		
Betoneira	h	0,117	<b>2,57</b>	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	<b>3,05</b>	0,03		
<b>SUB-TOTAIS</b>				1,64	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				1,64	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:6 COM 30% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº 04
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	<b>359,52</b>	4,39		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>2,09</b>	28,17		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				32,56	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				32,56	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 30% de entulho no traço 1:6				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	2,856	<b>0,38</b>	1,09		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,004176	<b>12,00</b>	0,05		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,004320	<b>25,00</b>	0,11		
Betoneira	h	0,117	<b>2,57</b>	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	<b>3,05</b>	0,03		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,00385	<b>8,32</b>	0,03		
<b>SUB-TOTAIS</b>				1,61	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				1,61	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:6 COM 60% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	359,52	4,39		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	2,04	27,55		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	1,38		0,91	
Servente	h	0,66	0,98		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				31,93	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				31,93	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento, areia, cascalho e 60% de entulho no traço 1:6				Nº
						UNIDADE: unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	2,86	0,38	1,09		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,002386	12,00	0,03		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,002468	25,00	0,06		
Betoneira	h	0,117	2,57	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	3,05	0,03		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,00769	8,32	0,06		
<b>SUB-TOTAIS</b>				1,57	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				1,57	0,00	

**BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL TRAÇO 1:6 COM 100% DE ENTULHO**

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		ALVENARIA estrutural com bloco de concreto, dimensões 19 x 19 x 39, empregando argamassa 1:0,5:8 (cimento : cal : areia), espessura de 20 cm com espessura das juntas: 12 mm				Nº
						UNIDADE: m <sup>2</sup>
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Argamassa 1:0,5:8	m <sup>3</sup>	0,0122	<b>359,52</b>	4,39		Leis Sociais = 126,4%
Bloco de concreto	unid.	13,50	<b>1,98</b>	26,71		B.D.I.= 30%
Pedreiro	h	0,66	<b>1,38</b>		0,91	
Servente	h	0,66	<b>0,98</b>		0,65	
<b>SUB-TOTAIS</b>				31,10	1,56	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					1,97	
<b>TOTAIS</b>				31,10	3,53	

COMPOSIÇÃO DE PREÇOS		BLOCO DE CONCRETO - com cimento e 100% de entulho no traço 1:6				Nº
						UNIDADE: Unid
						Data 20/07/2003
COMPONENTES	UNID.	CONSUMO	PREÇO UNIT. R\$	R\$		OBSERVAÇÕES
				MATERIAL	MÃO-DE-OBRA	
Cimento	kg	2,86	<b>0,38</b>	1,09		Leis Sociais = 126,4%
Areia	m <sup>3</sup>	0,00	<b>12,00</b>	0,00		B.D.I.= 30%
Cascalho	m <sup>3</sup>	0,00	<b>25,00</b>	0,00		
Betoneira	h	0,117	<b>2,57</b>	0,30		
Maquina vibro-prensa	h	0,00972	<b>3,05</b>	0,03		
Entulho	m <sup>3</sup>	0,01282	<b>8,32</b>	0,11		
<b>SUB-TOTAIS</b>				1,52	0,00	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>LEIS SOCIAIS</b>					0,00	
<b>TOTAIS</b>				1,52	0,00	