



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA URBANA**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA**  
**FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS**

**Por**

**Francisco Sales Neves de Souza Lima**

**Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da**  
**Paraíba para obtenção do grau de Mestre**

João Pessoa – Paraíba

Março de 2005

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**FRANCISCO SALES NEVES DE SOUZA LIMA**

CT/PPGEU/UFPB

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA  
FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS**

**Área de concentração**

Engenharia Urbana

**Orientador**

Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

**Colaborador**

Prof<sup>a</sup> Dra. Ana Cristina Taigy Medeiros de Queiroz Mello

João Pessoa – Paraíba

Março de 2005



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA URBANA**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA**  
**FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS**

**Francisco Sales Neves de Souza Lima**

Dissertação apresentada ao programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Urbana do CT  
como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de MESTRE EM  
ENGENHARIA URBANA

Este trabalho foi beneficiário de auxílio  
Financeiro do PROCAD/CAPES,  
FINEP-CTPETRO, CNPq/PAOCT

João Pessoa – Paraíba

Março de 2005

**L732a**

**Lima, Francisco Sales Neves de Souza**  
**Aproveitamento de Resíduos de Construção**  
**na Fabricação de Argamassas / Francisco Sa -**  
**les Neves de Souza Lima. – João Pessoa, 2005**  
**93p.**

**Orientador: Normando Perazzo Barbosa.**

**Dissertação (mestrado) UFPB/CT**

**1. Argamassas. 2. Agregado Reciclado**  
**3. Resíduo Sólido. 4. Engenharia Urbana**

**UFPB/BC.**

**CDU 62:711(043)**  
**2.ed.**

# **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS**

**Por**

**Francisco Sales Neves de Souza Lima**

Apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em 23 de março de 2005.

## **BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Normando Perazzo Barboza

Orientador – CT/UFPB

---

Prof. Dr. Paulo de Araújo Regis

Examinador Externo - UFPE

---

Prof. Dr. Ângelo Vieira Mendonça

Examinador Interno – CT/UFPB

João Pessoa – Paraíba

Março de 2005

## **DEDICATÓRIA**

A Deus

A meus pais Francisco de Souza Lima e

Maria Severina Neves (in memoriam)

A todos que lutam em defesa do meio ambiente

Aos meus filhos, irmãos, sobrinhos e amigos.

## AGRADECIMENTOS

As nossas conquistas que são frutos de muitos esforços, 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.

Ao Prof. **Dr. Normando Perazzo Barbosa** pela amizade e apoio constantes. Obrigado, sobretudo por ter acreditado nos meus objetivos. O seu exemplo será sempre valioso para todos que tiverem a oportunidade de estar ao seu lado.

A **Prof<sup>a</sup> Dra. Ana Cristina Taigy Medeiros de Queiroz Mello** e ao **Eng. Cláudio Matias da Silva** que durante todo o processo de pesquisa foram incansáveis em colaborar atentamente, mostrando serem verdadeiros amigos, sempre presentes nos momentos mais difíceis e a quem muito devo esta etapa de minha formação acadêmica.

A coordenação do Mestrado em Engenharia Urbana, na pessoa do **Prof. Dr. Roberto Pimentel**, pela oportunidade, colaboração e apoio dados durante o transcorrer do curso e em especial a Secretária do curso, a doce **Marluce Pereira**, que sempre esteve presente e com toda dedicação fazendo tudo pelo engrandecimento e qualificação dos nossos trabalhos.

Ao LABEME (Laboratório de Materiais e Estrutura no CCT/UFPB/Campos I) nas pessoas do **Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa, Delby Fernandes, Ricardo**, pelo apoio financeiro e técnico durante o período de realização deste trabalho, e em especial a **Zito** pela contribuição nas tarefas práticas.

Ao CEFET-PB nas pessoas do **Diretor Geral Prof. José Rômulo Gondim de Oliveira** e da **Diretora da Sede Prof. Ivanilda Matias Gentle**, pelo apoio laboratorial (Laboratório de Materiais do CEFET-PB no DENIT “antigo DNER” em João Pessoa, e apoio gráfico durante todo o processo de desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus amigos do mestrado, pela amizade, parceria e estímulo através dos seus extraordinários trabalhos e orientações.

Aos meus filhos Wagner, Júnior e Felipe, e aos meus irmãos pelo companheirismo, e incentivo em tantos momentos de alegria e também de dificuldades.

À CAPES-PROCAD, FINEP-CTPETRO e CNPq pelo apoio financeiro para melhoria do LABEME, o que permitiu a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMA</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XIV</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1 – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>1</b>
<b>1.2 - OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 – Objetivo Geral</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2 – Objetivos Específicos</b>	<b>4</b>
<b>1.3 - JUSTIFICATIVA</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>7</b>
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>7</b>
<b>2.1 – Desperdícios na Construção Civil</b>	<b>7</b>
<b>2.2 – Impacto Ambiental da Urbanização</b>	<b>11</b>
<b>2.3 – Gestão de Resíduos de Construção e de Demolição</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1 – Considerações Iniciais</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2 – Gestão Diferenciada</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3 – Resíduos de Construção e de Demolição</b>	<b>15</b>
<b>2.4 – Pesquisas Desenvolvidas sobre Resíduos de Construção Civil</b>	<b>19</b>
<b>2.5 – Reciclagem de Entulhos</b>	<b>21</b>
<b>2.5.1 – Origem e Composição de Entulhos na Construção Civil</b>	<b>21</b>
<b>2.5.2 – Reciclagem de Entulho da Construção Civil</b>	<b>29</b>
<b>2.5.3 – Vantagens da Reciclagem de Entulho</b>	<b>33</b>
<b>2.5.4 – Agregados Reciclados e Atividades Pozolânicas</b>	<b>35</b>
<b>2.6 – Considerações Gerais</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>42</b>
<b>3 – MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>42</b>
<b>3.1 - MATERIAIS</b>	<b>42</b>
<b>3.1.1 - Cimento</b>	<b>42</b>
<b>3.1.2 - Cal</b>	<b>42</b>
<b>3.1.3 – Agregada Natural</b>	<b>42</b>
<b>3.1.4 – Agregado Reciclado</b>	<b>43</b>
<b>3.1.5 - Água</b>	<b>44</b>
<b>3.1.6 - Superplastificante</b>	<b>44</b>
<b>3.2 – CAMPO DE ATUAÇÃO</b>	<b>45</b>
<b>3.2.1 – Tipo de Pesquisa</b>	<b>45</b>
<b>3.2.2 – Técnica de Coleta de dados</b>	<b>45</b>
<b>3.3 – ETAPAS DA PESQUISA</b>	<b>46</b>
<b>3.4 – Tratamento e Análise dos dados</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>49</b>
<b>4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>49</b>
<b>4.1 – ASPECTOS SOBRE OS RESÍDUOS GERADOS NA CIDADE DE JOÃO PESSOA</b>	<b>49</b>
<b>4.1.1 – Estimativa sobre os Resíduos Gerados na Cidade de João Pessoa</b>	<b>49</b>
<b>4.1.2 – Identificação dos Locais de Deposição Final dos Resíduos de Construção e de Demolição</b>	<b>50</b>

<b>4.1.3 – Principais Componentes dos Resíduos Gerados pela Construção Civil em João Pessoa</b>	<b>53</b>
<b>4.2 – ESTUDO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CERÂMICOS</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1 – Caracterização do Agregado</b>	<b>54</b>
<b>4.2.2 - Argamassa no Estado Fresco</b>	<b>58</b>
<b>4.2.3 – Propriedades Físicas das Argamassas Endurecidas</b>	<b>59</b>
<b>4.2.4 – Resistência de Aderência à Tração da Argamassa NBR 13528 (ABNT 1995)</b>	<b>60</b>
<b>4.2.5 – Resistência à Compressão Simples da Argamassa</b>	<b>64</b>
<b>4.2.6 – Argamassa no Assentamento de Tijolos Cerâmicos</b>	<b>69</b>
<b>4.2.7 – Resistência à Compressão Simples da Argamassa para uso em Concreto</b>	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>78</b>
<b>5 - CONCLUSÕES</b>	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>81</b>
<b>6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>90</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1</b> – Perdas de materiais em processos construtivos, conforme pesquisas nacionais em 12 estados e pesquisas anteriores	8
<b>TABELA 2.2</b> – Fontes e causas de ocorrências de resíduos de construção	26
<b>TABELA 2.3</b> – Índices dos principais componentes do entulho gerado em Campina Grande	28
<b>TABELA 2.4</b> – Média de geração de entulho em diferentes fases de construção do município de Campina Grande em 2001	28
<b>TABELA 2.5</b> – Composição de entulhos nos canteiros de obras em Londrina-PR	28
<b>TABELA 2.6</b> – Composição do entulho de demolição de Londrina-PR	29
<b>TABELA 3.1</b> – Ensaios de laboratórios	46
<b>TABELA 4.1</b> – Granulometria do agregado natural (NBR 7217)	55
<b>TABELA 4.2</b> – Granulometria do agregado reciclado	57
<b>TABELA 4.3</b> – Resistência de aderência à tração das argamassas aos 28 dias (Traço 1:2:8)	61
<b>TABELA 4.4</b> – Resistência à compressão simples das argamassas Traço 1:2:8 (cimento, cal e areia)	65
<b>TABELA 4.5</b> - Resistência à compressão simples das argamassas Traço 1:2:8 (cimento, cal e areia)	66
<b>TABELA 4.6</b> – Resistência à compressão de tijolos de oito furos	70
<b>TABELA 4.7</b> – Resistência à compressão de prismas com dois tijolos cerâmicos	71
<b>TABELA 4.8</b> – Resistência à compressão da argamassa com agregado natural	73
<b>TABELA 4.9</b> - Resistência à compressão da argamassa com agregado reciclado	74
<b>TABELA 4.10</b> – Relação água cimento da argamassa para uso em concreto	76

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1a</b> – Deposição irregular	3
<b>FIGURA 1.1b</b> – Deposição irregular	3
<b>FIGURA 2.1</b> – Deposição irregular de entulho	11
<b>FIGURA 2.2</b> – Reciclagem de resíduos	23
<b>FIGURA 2.3</b> – Construção no Bairro do Bessa	25
<b>FIGURA 2.4</b> – Principais fontes geradoras de entulho de construção no Brasil (Levy 2001)	27
<b>FIGURA 3.1</b> – Areia do rio Caixitú	43
<b>FIGURA 3.2</b> – Resíduo usado	44
<b>FIGURA 3.3</b> – Britador de mandíbulas	44
<b>FIGURA 3.4</b> – Material triturado	44
<b>FIGURA 3.5</b> – Agregado miúdo	44
<b>FIGURA 3.6</b> – Capeamento de prismas de tijolos cerâmicos	48
<b>FIGURA 4.1</b> – Residências são demolidas dando lugar a construções de espigões residenciais	49
<b>FIGURA 4.2</b> – Principais bairros onde atua a <b>Coletora A</b>	50
<b>FIGURA 4.3</b> – Principais bairros onde atua a <b>Coletora B</b>	51
<b>FIGURA 4.4</b> – Principais bairros onde atua a <b>Coletora C</b>	51
<b>FIGURA 4.5</b> – Principais bairros onde atua a <b>Coletora D</b>	52
<b>FIGURA 4.6</b> – Deposição irregular de resíduos	53
<b>FIGURA 4.7</b> – Principais componentes presentes nos resíduos coletados da indústria da construção civil de João Pessoa	54
<b>FIGURA 4.8</b> – Curva de composição granulométrica do agregado miúdo natural	55
<b>FIGURA 4.9</b> – Curva de composição granulométrica do agregado miúdo reciclado	57
<b>FIGURA 4.10</b> – Impurezas orgânicas do agregado reciclado	58
<b>FIGURA 4.11</b> – Percentagem de água necessária para a argamassa atingir a consistência padrão (NBR 13279/95) em função da percentagem de agregado reciclado	59
<b>FIGURA 4.12</b> – Absorção da argamassa endurecida confeccionada com agregado miúdo natural (NBR 9778/87)	59
<b>FIGURA 4.13</b> – Absorção da argamassa endurecida confeccionada com agregado miúdo reciclado (NBR 9778/87)	60
<b>FIGURA 4.14</b> – Arrancamento das pastilhas no teste de resistência de aderência à tração das argamassas	62
<b>FIGURA 4.15</b> – Resistência de aderência à tração da argamassa com agregado miúdo natural “revestimento no chapisco”	62
<b>FIGURA 4.16</b> – Resistência de aderência à tração da argamassa com agregado miúdo reciclado “revestimento no chapisco”	63
<b>FIGURA 4.17</b> – Resistência de aderência à tração da argamassa com agregado miúdo reciclado “revestimento sem chapisco”	63
<b>FIGURA 4.18</b> – Resistência à compressão da argamassa endurecida aos 7 dias	65
<b>FIGURA 4.19</b> – Resistência à compressão da argamassa endurecida aos 28 dias	65
<b>FIGURA 4.20</b> – Resistência à compressão da argamassa endurecida aos 7 dias (4ª série)	67
<b>FIGURA 4.21</b> – Resistência à compressão simples da argamassa endurecida aos 28 dias (4ª série)	67
<b>FIGURA 4.22</b> – Resistência à compressão simples da argamassa endurecida aos 90 dias (4ª série)	68

<b>FIGURA 4.23</b> – Resistência à compressão simples da argamassa endurecida aos 7, 28 e 90 dias (4ª série)	68
<b>FIGURA 4.24</b> – Resistência média à compressão simples da argamassa de assentamento moldada no traço 1:2:8, agregado miúdo natural e 100% de agregado miúdo reciclado	69
<b>FIGURA 4.25</b> – Valores mínimo, médio e máximo da resistência à compressão simples de tijolos cerâmicos de oito furos	70
<b>FIGURA 4.26</b> – Resistência à compressão simples de prismas moldados com dois tijolos furados e argamassa de assentamento moldada com traço 1:2:8, agregado miúdo natural e agregado miúdo reciclado da 1ª, 2ª e 3ª série	72
<b>FIGURA 4.27</b> – Resistência à compressão simples de corpos de prova de argamassa com agregado miúdo natural aos 7 e 28 dias (média da 1ª e 2ª série)	74
<b>FIGURA 4.28</b> – Resistência à compressão simples de corpos de provas de argamassa com agregado miúdo natural, com superplastificante, aos 7 e 28 dias (média da 3ª e 4ª série)	75
<b>FIGURA 4.29</b> – Resistência à compressão simples de corpos de provas de argamassa com agregado miúdo reciclado aos 7 e 28 dias (média da 1ª e 2ª série)	75
<b>FIGURA 4.30</b> – Resistência à compressão simples de corpos de provas de argamassa com agregado miúdo reciclado, com superplastificante, aos 7 e 28 dias (média da 3ª e 4ª série)	76

# APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA

## RESUMO

O aumento significativo na geração de resíduos sólidos urbanos tem acarretado verdadeiros danos sociais, econômicos e ambientais. Considerando um futuro provável esgotamento das reservas de matérias-primas da construção civil, necessário se faz reaproveitar os resíduos de obras. O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica de uso do resíduo sólido gerado pela construção civil em João Pessoa-PB, para fabricação de argamassas de assentamento e revestimento. Foi feita uma pesquisa a respeito da quantidade de resíduos coletados na capital paraibana. Foram identificados seus principais componentes. Em Laboratório, foi preparado, através de trituração da parte dos resíduos compostos por tijolos e argamassas, um agregado artificial que foi devidamente caracterizado. Em seguida foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas das argamassas de referência e com o agregado reciclado nas proporções volumétricas de 10%, 25%, 50%, 75% e 100% do agregado total. Estudou-se a absorção de água pelas argamassas endurecidas. Foi obtida a resistência de aderência à tração de argamassas com agregado natural e reciclado e também obtida a resistência à compressão aos 7, 28 e 90 dias. Foi verificada a resistência à compressão de prismas com tijolos furados assentados com argamassas no traço 1:2:8. Para se verificar o desempenho do agregado reciclado no concreto foram feitos diversos traços: 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4, com agregado natural e com 100% de agregado reciclado. Em alguns traços foi usado aditivo superplastificante. Em todas as argamassas foi mantida constante a consistência, correspondente àquela padrão da NBR 13279/95. Os resultados mostraram que o agregado reciclado pode ser usado em argamassas e concretos, apesar de conduzir a maior absorção de água e menor resistência à compressão que o agregado natural.

**Palavras chave:** argamassas, agregados, meio ambiente, reciclagem, resíduo sólido urbano.

## ABSTRACT

**LIMA, Francisco Sales Neves de Souza.** The use of construction residues in mortar. João Pessoa: Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba, 2005. Thesis (Master).

The significant increasing in the generation of urban solid residues has been caused true social, economic and environmental damage. Taking into account a probable exhaustion of primary material for civil construction in next future, it is necessary to recycle the residues of construction sites. The aim of this work is to study the possibility of the use of the solid residue generated by civil construction in João Pessoa – PB, to produce mortars. A piece of research was carried out with regard to the quantity of residues collected in the capital of the State of Paraíba Their main components were identified. In the laboratory, an artificial aggregate was prepared through the grinding of part of the residues composed by bricks and mortar, which was properly characterized. Following this, the physical and mechanical properties of reference mortars were studied and compared with those using the recycled aggregate in the volumetric proportions of 10%, 25%, 50%, 75% e 100% of the total aggregate. The water absorption in hardened mortars was studied, as well tensile bond strength of mortars with natural and recycled aggregate. Compression strength at 7, 28, and 90 days, was obtained. Compression strength of ceramic bricks prisms built with mortars in a ratio of 1:2:8 was tested. To verify the performance of the recycled aggregate in concrete, several mortars were made with a cement:sand ratio of 1:1, 1:2, 1:3 and 1:4, using natural aggregate and 100% of recycled aggregate. In some cases a superplasticizer was used. In all the mortars the consistency was kept constant, corresponding to the standard one of Brazilian Code NBR 13279/95. The results showed that the recycled aggregate can be used in mortars and concretes, in spite of the higher water absorption and lower compression strength.

**Keywords:** mortar, aggregates, environment, recycling, urban solid residue.

# CAPÍTULO I

---

## 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O acelerado processo de industrialização e ocupação urbana tem contribuindo 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 irregular, 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 dos rejeitos 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 dos 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.

A Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307, de cinco de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da Construção Civil, provenientes de construção, reformas, reparos e demolições. Entrou em



vigor em janeiro de 2003, dando um prazo de 18 meses para os Municípios e o Distrito Federal solucionarem este problema.

Os resíduos de construção, demolição e reforma, geram um considerável volume de materiais, constituído principalmente de concreto, estuque, telhas, metais, madeiras, gesso, aglomerados, pedras, areias, rebocos, etc.

Entretanto, tem-se observado um descuido por parte das empresas construtoras com a coleta, transporte e destino final destes materiais, talvez por desconhecerem a Legislação Ambiental, ou mesmo por falta de conhecimento técnico e iniciativa voltada para o reaproveitamento dos resíduos gerados.

O entulho muitas vezes é gerado por deficiências no processo da construção, como falta de projetos, falhas na sua execução, má qualidade dos materiais empregados, perdas no transporte e armazenamento, má manipulação por parte da mão de obra, além da substituição de componentes pela reforma ou reconstrução. A melhoria no gerenciamento e controle de obras públicas e também trabalhos conjuntos com empresas e trabalhadores da construção civil podem contribuir para atenuar este desperdício.

A possibilidade de redução dos resíduos gerados nos diferentes processos produtivos apresenta limites técnicos, de forma que resíduos, portanto, sempre existirão. A política de proteção ambiental hoje vigente é voltada quase que exclusivamente para a deposição controlada dos resíduos. Esta política apresenta limitações, principalmente em relação ao custo e a ocorrência de outros tipos de riscos ambientais. Por exemplo, os aterros sanitários ocupam grande espaço no uso do solo, além de concentrar um teor elevado de substâncias agressivas ou danosas ao meio ambiente. Para controlar o risco de acidentes, estes aterros têm recebido aperfeiçoamentos constantes em muitos casos, têm levado o preço destes serviços a valores muitas vezes economicamente inviáveis.

A Construção Civil gera grande desperdício durante o processo de Construção, Demolição e Reforma, causando grandes transtornos para os habitantes devido ao acúmulo de entulhos lançados na maioria das vezes, em locais inadequados, tais como: nos terrenos baldios (Figuras 2.1a e 2.1b), na margem das estradas, nas áreas de depressão e até mesmo nas margens dos cursos d'águas, causando grandes transtornos nos períodos chuvosos, com constantes inundações e desabamentos, principalmente em áreas mais carentes.



**Figura 1.1a** – deposição irregular



**Figura 1.1b** – deposição irregular.

Estes procedimentos irregulares proporcionam a proliferação de ratos, baratas, mosquitos, cobras, etc., levando muitas vezes a transmissão de doenças epidêmicas de difícil controle pelos Órgãos competentes.

Segundo **CLOCCHI** (2003), cerca de 60% dos materiais descartados são constituídos de produtos inertes, como argamassas, concretos e telhas, passíveis de serem reciclados. Entretanto, tais resíduos são depositados ao longo do espaço urbano, conseqüentemente, ocupando áreas valorizadas ou de preservação com um material que pode ser reutilizado.

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 e 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 as propriedades do material (**Oliveira 2004**).

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 grandes centros urbanos levaram a Câmara dos Deputados a criar uma comissão especial para tratar do 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 a questão do lixo domiciliar e hospitalar. A gravidade do assunto chega ao extremo em grandes centros como São Paulo. A

capital paulista tem um aterro de materiais inertes (que não apodrece) 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 sua deposição crie problemas para a drenagem urbana, (CNOL e SINDUSCON, 2002).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

- O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade técnica de aplicação dos resíduos da Construção Civil da Cidade de João Pessoa, na fabricação de argamassas.

### **1.2.2 - Objetivos Específicos:**

- Fazer uma estimativa do volume de resíduos gerados na Cidade de João Pessoa.
- Identificar os locais de deposição final dos resíduos em João Pessoa.
- Identificar os componentes principais dos resíduos gerados na Construção Civil de João Pessoa.
- Estudo do aproveitamento dos resíduos cerâmicos reciclados em argamassas.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Justifica-se o tema do trabalho proposto, uma vez que o estudo do aproveitamento dos resíduos gerados pela indústria da construção civil, contribuirá para minimizar a deposição irregular de resíduos ao longo das estradas, margens dos cursos d'água, terrenos baldios, etc., proporcionando o desenvolvimento urbano e uma melhor qualidade de vida da população a medida que busca encontrar mecanismos de reutilização de tais resíduos.

A incorporação de resíduos reciclados na produção de materiais de construção também pode reduzir o consumo de energia, porque podem reduzir as distâncias de transportes de matérias primas. Existindo um processo de obtenção de agregados reciclados os benefícios serão visíveis, pois se pode diminuir consideravelmente o volume de resíduos a serem depositados.

A utilização do entulho reciclado na fabricação de argamassas para novas construções vai contribuir, na preservação do meio ambiente reduzindo a degradação com a exploração de jazidas para retirada de agregados reduzindo o consumo de energia para retirada e transporte, minimizando a poluição ambiental com o deslocamento e queima de combustível dos veículos, além de evitar a degradação de áreas de deposição clandestina e Aterros Sanitários.

A implantação de Usinas de Reciclagem para aproveitamento dos entulhos gerados pela Construção Civil seria uma alternativa viável para minimizar seu volume e os transtornos que eles causam às populações urbanas.

Atualmente já existe Usinas de Reciclagem do entulho de construção e de demolição em pleno funcionamento em São Paulo, Ribeirão Preto, Belorizonte, Salvador, e outras mais.

A necessidade de dar um destino final aos resíduos gerados pela Construção Civil vem preocupando entidades governamentais e não governamentais. Existem Países como o Japão e outros, que não têm sequer espaço físico para deposição dos seus resíduos, obrigando-os a fazerem parcerias com outros Países para acolher tais resíduos.

No que diz respeito às argamassas, os resíduos reciclados podem ter um bom desempenho. Por exemplo, os resíduos cerâmicos moídos apresentam reação pozolânica podendo inclusive proporcionar reduções no consumo de cimento (ALVES, 2002).

Observa-se que há um crescente interesse no desenvolvimento de pesquisas sobre a reciclagem de resíduos da construção civil. 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 transtorno. 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.

## CAPÍTULO.II

---

### 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - DESPERDÍCIO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O desperdício na construção civil é relativamente alto, chegando a variar em torno de 40% do valor total. Estudos recentes têm sido realizados sobre a reciclagem de resíduos sólidos, principalmente nos países subdesenvolvidos que não podem arcar com uma industrialização rápida. A reciclagem de resíduos de edificações 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 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 obras (SOUZA et al., 1998).

A **Tabela 2.1** apresenta o desperdício de alguns materiais de construção comumente usados na maioria das construções, com valores alarmantes. Na mesma tabela são apresentados, também, os resultados obtidos em duas outras pesquisas anteriores sobre o mesmo tema, onde os dados representam as perdas em relação ao consumo prevista no orçamento.  $\text{Perdas} = \% \text{ realmente consumidas menos a } \% \text{ orçada dividida pela } \% \text{ orçada, multiplicado por } 100\%$ .

**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>
<b>Concreto usinado</b>	<b>1,5%</b>	<b>13%</b>	<b>9%</b>
<b>Aço</b>	<b>26%</b>	<b>19%</b>	<b>11%</b>
<b>Blocos e tijolos</b>	<b>13%</b>	<b>52%</b>	<b>13%</b>
<b>Cimento</b>	<b>33%</b>	<b>83%</b>	<b>56%</b>
<b>Cal</b>	<b>102%</b>	<b>-</b>	<b>36%</b>
<b>Areia</b>	<b>39%</b>	<b>44%</b>	<b>44%</b>

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

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

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

Como se ver, as perdas referentes a areia, cal e cimento, por exemplo, são consumos excessivos de argamassas em reboco (revestimento) com problemas de desnivelamento, precisando aumentar a espessura para cobrir os defeitos.

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** e colaboradores em 1993, lançaram 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 do 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; ARAUJO, N. & 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% a 30%), dependendo dos traços avaliados (LEVY, M. & HELENE, 1997).

Segundo MIRANDA (2000) a natureza do entulho influencia o consumo de água das argamassas compostas 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 da 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 aterros próximos às construções atraindo outros tipos de resíduos como os domiciliares.

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 danificados no local de estocagem;

- ii. **Perdas por excesso de produção** – produção de argamassa em quantidade acima do necessário;
- iii. **Perdas no processamento in 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 foi a mudança constante nos projetos por parte dos condôminos;
- iv. **Perdas no transporte** – o manuseio dos materiais de construção pelos operários provoca perdas, principalmente com blocos, devido ao equipamento de transporte ser inadequado ou de péssimo manuseio.

A quantidade de entulho descartada em Campina Grande mostra o 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 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. Ver **Figura 2.1** a seguir



**Figura 2.1** – Deposição irregular de entulhos.

## **2.2 - IMPACTOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO**

Segundo **WILHEIM** (1993), a urbanização tem causado muitos impactos no meio ambiente e, no Brasil sua maior aceleração se deu a partir de 1950 com o processo de urbanização. Afirma o autor:

“O primeiro efeito ambiental foi o vulto da derrubada de árvores, com o desmatamento. Inevitável se quiser abrir áreas para moradias; foi, no entanto, indiscriminado e não substituído por uma política de arborização ou de abertura de parques. O resultado foi à impermeabilização e a aridez excessiva da cidade e a mudança gradual do microclima”.

Em seguida, a terraplenagem para o preparo do parcelamento do solo, alterou a topografia, violentou sistemas de drenagem natural, arrasou morros e carregou para os córregos urbanos toneladas de terra. Este assoreamento rápido levou a enchentes e desviou cursos de água que passaram a sulcar solos novos abrindo fendas e fragilizando o subsolo.

Em terceiro lugar, o desnudamento de solos frágeis iniciou processos de erosão, aumentando os efeitos nocivos acima. Em certas cidades (como o Rio de Janeiro e Salvador), apertadas entre a orla marítima e a montanha, a necessidade de espaços construídos e a voracidade de multiplicar lucros, resultou em aterros que chegaram a desafiar o mar, alterando regimes e correntes, fazendo desaparecer algumas praias, por vez surpreendentemente criando outras.

Houve cidades (como São Paulo) em que várzeas em várias baixadas, periodicamente ocupadas pelas águas de um rio, eram simplesmente aterradas, ocupadas, loteadas e vendidas, ousadamente alterando o regime do rio, diminuindo seu espaço vital e finalmente submetendo moradores futuros ao flagelo de enchentes periódicas (**WILHEIM** 1993).

Para maximizar o negócio imobiliário, a legislação foi extremamente permissiva, permitindo elevadas taxas de ocupação e aproveitamento.

A composição de diversos fatores resultou em drenagem urbana insuficiente, na elevação de temperatura, na impermeabilização excessiva, levando as águas de chuvas torrenciais a irem com excessiva rapidez às calhas dos rios, provocando enchentes urbanas anuais.

As ruas passaram a serem excessivamente sombreadas por prédios altos construídos em lotes que outrora tinham sido dimensionados para casas.

As elevadas taxas de crescimento não foram acompanhadas por investimentos em infra-estrutura, gerando-se déficits ainda insuperados em abastecimentos de água, coletas, rede viária e Esgotamento Sanitário. Esta situação acarretou novos ataques ao meio ambiente: perfuraram-se sem critério, poços artesianos e fossas sépticas, provocando contaminação; em pouco tempo todos os córregos e rios transformaram-se em fétidas e perigosas galerias de esgoto.

As necessidades de se obter materiais de construção e pavimentação resultaram na abertura de inúmeras pedreiras e portos de areia, provocando mais assoreamentos e enchentes, assim como em mais erosão e deslizamento.

As atividades fabris se instalaram e prosperaram nesse período, resultando em benefícios diversos: emprego, riqueza, estrutura industrial. Sem normas, nem cautelas (como, aliás, no resto do mundo), as indústrias acabaram poluindo o ar, as águas e os solos urbanos.

Para agravar a situação, a elevada taxa de motorização, os modelos de carros, ônibus e caminhões aqui fabricados e a composição dos combustíveis, geraram uma poluição do ar, mais grave (hoje) do que a poluição industrial. O aumento demográfico e do consumo

resultou em grande quantidade de lixo domiciliar a ser coletado e disposto. Em que pese os esforços de prefeituras para operar aterros sanitários, é ainda grande o número de lixões, isto é, de resíduos livremente jogados, degradando a paisagem e contaminando solo e água.

A questão ambiental tem se tornado cada vez mais um ponto decisivo na continuidade ou não de um determinado negócio. A avaliação e a minimização dos impactos sobre o meio ambiente causados por todos os tipos de ações estão adquirindo cada vez maior importância, devido a evidente limitação dos recursos naturais disponíveis, à importância de se preservar o ambiente natural e a necessidade de se ter um desenvolvimento sustentável (CARNEIRO, 2003).

Os problemas causados pelos resíduos sólidos são tão velhos quanto a humanidade, apesar de nos primórdios não haver grandes problemas a resolver porque o homem era nômade, vivera em comunidades muito pequenas e havia muito espaço. Com o advento da agricultura, começou a se fixar nas regiões, formando as tribos, vilas e cidades e é precisamente esta característica já milenar gregária do homem, que traz consigo problemas de ordem ambiental, pois não havendo conhecimentos e, por conseguinte, hábitos de higiene, os rios e lagos começaram a ser poluídos com esgotos e resíduos (RUSSO, 2003).

## **2.3 - GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO**

### **2.3.1 – Considerações Iniciais**

O acelerado processo de urbanização e a estabilização da economia, nos últimos anos, colocaram em evidência o enorme volume de resíduos de construção e de demolição que vem sendo gerado nas cidades brasileiras, à semelhança do que já era observado em regiões densamente povoadas de outros países, demonstrando que as municipalidades não estão estruturadas para o gerenciamento de volume tão significativo de resíduos e para o gerenciamento dos inúmeros problemas por eles criados.

As soluções atualmente adotadas, na imensa maioria dos municípios, são sempre emergenciais e, quando se tornam rotineiras, têm significado sempre atuações em que os gestores se mantêm como coadjuvantes dos problemas. Num ou noutro caso caracterizam uma prática que pode ser denominada de “Gestão Corretiva”.

A Gestão Corretiva caracteriza-se por englobar atividades não preventivas, repetitivas e custosas, que não surtem resultados adequados, e são, por isso, profundamente ineficientes.

A Gestão Corretiva se sustenta na “inevitabilidade” de áreas com deposições irregulares degradando o ambiente urbano, e se sustenta enquanto houver a disponibilidade de áreas de aterramento nas proximidades das regiões fortemente geradoras de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

Além disso, a Gestão Corretiva acarreta efeitos “perversos” uma vez que a prática contínua de aterramento, nos ambientes urbanos, com volumes tão significativos, elimina, progressivamente, as áreas naturais (várzeas, vales, mangues e outras regiões de baixadas), que servem como escoadouro dos elevados volumes de água concentrados nas superfícies urbanas impermeabilizadas.

Assim a pressão da alta geração de Resíduos de Construção e de Demolição encontra municipalidades desaparelhadas, que só têm a influência da Gestão Corretiva como solução, e não podem contar com o suporte de políticas centrais de saneamento, as quais só recentemente vêm buscando incorporar preocupações com os resíduos sólidos (não-inertes), mas ainda não detectaram a extensão da geração de resíduos oriundos de construção e de demolições.

Por todos esses aspectos, pode-se caracterizar a Gestão Corretiva como uma prática sem sustentabilidade. Sua ineficiência impõe a necessidade de traçar novas políticas específicas para o domínio dos resíduos de construção e de demolição, ancoradas em estratégias sustentáveis, como o correto envolvimento dos agentes atuantes e a intensa reciclagem dos resíduos captados.

### **2.3 2- Gestão Diferenciada**

A intensidade de geração dos resíduos e a extensão dos impactos por eles causados, nas áreas urbanas, apontam claramente para a necessidade de ruptura com a ineficiência da Gestão Corretiva. A gestão dos espaços urbanos em municípios de médio e grande porte não mais comporta intervenções continuamente emergenciais e coadjuvantes das reações de geradores e coletores a ausência de soluções.

No âmbito de um inventário preciso da composição e fluxo dos Resíduos Sólidos Urbanos, o volume de RCD gerado precisa ser reconhecido e assumido pelos gestores de limpeza urbana, assim como precisa ser assumida a necessidade de soluções duráveis para absorção eficiente desses resíduos.

A proposição de uma gestão diferenciada dos resíduos de construção e de demolição persegue a ampliação dos serviços públicos, buscando constituir um modelo racional, eficaz, menos custoso e, portanto, sustentável.

A Gestão Diferenciada dos resíduos de construção e demolição é constituída por um conjunto de ações que corporificam um novo serviço público, visando à:

- Captação máxima dos resíduos gerados, através da constituição de redes de áreas de atração, diferenciadas para pequenos e grandes geradores/coletores;
- Reciclagem dos resíduos captados, em áreas perenes especialmente definidas para essa tarefa;
- Alteração de procedimentos e culturas, no tocante à intensidade da geração, à correção da coleta e da disposição e às possibilidades de utilização dos resíduos reciclados.

O gerenciamento de resíduos é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduo, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implantar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

Segundo **WEDLER, HUMMEL** (1946), a primeira aplicação significativa de entulho reciclado, só foi registrada após o final da 2ª 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 à demanda na época.

A reciclagem de resíduos industriais, particularmente os da construção civil, é hoje uma necessidade para a preservação do meio ambiente e o reaproveitamento destes resíduos faz parte de uma das mais importantes alternativas disponíveis para a redução dos problemas gerados por esses materiais. É através da reciclagem que estes elementos podem ser transformados em produtos de grande valor social. No Brasil tem-se notado um avanço no sentido de valorização destes materiais, buscando, de acordo com as suas propriedades físicas e químicas, potenciais aplicações dos produtos obtidos no processo de reciclagem **LIMA, (IBRACON, 2001)**.

Um dos crescentes problemas urbanos é a quantidade de lixo gerada devido ao aumento da população e o seu destino final. Dentre todo esse lixo, parte de sua composição é originário da construção civil, onde se tem realizado estudos frequentes para a reutilização na própria fonte geradora. Uma das possíveis utilizações deste entulho é como agregado na produção de argamassas e blocos de concreto **LIMA, (IBRACON, 2001)**.

### 2.3.3 - Resíduos de Construção e de Demolição

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 a definição, há discordância não só quanto a abrangência das frações presente como também quanto às atividades geradoras dessas frações.

**O MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO (CEMPE, 1999)** define o entulho como um conjunto de fragmentos ou restos de tijolos, concreto, argamassa, aço, madeira, etc., proveniente do desperdício na construção, reforma e ou demolição de construções como prédios, residências e pontes, na 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 NBR 10004 (ABNT, 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, patogenicidade e radiatividade;
- 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 resíduo que, quando amostrados de forma representativa, 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 de 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 de 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 o entulho como um todo em que se garanta que ele ainda seria classificado como resíduos inertes, além disso, os entulhos possuem uma tendência 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 operações 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 classe de 1 a 6:

- i. **Classe 1** – resíduos de concreto sem impurezas – material composto de concreto estrutural, simples ou armado, com teores limitados de alvenaria, argamassa e impurezas;
- ii. **Classe 2** – resíduos 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** – resíduos de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas – material composto de argamassas, concreto e alvenaria com baixo teor de materiais cerâmicos, podendo conter outros materiais inertes como areia e pedra britada, entre outros, com teor limitado de impurezas;
- iv. **Classe 4** – resíduos de alvenaria com presença de terra e vegetal – 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 vegetais. 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 da 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 homogêneo 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 de construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultados 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 argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça 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 proveniente de terraplanagem; b) de construção, demolição, reforma e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, 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 transtorno, 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 salubilização 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.

## 2.4 - PESQUISAS DESENVOLVIDAS SOBRE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Vários pesquisadores já trabalharam com resíduos da construção civil visando o seu aproveitamento. Comentamos os resultados obtidos por alguns destes.

**PINTO** (1999) mostra que no Brasil é gerada 0,52 tonelada de entulho por habitante e por ano, representando de 54% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

Assim, é muito importante que sejam desenvolvidas técnicas construtivas que diminuam o volume do entulho gerado por obras novas, mas apenas isto não resolve o problema. Existem ainda os entulhos de reformas e demolições que só podem ser combatidos através da educação social para a reciclagem.

**OLIVEIRA** (2004) estudou a durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulhos da construção civil e concluiu que os blocos fabricados com traço 1:8, com 60% de entulho incorporado, obedecem aos parâmetros estabelecidos pelas Normas da ABNT NBR 6136/94 ( $f_c > 4,5$  MPa), apresentando um melhor desempenho aos efeitos de degradação por molhagem e secagem, sendo, portanto a composição ideal para fabricação de elementos pré-fabricados com resíduos de construção civil.

**HANSEN e NARUD** (1983), estudaram a resistência à compressão de concretos feitos de agregados graúdos reciclados, em função da resistência à compressão do concreto convencional do qual os agregados foram originados. Os resultados obtidos sugerem que a Resistência a Compressão do concreto confeccionado com agregado graúdo reciclado superou a Resistência a Compressão utilizando-se agregado convencional, entretanto tal resistência é amplamente controlada pelo fator água/cimento sendo este, tal qual o concreto convencional, um elemento essencial à qualidade do produto obtido.

Por sua vez, **PINTO** (1986) estudou a utilização de entulho para a produção de argamassas. Ele coletou 33 amostras, distribuídas pelos depósitos do resíduo na cidade de São Carlos, interior do estado de São Paulo, dividiu o resíduo de acordo com suas características granulométricas, em cinco categorias, e analisou seu comportamento como agregado na confecção de argamassas, comparando-o ao uso da areia normal. O pesquisador obteve bons resultados na resistência a compressão das argamassas nos traços com presença de cal, e atribui a dois fatores: à reação pozolânica dos finos reativos dos resíduos, em presença da cal, embora se trate de uma reação lenta, e a uma maior velocidade de carbonatação, em função da porosidade maior que as argamassas de resíduos apresentam. A porosidade superior otimizaria o contato do hidróxido de cálcio com o gás carbônico, acelerando a produção do carbonato de cálcio e, portanto, gerando maiores resistências.

**LEVY e HELENE** (1996) realizaram experimentos utilizando resíduos de construção moídos para a produção de argamassas de revestimento. Eles selecionaram quatro tipos de materiais que compõem o entulho, e os processaram em moinho de rolo. Com esse material moído produziram 8 diferentes tipos de misturas que deram origem às argamassas ensaiadas, a partir de traços de massa de material seco, similares aos empregados em obras convencionais. Eles constataram que as argamassas produzidas com o entulho apresentaram uma redução de 10% a 15% no consumo de cimento, 100% no consumo de cal e, de 15% a 30% no consumo de areia, além de um ganho de resistência a compressão que varia de 20% a 100%, conforme o traço utilizado, em relação aos valores obtidos com argamassas convencionais. Observaram ainda, que todas as argamassas quando aplicadas em substratos chapiscados, atenderam às exigências da norma brasileira, que sugere 0,20 MPa de resistência à tração aos 28 dias. Portanto, o estudo dos pesquisadores evidencia vantagens econômicas na utilização da reciclagem do entulho para a produção de argamassas, tanto no consumo de cimento, quanto de cal.

**HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO** (1996), abordaram a reciclagem do entulho na produção de argamassa de alvenaria, simulando a reutilização do resíduo no próprio local gerador. Partindo do traço referencial 1:6 (cimento: areia; em volume), eles utilizaram fragmentos de demolição do próprio instituto de pesquisa onde trabalham, o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), como blocos de concreto, blocos cerâmicos e tijolos, para substituir o agregado na confecção de alvenaria. Os pesquisadores concluíram que a quantidade de cal presente nas misturas influenciou na retenção de água e que as alterações mais significativas nos valores de retenção, são verificados somente nas argamassas sem cal, que chegam a ser 3,5 vezes maiores que a retenção obtida nos traços de referência. Observaram ainda, que o aumento do teor de cal provocou uma diminuição nos valores relativos da retenção de água. Todas as argamassas tiveram resistência à compressão aos 7 dias, semelhantes às obtidas na argamassa de controle.

**ALVES** (2002) estudou a substituição parcial do cimento por pozolana de resíduo cerâmico moído com teor 10, 15, 25, 35, e 45%, determinando a resistência à compressão com: 1, 3, 7, 28, 63, 91, e 182 dias, constatando que com 10% de substituição, a resistência da argamassa pode chegar a 36% maior na idade de 182 dias. Com 15% de substituição, entre 28 e 182 dias a argamassa apresentou um acréscimo de resistência da ordem de 28% em relação a argamassa de referência. Com 25% de substituição a resistência aos 91 dias se equipara a resistência da argamassa de referência aos 28 dias. Com 35% de substituição a resistência aos 91 e 182 dias é praticamente equivalente a resistência da argamassa de referência.

Como se vê as pesquisas sugerem, em geral, o potencial de resíduos gerados na construção civil como matéria prima para confecção de argamassas e concretos.

## **2.5 – RECICLAGEM DE ENTULHO**

### **2.5.1– Origem e Composição de 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

idades do Império Romano, e essa época, data os primeiros registros de reutilização de resíduos minerais da construção civil na produção de novas obras, entretanto, só a partir de 1928, começaram a serem 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 agregado visando atender a demanda na época (**WEDLER, B. e HUMMEL, A.** 1946 apud **LEVY et al** 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. A quantidade de 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 demolição comparável à quantidade de todo o lixo urbano produzido, em igual período. No Brasil ainda não existe um estudo preciso sobre a quantidade total de materiais de demolição produzida anualmente, mas sabe-se que esses materiais representam cerca de 50 a 70% do volume total de resíduos sólidos em cidades de grande e médio porte (**QUEBAUD & BUYLE-BODIN**, 1999).

Além de materiais de demolição, outros materiais de diferentes origens também fazem parte do total de resíduos sólidos existentes. Por exemplo, parte significativa dos materiais que entram numa obra sai ao seu final em forma de entulho por desperdício de material (cerâmico, argamassa, concreto, madeira, papel, terra, etc.). Esse entulho consiste numa parcela das perdas alarmantes registradas na construção civil (cerca de 30% em massa) e é responsável por outra grande parte dos resíduos sólidos gerados no meio urbano.

Nos Estados Unidos, Japão, Dinamarca, Holanda, França, Itália, Inglaterra, Alemanha e outros países, a reciclagem de entulho já se consolidou, com centenas de unidades instaladas. Os governos locais dispõem de leis exigindo o uso de materiais reciclados na construção e em serviços públicos.

Nos Estados Unidos existem inúmeras pesquisas e aplicações de reciclagem de entulho em várias áreas da engenharia, principalmente em pavimentações. Por exemplo, em

1964, utilizaram-se agregados reciclados na execução de sub-base de uma rodovia na cidade de Dallas.

Na Holanda, o uso de agregados reciclados na confecção de concretos começou em 1985, inclusive para fins estruturais em painéis pré-moldados. Percebeu-se a necessidade de se elevar o consumo de água para se atingir plasticidade igual a de um concreto convencional com um mesmo consumo de cimento, além da necessidade de ter uma maior energia de vibração durante o adensamento. Apesar do concreto ter apresentado maior retração, devido a maior quantidade de água utilizada na moldagem, não ocorreram fissuras que o prejudicasse (**HENDRIKS**, 1984 apud **LEVY et al**, 1997).

No Brasil, um estudo sistemático de reciclagem de entulho da construção e demolição, teve início com **PINTO** (1986). Sua pesquisa consistia em estudar o uso do reciclado para produção de argamassas. Segundo **LEVY et al** (1997), as primeiras usinas de reciclagem começaram a produzir, em larga escala, no final de 1995 na cidade de São Paulo. A aplicação de agregado reciclado como material para sub-base de uma rodovia também ocorreu em São Paulo em 1991 (**CORBIOLI**, 1996).

Uma das cidades brasileiras que se destaca pelo tratamento que vem dando aos entulhos da construção civil é Belo Horizonte – MG. Nesta cidade, após a instalação e funcionamento de várias estações de recepção e reciclagem de resíduos da construção civil, e do trabalho de fiscalização e educação ambiental, estima-se uma reciclagem de 8,8 mil ton/mês e conseqüente produção de 5.500m<sup>3</sup> de agregados reciclados, com redução de 80% no custo da produção. Esses resíduos reciclados têm sido usados para várias frentes de trabalho. Destacam-se as seguintes opções: sub-base ou tratamento primário de ruas; briquetes para calçadas; blocos para murada; blocos para alvenaria de casas populares ou em agregados para produção de tubos, guias, sarjetas e bocas-de-lobo (**ÁVILA**, 1999).

A Região Nordeste do Brasil também tem sido motivo de preocupação das empresas de construção civil e/ou dos fabricantes de materiais de construção devido à quantidade crescente de entulhos originados nas obras que se executam. Tais perdas somadas às despesas para seu descarte constituem relevante fator de majoração do custo das obras.

Em Salvador – BA, a situação inadequada da deposição de entulho e a necessidade de agilizar as ações de melhoria na limpeza urbana indicavam a necessidade de adoção de medidas que viessem a corrigir os problemas gerados. Desta forma, foi criado, por decreto da Prefeitura, um grupo de trabalho interinstitucional com a finalidade de viabilizar a operação

do Projeto Gestão Diferenciada de Entulho, que tem como objetivo transformar o descarte clandestino de entulho em deposição correta, através da adoção de uma política ordenadora, que busque a remediação da degradação ambiental gerada pelos resíduos da construção civil, seu aproveitamento e reciclagem.

Várias instalações para a reciclagem e beneficiamento do entulho estão surgindo e se sofisticando cada vez mais no mundo. Isso se deve ao fato de muitos empresários estarem percebendo os possíveis benefícios que a reciclagem do entulho pode proporcionar.

Uma das vantagens da reutilização do entulho diz respeito à substituição, em grande parte, dos agregados naturais empregados na produção de concreto, blocos e base de pavimento, além da não ocupação de espaço em aterros sanitários.

As primeiras normas para a utilização de agregados reciclados de concreto ocorreram no Japão, em 1977. Mas somente após 1982 o agregado graúdo reciclado de concreto foi incluído nas normas ASTM C 32-3-82 e C 125-79 e nas especificações de agregado para concreto (HANSEN, 1992). Por razões ambientais e econômicas, vários países vêm adotando a reciclagem, realizada por empresas particulares ou públicas, e assim vem se consolidando os conhecimentos sobre o material da construção civil reciclado, utilizando normas avançadas para a sua aplicação em vários serviços. Estas aplicações variam conforme o país, a oferta e demanda de materiais de construção e resíduos, disponibilidade de locais para disposição, e o rigor das normas relativas a materiais a serem utilizados na construção civil, etc.

Quanto à normalização existente no Brasil, foi publicado recentemente a norma elaborada pela CB-02 Comitê Brasileiro de Construção Civil (NBR – 10004/87) que no seu item 3.3.3 (termos relativos a adições) define o entulho reciclado como material proveniente da moagem de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto ou tijolos maciços, com dimensão máxima característica igual a 2,4mm (LEVY et al, 1997). LIMA (1999), considera sua proposta de texto para especificação de agregado reciclado para uso em concreto, como um primeiro passo no sentido da elaboração de norma de especificação, que segundo o autor terá que sofrer críticas e modificações.

Em 2001 dois grupos de trabalhos, que contam com o apoio do SINDUSCON e do IBRACON através do comitê técnico CT 206 e meio ambiente, foram constituídos com o objetivo de preparar textos básicos que visam à elaboração de documentos intitulados “práticas recomendadas para a utilização de agregados reciclados”, sendo um em pavimentação e outro em concreto (LEVY e HELENE, 2001).

Mesmo com a prática de reciclagem, sempre haverá entulho proveniente do desperdício dos processos construtivos atualmente em vigor. Portanto, a construção civil deve aprimorar a sua forma de trabalho, ao mesmo tempo em que os órgãos públicos deverão adotar medidas de incentivo aos construtores para reciclar, no próprio canteiro, todo o entulho mineral gerado. Somente dessa forma poderá ser amenizado um dos maiores problemas do terceiro milênio, que será gerar espaço físico para deposição de volumes crescentes de material descartado.

No Estado da Paraíba, na Universidade Federal da Paraíba – Campus II, hoje Universidade Federal de Campina Grande, estudos sobre reciclagem de entulho como também a sua reutilização teve início a partir de 1996. Vários trabalhos científicos foram publicados, inclusive uma dissertação de Mestrado (AMORIM, 1999) e tese de doutorado (OLIVEIRA, 2004). Atualmente existem projetos de pesquisas, dissertações e tese de doutorado relacionada com o assunto.

### **2.5.2 – Reciclagem de Entulho da Construção Civil**

É necessário reciclar para que sejam preservados os recursos naturais não renováveis, e que sejam elaboradas 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 têm 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 et al, 1997).

Vantagens da reciclagem de resíduos para produção de novos materiais segundo ENBRI (1994):

- 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) o 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) o pesquisador ou o formulador de políticas públicas, deve-se interessar em buscar dentre os resíduos existentes na região, uma alternativa adequada para a produção de um produto específico e

c) o gerador de 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 serem 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 (**Figura 2.3**).



**Figura 2.2** – Reciclagem de resíduos.

**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 como 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 materiais com resíduos incorporados poderá ocasionar durante o ciclo de vida do material e após a sua destinação final.

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 de hierarquia encontra-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 substâncias 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 importante 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 de 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 de cimento (**JOHN, 1998, 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 de 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 concreto 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).

O entulho é gerado, na substituição de componentes em reformas e reconstrução, no processo construtivo, e muitas vezes por certas deficiências na construção: 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 construções 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 materiais.

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 de construção civil (GRIGOLI, 2000). Ver Figura 2.2.



**Figura 2.3** - Construção no Bairro do Bessa.

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 materiais além do necessário à produção ou manutenção de um bem. A perda física em massa pode não ter o mesmo significado quando analisado 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 causas de ocorrência de resíduos de construção.

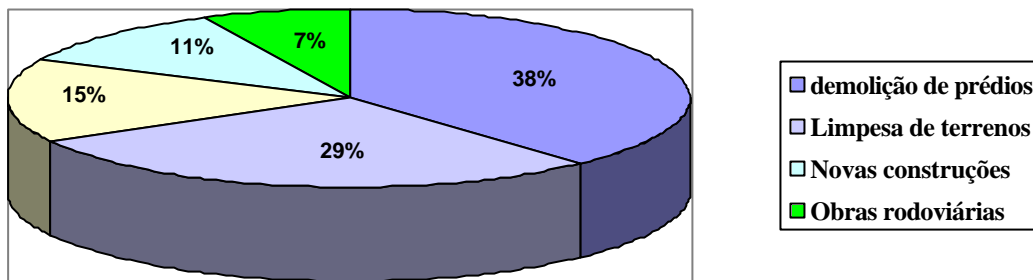
**TABELA 2.2** – Fontes e causas de ocorrência de resíduos de construção

<b>FONTE</b>	<b>CAUSAS</b>
Projeto	Erro nos contratos
	Contratos incompletos
	Modificações de projetos
Intervenção	Erros no fornecimento
	Ordens erradas, ausência ou excesso de ordens
Manipulação de materiais	Danos durante o transporte
	Sobras de dosagens
Operação	Mau funcionamento de equipamentos
	Erros do operário
	Ambiente impróprio
	Dano causado por trabalhos anteriores e posteriores
	Usos de materiais incorretos em substituições
	Sobra de corte
Outros	Resíduos do processo de aplicação
	Vandalismo e roubo
	Falta de controle de materiais e de gerenciamento de resíduos

**Fonte:** GALIVAN, BERNOLD, (1994, MODIFICADO).

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 qualifique 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, 15% para escavações, 11% para novas construções e 7% para obras rodoviárias compõem o montante de entulho (LEVY, 2001).



**Figura 2.4** – Principais fontes geradoras de entulho de construção no Brasil (LEVY, 2001).

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 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 podem-se encontrar os materiais residuais na sua forma final, tal como paredes de alvenaria e pisos revestidos, concretos armados, entre outros.

Nas reformas a falta de cultura de reutilização e reciclagem é a principal causa do entulho gerado pelas demolições.

Segundo NÓBREGA (2002) os maiores constituintes de resíduos da construção civil referente a quinze novas construções pesquisadas no município de Campina Grande são de tijolo e argamassa conforme está apresentando na **Tabela 2.3**, onde estes constituintes estão

relacionados com a fase em que a construção se encontra. A quantidade descartada de resíduos da construção civil foi superior a 2.000 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 2.4**.

**TABELA 2.3** – índices dos principais constituintes do entulho gerado em Campina Grande

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

Fonte: NÓBREGA (2002).

**TABELA 2.4** – 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 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).

**TABELA 2.5** – Composição de entulho nos canteiros de obras em Londrina - PR

Material	Material cerâmico	Argamassa	Gesso	Madeira	Aço
Composição(%)	52	16	15	11	6

Fonte: LEVY et al (1997)

Apresenta-se na **Tabela 2.6** 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 2.6** – Composição do entulho de demolições de Londrina - PR

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

Fonte: LEVY E HELENE (1997)

### 2.5.3 - Vantagens da Reciclagem de Entulho

A grande crise que o mundo passou nos anos 60 pôs fim à época da energia barata e deu início à supervalorização do petróleo. A partir daí, percebeu-se que os recursos energéticos naturais eram esgotáveis e, portanto, medidas de economia e de busca de outras fontes de energia deveriam ser pensadas. Estes efeitos no setor de construção civil fizeram com que muitos engenheiros e arquitetos despertassem para formas alternativas de construção, uma vez que os projetos de construção desde a Revolução Industrial faziam uso em grande escala de materiais industrializados (convencionais), que consomem enormes quantidades de energia, tais como: aço, alumínio, plástico, cimento, entre outros.

A geração de entulho pela indústria da construção civil tem sido nos últimos anos objeto frequente de discussão devido ao desperdício de material, desde a sua extração passando pelo seu transporte e chegando à sua utilização no processo construtivo. Segundo **PINTO** (1994), os materiais reciclados podem gerar produtos com custo inferior ao preço médio dos produtos convencionais, podendo-se produzir materiais componentes construtivos que dependendo da sofisticação tecnológica terão custo entre 45% e 75% inferiores ao preço de mercado.

Reciclar o entulho, dependendo do uso que lhe for dado representa vantagens econômicas, sociais e ambientais, tais como:

- i. **Ambientais** – o impacto destes resíduos ao meio ambiente é muito significativo, seja na forma de depósitos irregulares para os quais a administração pública tem de



estabelecer uma rotina de correção, seja na de bota foras, nos aterros que se extinguem rapidamente, deixando os gestores públicos refém de soluções de destinação cada vez mais distantes e custosas. Em qualquer caso, a deterioração ambiental provocada é muito significativa. Os principais resultados produzidos pela reciclagem de entulho são benefícios ambientais. A equação da qualidade de vida e da utilização não predatória dos recursos naturais é mais importante que a equação econômica. Os benefícios são conseguidos não só por se diminuir a deposição de entulho em locais inadequados (e suas conseqüências indesejáveis como, por exemplo, enchentes e assoreamento de rios e córregos) como também pode se minimizar a necessidade de extração de matérias primas em jazidas, o que nem sempre é adequadamente fiscalizado;

- ii. **Econômicas** – [reciclar é sempre menos oneroso que descartar os resíduos recicláveis. As experiências indicam que é vantajoso economicamente substituir a deposição irregular do entulho pela sua reciclagem]. O custo para a administração municipal é de aproximadamente US\$ 10/ m<sup>3</sup> de entulho depositado clandestinamente, incluindo a correção da deposição e o controle de doenças. Estima-se que o custo da reciclagem significa cerca de 25% desse custo. A produção de agregados com base no entulho pode gerar economias de mais de 80% em relação aos preços dos agregados convencionais. A partir deste material é possível fabricar componentes com uma economia de até 70% em relação a similares com matéria-prima não reciclada. Esta relação pode variar, evidentemente, de acordo com a tecnologia empregada nas instalações de reciclagem, com os custos dos materiais convencionais e com os custos do processo de reciclagem implantado. De qualquer forma, na maioria dos casos, a reciclagem do entulho possibilita o barateamento das atividades de construção (CNOL e SINDUSCON, 2001);
- iii. **Sociais** – as empresas da construção civil precisam assumir sua responsabilidade social com os resíduos gerados no ambiente urbano onde exerce suas atividades e realiza seus negócios. Estes resíduos devem ser visto como fonte de materiais de grande utilidade para a construção civil, transformando-se em matéria-prima para componentes de construção, de qualidade comparável aos materiais tradicionais. O emprego de material reciclado em programas de habitação popular traz bons resultados. Os custos de produção de produtos da infra-estrutura das unidades podem ser reduzidos. Como o princípio econômico que viabiliza a produção de componentes originais do entulho é o emprego de maquinaria e não o emprego de mão-de-obra

intensiva, nem sempre se pode afirmar que a reciclagem do entulho é geradora de emprego.

A fabricação de um determinado produto, utilizando material reciclado, deve prever uma fase inicial de convencimento do mercado para a importância de sua utilização e, principalmente, a necessidade de investimento nessa tecnologia alternativa. A valorização do alternativo como uma opção ao convencional deve possibilitar a geração de um produto com qualidade, estética, produtividade e, o mais importante no aspecto de reciclagem, com potencial para reduzir impactos da poluição ambiental. Para isso, o estudo de viabilidade (técnica, econômica e ambiental) é tarefa de suma relevância na avaliação de cada caso.

Do ponto de vista da viabilidade técnica, o novo produto com uso de material reciclado deve satisfazer aos ditames da ABNT e às solicitações a que estará submetido durante sua utilização. Deve ser funcional para o usuário e com tecnologia simples para ser aplicado. A razão primordial para que qualquer produto tenha absoluto sucesso é sem dúvida o próprio usuário, não aquecendo as necessidades da indústria da construção civil e conseqüentemente os projetistas.

Vale ressaltar que se o novo produto reciclado possuir boas características técnicas, mas ele em si apresentar um elevado impacto ambiental, isto pode tornar inviável sua produção. Deve-se estar atento para o caso quando o novo produto oriundo de resíduo não for reciclável. Existe o risco de se estar no futuro, gerando um aumento na produção de resíduo que irá implicar em maiores problemas ecológicos para as próximas gerações. Assim, torna-se viável em alguns casos, um estudo prévio de como será o comportamento deste resíduo e ele poderá ser tratado e reaproveitado no futuro. É necessário que a população do nosso planeta seja conscientizada a valorizar os produtos reciclados e ecologicamente corretos.

O grande desafio das pesquisas de produtos reciclados é a competição em preço com seu concorrente de mercado, o que não é uma tarefa simples. Isto é resolvido, em parte, quando se tem um processo de reciclagem de fácil obtenção, porém em alguns casos a economia só é perceptível em longo prazo ou de forma indireta, como por exemplo, a economia proporcionada ao uso de matérias-primas naturais (preservação dos recursos naturais), a melhoria da saúde das pessoas pela redução da poluição (menores custos com saúde da população), etc, às vezes, por se tratar de um produto mais conhecido tornar difícil esta composição, levando em conta a estratégia do concorrente baixar o preço de seu produto, como forma de garantir sua fatia no mercado. Para se evitar concorrências desleais, em que o concorrente fabrica bons produtos, porém com males ao meio ambiente, é preciso que as leis

ambientais sejam mais severas para dificultar ou até mesmo, nos casos mais graves, coibir a fabricação de produtos maléficis ao meio ambiente.

#### **2.5.4 - Agregados Reciclados e Atividades Pozolânicas**

Os agregados reciclados apresentam características distintas às dos agregados naturais. Quando o entulho é triturado, uma certa quantidade de argamassa fica aderida aos agregados naturais. Esta camada de argamassa tem uma influência importante sobre o comportamento dos agregados no interior do concreto de Cimento Portland, pois ela induz a uma porosidade suplementar. A quantidade de argamassa que fica aderida, aos agregados naturais depende do tipo de britador para a reciclagem (**QUEBOUD & 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 minerais inertes como argamassas, concretos, componentes de alvenaria e pedras britadas providas de concreto, onde as argamassas e concretos são predominantes na composição.

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.

Atribui-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 et al**, 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 miúda confere ao material uma granulometria mais contínua, essa característica pode conferir diferentes desempenhos para variadas aplicações. Em argamassas, o alto teor de finos pode provocar fissuras (**MIRANDA**, 2000) e em concreto

pode apresentar bom desempenho, pelo arranjo 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 ater-se também aos materiais contaminantes ou impurezas presentes no entulho que, pela dificuldade de remoção antes e após a britagem, se encontram, presente nos agregados. Esses materiais produzem efeitos negativos aos concretos e argamassas, não só as propriedades mecânicas, mas também à durabilidade.

As características dos agregados reciclados dependem: do entulho recepcionado nas instalações de reciclagem 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 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 dos agregados.

As pozolanas são materiais naturais ou artificiais que contém sílica em forma reativa. São materiais silicosos ou sílico-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 a 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 despreendimento de calor, fator importante nas 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 sua resistência são cerca de 10 a 15% superiores aos dos concretos comuns (MEHTA & MONTEIRO, 1994, NEVILLE, 1995; OLIVEIRA, 1995; COUTINHO, 1997).

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 o melhor da resistência a compressão de concretos ou argamassas recicladas, principalmente em idades mais avançadas (LIMA, 1999), devido a uma melhoria da zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado reciclado. 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 apresentam maior influência sobre as propriedades de concreto produzido com agregado reciclado. Uma vez que cada lote de entulho da construção civil apresenta uma composição distinta, as propriedades dos agregados e dos materiais porventura produzidos com o mesmo também apresentam 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.

## 2.6 - 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. Segundo 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 o tipo 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 do 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 do país. O uso do entulho reciclado na obtenção de componentes de construção, como blocos, 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 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 do resíduo da construção, apresenta vantagens ambientais e econômicas, vem recebendo grande impulso no Brasil, com a implantação de recicladoras 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 do 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 a 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, à 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 (entrepostos de depósitos, unidade 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 de conjunto de equipamentos à necessidade do município ou do canteiro de obra, para ajustar o dimensionamento das soluções.



## **CAPÍTULO III**

---

### **3 - MATERIAIS E MÉTODOS.**

#### **3.1 - MATERIAIS**

##### **3.1.1 - Cimento**

Utilizou-se o cimento Portland CP II-Z-32 da marca Poty, que possui um teor de adição de material pozolânico de 6 a 14%, e filler calcário na proporção de 0 a 10% segundo a norma NBR 11578 (ABNT 1991). Nos ensaios realizados encontrou-se uma Massa Unitária igual a  $1,10\text{kg/dm}^3$  e Massa Específica de  $3,10\text{kg/dm}^3$ .

##### **3.1.2 - Cal**

Foi utilizado cal hidratada CH I da marca Carbomil, com Massa Unitária igual a  $0,43\text{kg/dm}^3$ , Massa Específica igual a  $2,27\text{kg/dm}^3$  e 0,91% retido acumulado na #0,075mm.

##### **3.1.3 - Agregado Natural**

O agregado miúdo utilizado foi areia quartzosa. Ela apresenta coloração branca neve como se pode ver na **Figura 3.1**.



**Figura 3.1** – Areia do rio Caxitu

#### **3.1.4 - Agregado Miúdo Reciclado**

Considerando a variabilidade do agregado de entulho em função de sua origem (demolição, reforma e construção), decidiu-se trabalhar apenas com entulho de construção, coletado na cidade de João Pessoa.

A amostra coletada passou por um processo de separação de materiais indesejáveis para o estudo, tais como: plástico, ferro, gesso, vidro, papelão, madeira, etc. **(Figura 3.2)**. O material depois de selecionado e separado a parte contendo alvenaria com reboco, foi colocado em sacos plásticos e armazenado em ambiente protegido no Laboratório, para evitar o contato direto com umidade e a contaminação com outros materiais.

Todo o entulho coletado foi conduzido até o Laboratório de Materiais do DNIT (antigo DNER), atualmente pertencente ao CEFET-PB (Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba) em João Pessoa e em seguida foi triturado em um britador de mandíbulas **(Figura 3.3)** ajustado para obter a granulometria desejada. O entulho depois de triturado **(Figura 3.4)** foi submetido a um peneiramento a fim de se obter o agregado miúdo a ser utilizado na Pesquisa **(Figura 3.5)**.



**Figura 3.2** - Resíduo usado



**Figura 3.3** – Britador de mandíbulas



**Figura 3.4** – Material triturado



**Figura 3.5** – Agregado miúdo

### 3.1.5 Água

Foi usada água fornecida pelo Sistema de Abastecimento de Água da UFPB, apresentando cor transparente, sem presença de sais ou qualquer impureza ou odor, com qualidades ideais para uso na construção civil.

### 3.1.6 - Superplastificante

Foi usado aditivo químico Superplastificante à base de éter carboxílico modificado, no caso Glenium 51 da MBT Brasil.

### **3.2 - CAMPO DE ATUAÇÃO:**

Setor da Construção Civil, Cidade de João Pessoa. Área de Estudo: Engenharia Urbana, sub-área: materiais de construção, específica argamassas para revestimento.

#### **3.2.1 - Tipo de Pesquisa: de Campo e de Laboratório**

A pesquisa de campo visa coletar informações que justifique a utilização dos resíduos de construção na fabricação de argamassas.

A pesquisa de laboratório visa demonstrar, de acordo com as Normas Técnicas, a possibilidade de reutilizar os resíduos gerados pela construção civil de João Pessoa.

#### **3.2.2 - Técnica de Coleta de Dados**

✓ **Observação direta intensiva.**

Esta etapa da pesquisa foi feita visitando a grande maioria dos bairros da cidade de João Pessoa e observando diretamente as deposições irregulares de resíduos de construção e demolição feitas pelos Construtores, Coletoras de Resíduos e/ou moradores.

✓ **Entrevista, através de roteiro estruturado.**

Trata-se de um roteiro de perguntas enunciadas pelo entrevistador e preenchidas por ele com as respostas do pesquisado, sobre a quantidade de resíduos coletados por cada Empresa Coletora, os pontos de coletas, os principais componentes do entulho coletado, o destino final do material coletado e a distância de deslocamento. O roteiro de entrevista encontra-se em anexo.

✓ **Ensaio de laboratório.**

No **LABEME** (Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas) do Centro de Tecnologia da UFPB, foram realizados os ensaios físicos e mecânicos apresentados na **Tabela 3.1**, para:

- a) caracterização do material;
- b) estudo da argamassa produzida;
- c) comportamento da argamassa de assentamento.

**TABELA 3.1 – Ensaio de Laboratório.**

Materiais	Massa Unitária	NBR 7251/82
	Massa Específica	NBR 6508/84 e NBR 9776
	Granulometria	NBR 7181 e NBR 7217/87
	Inchamento	NBR 6467/87
	Impurezas Orgânicas	NBR 7220/87
Argamassa	Resistência à Compressão	NBR 13279/95
	Resistência de Aderência	NBR 13528/95 e NBR 13749/96
	Absorção de Água por Imersão	NBR 9778/87
Comportamento da Argamassa de assentamento	Res. à Compressão de Tijolo Cerâmico	NBR 13279/95
	Res. à Comp.da argamassa de assentamento	NBR 13279/95
	Res. à Comp. de Prismas com dois Tijolos.	NBR 13279/95

**3.3 - ETAPAS DE PESQUISA:**

O estudo seguiu as seguintes etapas:

- 1) revisão bibliográfica - foi realizada através de consulta a documentos impressos e informações em Internet;
- 2) identificação do volume de resíduos gerados - foi feita através de visitas às Coletoras de Resíduos;

- 3) situação atual da deposição final dos resíduos – foi obtido através de visitas e aplicação de questionários junto às Empresas Coletoras;
- 4) identificação dos principais componentes dos resíduos – foi feita por amostragem em visitas às obras e construtoras;
- 5) estudo do aproveitamento dos resíduos reciclados em argamassas - realizou-se através de ensaios experimentais, conforme segue:

Inicialmente foram coletados entulhos produzidos nas obras de construção civil em João Pessoa, e procedeu-se conforme descrito no item 3.1.4, procurando separar criteriosamente todos os componentes existentes nesses entulhos.

Após a caracterização dos materiais, foram executados traços unitários em volume 1:2:8 (cimento:cal:agregado) com agregado miúdo reciclado em substituição ao agregado miúdo natural nos teores de: 0%, 10%, 25%, 50%, 75% e 100%, para determinação da resistência à compressão conforme NBR 13279 (ABNT 1995).

A opção pelo traço 1:2:8 foi feita por se tratar de um traço geralmente adotado nas construções locais, merecendo um estudo da sua resistência e desempenho.

A absorção de água por imersão da argamassa endurecida foi determinada de acordo com a NBR 9778 (ABNT 1987).

A resistência de aderência à tração da argamassa com agregado natural e da argamassa com 100% de agregado reciclado foi obtida conforme NBR 13528 (ABNT 1995)

Para se ter idéia do desempenho das argamassas na elevação de alvenarias, foram confeccionados prismas com dois tijolos cerâmicos assentados com argamassa com agregado natural e com 100% de agregado reciclado. O traço permaneceu 1:2:8. Os prismas foram capeados nas duas faces antes do ensaio de resistência à compressão (**Figura 3.6**).

Todas as argamassas foram testadas na consistência padrão, medida de acordo com a NBR 13279 (ABNT 1995). A resistência à compressão foi determinada aos 07 e 28 dias, segundo a NBR 13279 (ABNT 1995).



**Figura 3.6** - Capeamento de Prismas de Tijolos Cerâmicos

### **3.4 - TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.**

Os resultados dos ensaios de caracterização foram obtidos em três repetições e adotado o valor médio.

Já o resultado da resistência à compressão foi considerado como a média de quatro corpos de provas.

Na obtenção da resistência de aderência à tração foram determinados seis valores conforme a NBR 13749 (ABNT 1996).

Foram verificados, ainda, aspectos que têm relevância na utilização do resíduo com agregado miúdo aproveitável em argamassas de revestimento e assentamento. Assim, foram observados os aspectos relacionados ao material reciclado, as condições para coleta, as condições de cura dos corpos de prova, a textura do revestimento, a fluidez, a exudação, etc.

## CAPÍTULO IV

---

### 4 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 4.1 - ASPECTOS SOBRE OS RESÍDUOS GERADOS NA CIDADE DE JOÃO PESSOA

##### 4.1.1 - Estimativa dos Resíduos Gerados pela Construção Civil na Cidade de João.Pessoa.

A Cidade de João Pessoa tem aproximadamente 700.000 habitantes e é considerada uma cidade de porte médio com um acelerado processo de desenvolvimento da construção civil, principalmente nos bairros que acompanham a costa marítima. Casas residenciais são demolidas dando lugar a construções de espigões (**Figura 4.1**) para apartamentos residenciais multifamiliares sufocando as demais residências unifamiliares ali existentes.



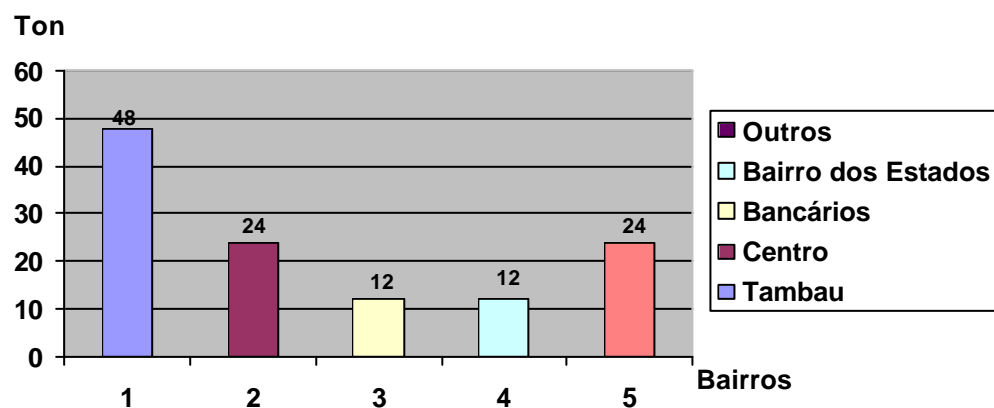
**Figura 4.1** – Residências são demolidas dando lugar a construção de espigões residenciais.



Este processo gera grande quantidade de resíduos de construção e de demolição, e seu crescente incremento fez com que fossem implantadas na cidade quatro Empresas Coletoras de Entulhos de Construção, que doravante são chamadas de **Coletora A**, **Coletora B**, **Coletora C**, e **Coletora D**. Estas Empresas trabalham basicamente com a retirada e deposição final dos resíduos gerados pela Indústria da Construção Civil na Cidade de João Pessoa e juntas afirmam coletar aproximadamente 3.760 ton/mês (média de 2003). Na maioria dos casos, o destino final é o Aterro Sanitário do Consórcio da Grande João Pessoa. Como o Aterro Sanitário atualmente se encontra a uma distância média de 25 km do local da coleta (bairros do Bessa, Manaira, Tambaú, Cabo Branco e outros) e ainda se paga uma taxa de R\$ 7,50 (sete reais e cinquenta centavos) por tonelada de resíduo depositado, é de se imaginar que muitos destes resíduos têm destino final ignorado.

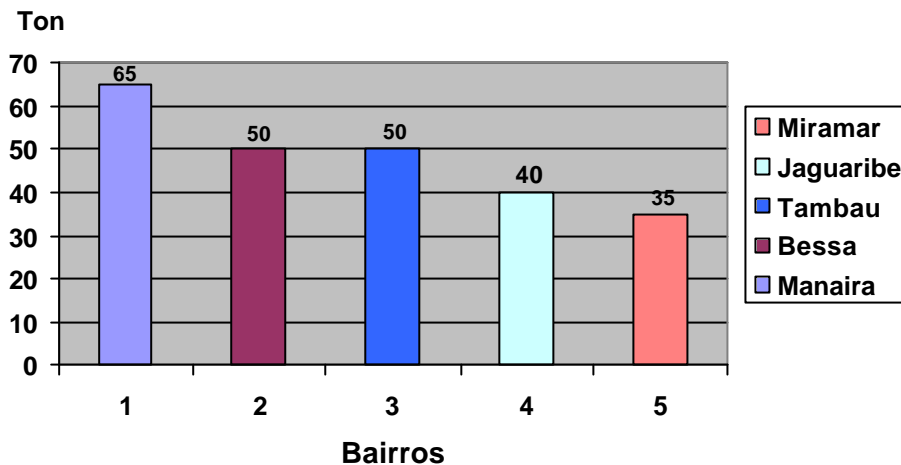
#### 4.1.2 – Identificação dos Locais de Deposição Final dos Resíduos de Construção e de Demolição

A Empresa **Coletora A** atua principalmente nos bairros de Tambaú, Centro, Bancários, Bairro dos Estados e outros em menor proporção, recolhendo mensalmente aproximadamente 120 ton de resíduos (**Figura 4.2**), e afirma que 70% dos resíduos coletados destina-se ao Aterro Sanitário e aproximadamente 30% são depositados em locais de acordo com a solicitação do gerador ou construtor.



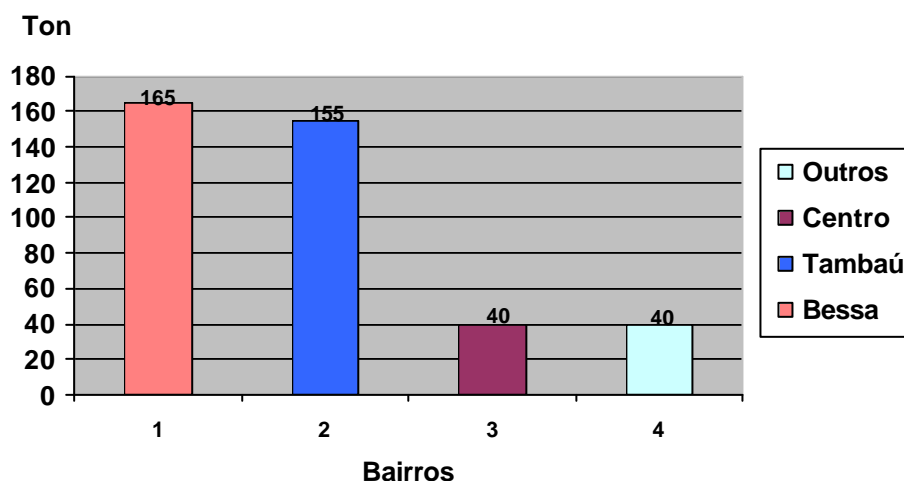
**Figura 4.2** – Principais bairros onde atua a **Coletora A**

A Empresa **Coletora B** atua principalmente nos bairros de Tambaú, Manaira, Bessa, Jaguaribe, Miramar e outros em menor proporção, recolhendo mensalmente aproximadamente 240 ton de resíduos (**Figura 4.3**), e afirma que 100% dos resíduos coletados destinam-se ao Aterro Sanitário.



**Figura 4.3** - Principais bairros onde atua a Coletora B

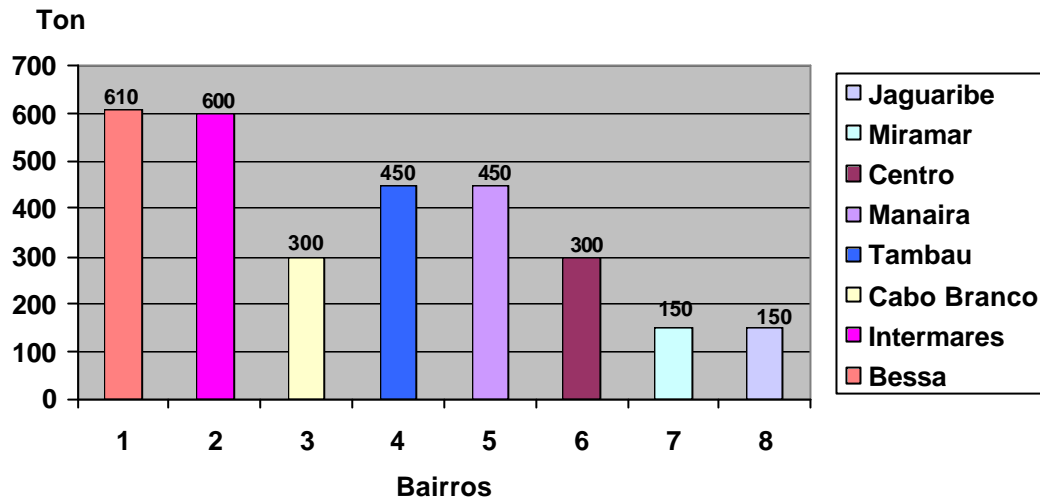
A Empresa **Coletora C** atua principalmente nos bairros de Tambaú, Centro, Bessa e outros, recolhendo mensalmente aproximadamente 400 ton de resíduos (**Figura 4.4**), e também afirma que 100% dos resíduos coletados destinam-se ao Aterro Sanitário.



**Figura 4.4** – Principais Bairros onde atua a Coletora C

A Empresa **Coletora D** atua principalmente nos bairros de Tambaú, Centro, Cabo Branco, Intermars, Bessa, Manaira, Miramar, Jaguaribe e outros em menor proporção,

recolhendo mensalmente aproximadamente 3.000 ton de resíduos (**Figura 4.5**), e afirma que 30% dos resíduos coletados destinam-se ao Aterro Sanitário e aproximadamente 70% são depositados em locais de acordo com a solicitação do gerador ou construtor.



**Figura 4.5** – Principais Bairros onde atua a Coletora D

Em João Pessoa, a maioria das construções e demolições são ainda uni familiares e executadas pelos proprietários, que geralmente acumulam os seus resíduos dentro do próprio terreno, não contratam coletores de resíduos e descartam estes materiais, na primeira oportunidade, em qualquer terreno baldio da proximidade. Em alguns casos contratam qualquer transporte de aluguel que geralmente coletam em horário noturno e fazem o despejo em terrenos baldios, margens de estradas, margens de rios, cursos d'água ou qualquer área de depressão.

Grande parte do solo que constitui o espaço urbano da Cidade de João Pessoa é predominantemente área de depressão. No período chuvoso, o nível do lençol freático sobe formando verdadeiros alagadiços. Isto faz com que os proprietários de terrenos destas áreas despertem o interesse em colocarem verdadeiros aterros nos terrenos, sem nenhum critério ou seleção de material. Com o aterramento de determinados terrenos, a água da chuva perde o seu espaço natural e as ruas ficam intransitáveis. Fossas residenciais não resistem a pressão das águas, superlotam e transbordam contaminando todas as áreas circunvizinhas causando problemas de natureza ambiental.

Estes procedimentos irregulares provocam grandes prejuízos na cidade, poluindo e proporcionando enchentes e inundações nos períodos chuvosos, por obstruir galerias pluviais e interferindo no caminho natural das águas.

Até o ano de 2003 observaram-se deposições irregulares em vários bairros da cidade e em grande quantidade, como se vê na Figura 4.6, certamente por não existirem critérios rigorosos de fiscalização os geradores de resíduos e as Empresas Coletoras agiam com mais liberdade poluindo o meio ambiente. Depois que a Resolução nº 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) entrou em vigor (a partir de fevereiro de 2004), responsabilizando os construtores e geradores dos resíduos pelo seu destino final, a paisagem da cidade melhorou muito e hoje não se observa com frequência grandes volumes de resíduos de construção lançados em qualquer terreno baldio. Após a Lei entrar em vigor, as Empresas Construtoras estão levando a sério e fazendo o dever de casa como recomendado.

Ainda é comum encontrar pequenas frações de resíduos lançados em qualquer lugar. O que está faltando é uma fiscalização mais constante por parte da Prefeitura local nas pequenas reformas e construções evitando assim as pequenas deposições nas esquinas, nas praças públicas, nos terrenos baldios e demais lugares vulneráveis a este tipo de ação.

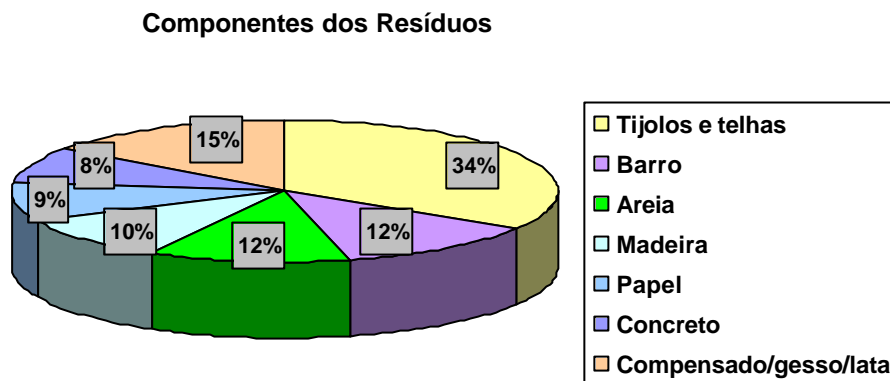


**igura 4.6**

#### **4.1.3 – Principais Componentes dos Resíduos Gerados pela Construção Civil em João Pessoa.**

De acordo com as informações prestadas pelas Empresas Coletoras, os principais componentes dos resíduos coletados na cidade de João Pessoa, são os apresentados na **Figura 4.7**. Os demais componentes encontram-se em porcentagens insignificantes, porém devem ser separados no momento de se fazer o reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos, a fim de não prejudicar a qualidade do material resultante. Como se podem ver, tijolos e telhas

representam um percentual bastante significativo com 34% de todo o resíduo coletado e logo em seguida, areia e o barro com 12% cada, e concreto com 8%. Estes componentes juntos representam mais de 50% de todo o resíduo de construção coletados em nossa cidade e, na maioria das vezes desperdiçados, apesar de poderem ser reutilizados.



**Figuras 4.7** – Principais componentes presentes nos resíduos coletados da indústria da construção civil em João Pessoa.

## 4.2 – ESTUDO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CERÂMICOS

### 4.2.1 – Caracterização dos Agregados

#### a) Agregado miúdo natural

Os ensaios de caracterização do agregado miúdo natural conduziram aos seguintes resultados:

- Dimensão Máxima 4,80mm
- Módulo de Finura 2,02;
- Massa Específica  $M_E = 2,63\text{kg/dm}^3$  ;
- Massa Unitária  $M_U = 1,66\text{kg/dm}^3$  ;
- Inchamento da Areia  $I = 28\%$ ;
- Umidade Crítica = 4% e

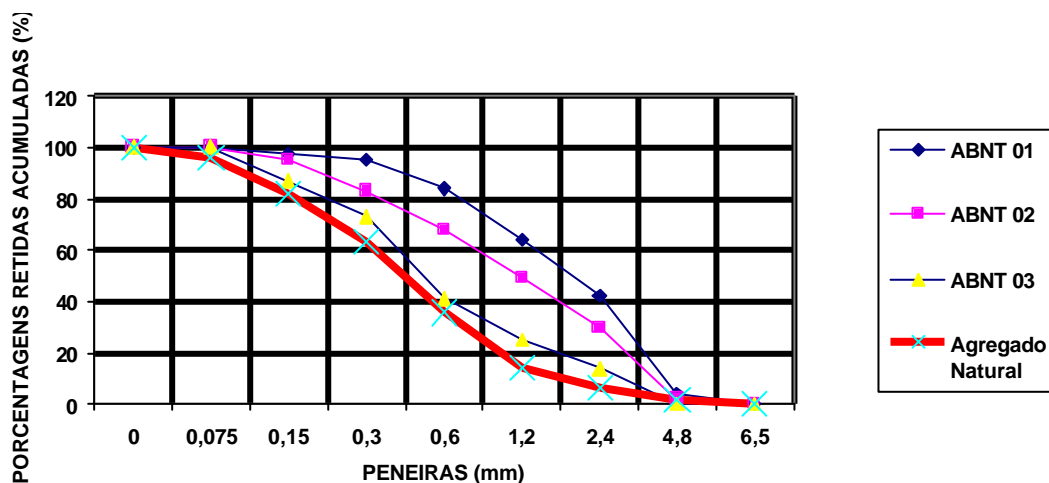
- Presença de Impureza orgânicas o que não inviabilizou sua utilização na pesquisa.

A **Tabela 4.1** indica as percentagens retidas e retidas e acumuladas nas diversas peneiras do ensaio granulométrico.

**Tabela 4.1** – Granulometria do agregado miúdo natural (NBR 7217)

Peneiras (mm)	Porcentagem retida	Porcentagem retida acumulada
4,8	1,69	1,69
2,4	4,48	6,17
1,2	7,78	13,95
0,6	21,57	35,52
0,3	27,58	63,1
0,15	18,72	81,82
0,075	13,78	95,6
Resíduo	4,38	99,98

**Dimensão Máxima = 4,8mm Módulo de Finura = 2,02**



**Figura 4.8** – Curva de composição granulométrica do agregado miúdo natural

A **Figura 4.8** mostra que o agregado miúdo apresentou curva granulométrica fora da faixa ideal indicada na NBR 7217 (ABNT 1987). Isto não inviabiliza seu uso, apenas, para a mesma quantidade de aglomerante, baixa ligeiramente a resistência, ou para manter a resistência, conduz a necessidade de um pouco mais de aglomerante.

A Massa Específica das areias de rio da grande João Pessoa apresentam valores na faixa de 2,62 a 2,65kg/dm<sup>3</sup> por não conterem minerais pesados ou leves.

A Massa Unitária de 1,66kg/dm<sup>3</sup> é mais alta que a de outras areias de rio da região de João Pessoa que apresentam Massa Unitária em torno de 1,50kg/dm<sup>3</sup>.

#### b) Agregado miúdo reciclado

O agregado miúdo obtido dos resíduos de construção apresentou as seguintes características:

- Dimensão Máxima = 4,80mm
- Módulo de Finura = 2,45
- Massa Específica = 2,50kg/dm<sup>3</sup>
- Massa Unitária = 1,23kg/dm<sup>3</sup>
- Inchamento da Areia = 29%
- Umidade Crítica= 8,00%;
- Ausência de Impurezas orgânicas de acordo com a NBR 7220 (ABNT 1987).

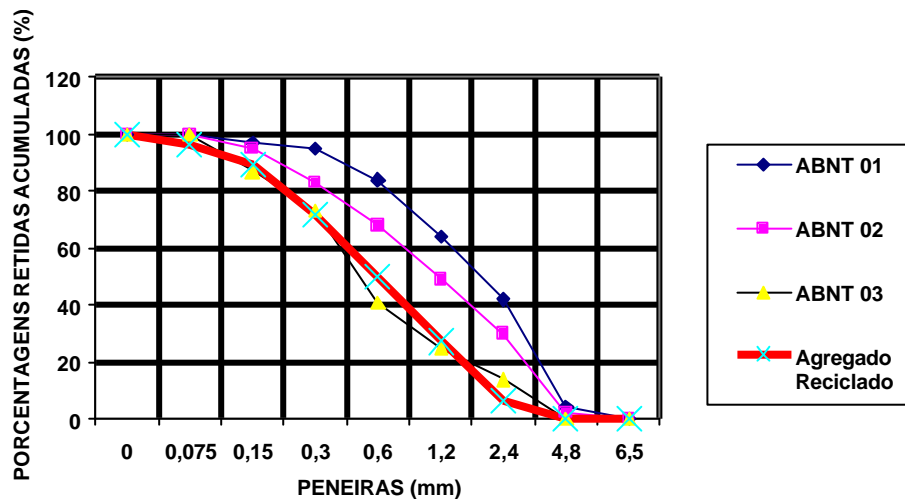
A composição do entulho foi observada visualmente e detectada a presença apenas de argamassa e tijolos cerâmicos furados, sem a presença de concreto ou qualquer outro componente do entulho de construção.

Na **Tabela 4.2** têm-se os resultados da granulometria por peneiramento do agregado reciclado de acordo com a NBR 7217 (ABNT 1987).

**Tabela 4.2** – Granulometria do agregado miúdo reciclado

Peneiras (mm)	Porcentagem retida	Porcentagem retida acumulada
4,8	0	0
2,4	6,77	6,77
1,2	20,53	27,3
0,6	22,8	50,1
0,3	21,82	71,92
0,15	17,37	89,29
0,075	7,03	96,32
Resíduo	3,69	100

Dimensão Máxima = 4,8mm Módulo de Finura = 2,45

**Figura 4.9** – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado

A **Figura 4.9** indica que a curva de composição granulométrica do agregado miúdo reciclado enquadrou-se quase cem por cento dentro da faixa ideal recomendada pela NBR 7217 (ABNT 1987).

A Massa Específica igual a  $2,50\text{kg/dm}^3$  foi inferior ao agregado miúdo natural. Isto pode ser devido ao fato de ele conter grande quantidade de grãos proveniente de blocos cerâmicos e uma menor quantidade de grãos silicosos.

A Massa Unitária igual a  $1,23\text{kg/dm}^3$  foi inferior ao agregado miúdo natural. Isto pode ser devido à presença de grande porcentagem de grãos resultante da trituração de pedaços de



blocos cerâmicos, bem como pela alta porosidade dos grãos, resultando num material bastante leve em relação ao agregado natural.

Executado o ensaio qualitativo de Impurezas orgânicas do agregado reciclado não foi detectado presença de impurezas conforme o resultado do experimento na **Figura 4.10** a baixo. No mesmo ensaio com agregado natural foi detectado a presença de impurezas o que não impediu a sua utilização na continuidade dos trabalhos.

✓ **Impurezas orgânicas NBR 7220 (ABNT 1987)**



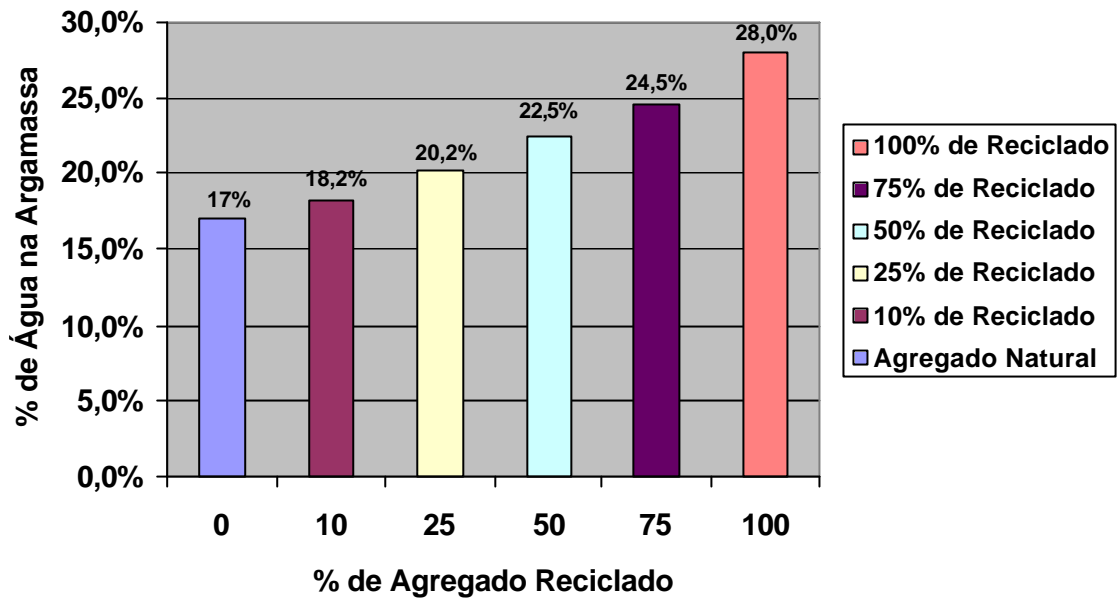
**Figura 4.10** – Impurezas orgânicas do agregado reciclado

#### 4.2.2 - Argamassa no Estado Fresco

A quantidade de água presente na argamassa influi decisivamente no seu desempenho no estado fresco. Aqui foi sempre utilizada a consistência padrão de acordo com a NBR 13279 (ABNT 1995).

O agregado reciclado, em virtude da presença das partículas originadas principalmente dos tijolos cerâmicos, exige mais quantidade de água para se chegar à mesma consistência. Na **Figura 4.11** pode se ver o valor médio das porcentagens de água, em relação aos materiais secos, necessária para se atingir a consistência padrão. Observa-se que a substituição de 50% do agregado natural pelo reciclado já exige mais de 30% de água.

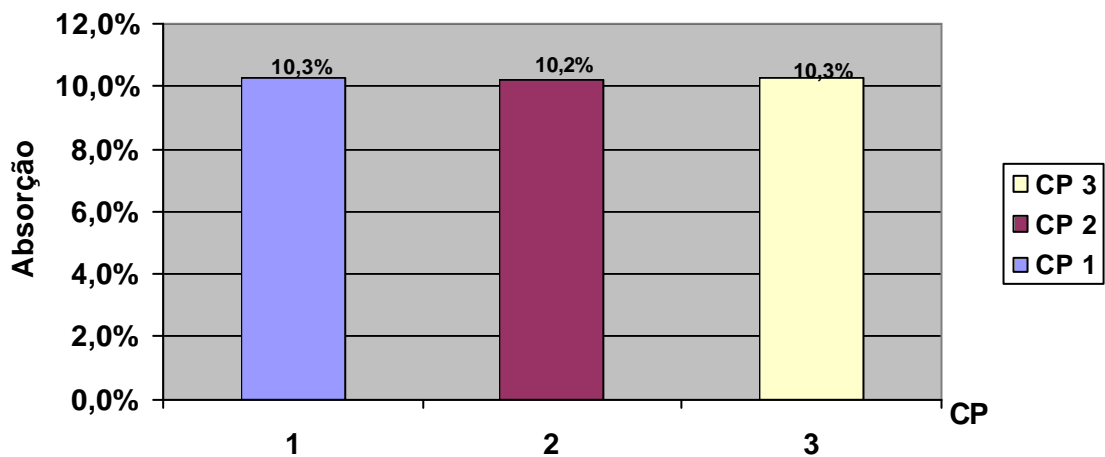
Já quando se tem apenas agregado reciclado a demanda de água aumentou mais de 60% em relação à argamassa de referência.



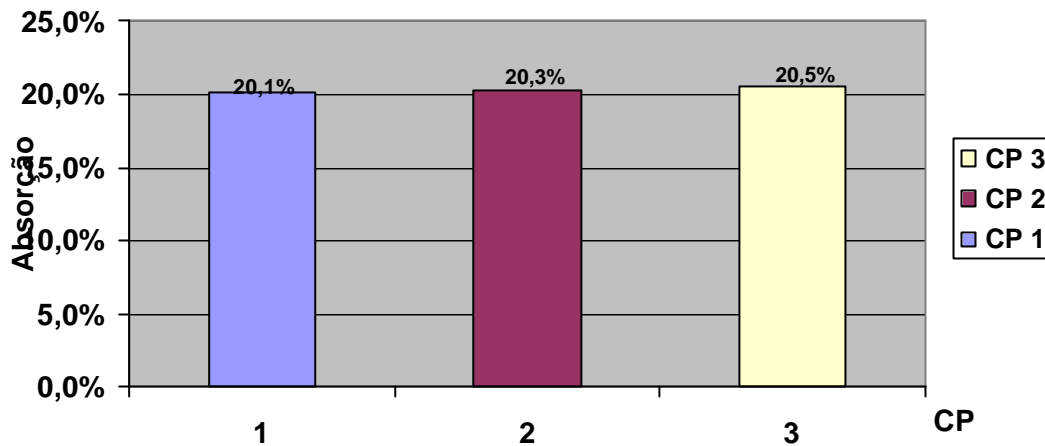
**Figura 4.11** – Percentagem de água necessária para a argamassa atingir a consistência padrão (NBR 13279/95) em função da porcentagem de agregado reciclado

#### 4.2.3 - Propriedades Físicas das Argamassas Endurecidas

Na **Figura 4.12 e 4.13** pode-se ver a Absorção das argamassas de referência e com 100% de agregado reciclado.



**Figura 4.12** – Absorção da Argamassa Endurecida confeccionada com Agregado Miúdo Natural (NBR 9778/87)



**Figura 4.13**– Absorção da Argamassa Endurecida confeccionada com Agregado Miúdo Reciclado (NBR 9778/87)

Observa-se que a argamassa com agregado miúdo natural tem uma absorção de aproximadamente 10%, enquanto que a argamassa com agregado miúdo reciclado esta absorção é da ordem de 20%. A maior absorção da argamassa com agregado reciclado ocorre porque com ele é necessário uma maior porcentagem de água para se alcançar a consistência padrão. Quando o material endurece a evaporação da água deixa a argamassa com maior porosidade. Além disso, as partículas de cerâmica absorvem muito mais água que as partículas do agregado natural.

#### 4.2.4 - Resistência de Aderência à Tração da Argamassa NBR 13528 (ABNT 1995)

A **Tabela 4.3** indica a resistência de aderência à tração das argamassas aos 28 dias, aplicadas como revestimento sobre alvenaria chapiscada.

O chapisco foi executado por equipes anteriores, com areia média procedente de um depósito de materiais de construção local. Não foi utilizado agregado reciclado no chapisco. Na **figura 4.14** vê-se a execução do ensaio.

Observa-se que o chapisco é quem garante a resistência de aderência da argamassa com agregado miúdo reciclado.

Normalmente estes ensaios apresentam uma grande dispersão nos resultados. Tanto é que a NBR 13528 (ABNT 1995), que trata da Resistência de Aderência à Tração da Argamassa, o reboco de teto e de parede deve ter em pelo menos 4 de seis medidas efetuadas, resistência mínima à tração de no mínimo 0,20 MPa aos 28 dias.

**Tabela 4.3** - Resistência de Aderência da à Tração da Argamassa aos 28 dias (Traço: 1:2:8)

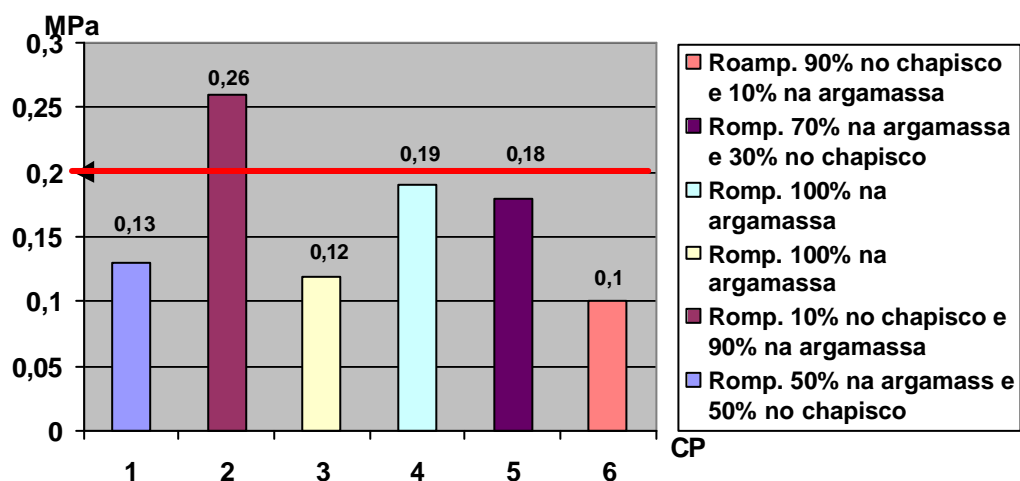
	C. PROVAS	ÁREA(Cm <sup>2</sup> )	Res. Max. (MPa)	DETALHES DA FRATURA
Revestimento no chapisco (Agregado Natural)	01	10x10 = 100	0,13	Rompimento 50% no chapisco e 50% na argamassa
	02	10x10 = 100	0,26	Rompimento 10% no chapisco e 90% na argamassa
	03	10x10 = 100	0,12	Rompimento 100% na argamassa
	04	10x10 = 100	0,19	Rompimento 100% na argamassa
	05	10x10 = 100	0,18	Rompimento 70% na argamassa e 30% no chapisco
	06	10x10 = 100	0,10	Rompimento 90% no chapisco e 10% na argamassa
Revestimento no chapisco (Agregado Reciclado)	07	10x10 = 100	0,46	Rompimento 100% na argamassa
	08	10x10 = 100	0,19	Rompimento 80% no chapisco e 20% na argamassa
	09	10x10 = 100	0,45	Rompimento 100% na argamassa
	10	10x10 = 100	0,35	Rompimento 70% no substrato e 30% na argamassa
	11	10x10 = 100	0,19	Rompimento 90% na argamassa e 10% no chapisco
	12	10x10 = 100	0,43	Rompimento 100% na argamassa
Revest.imento s/chapisco (Agregado Reciclado)	13	10x10 = 100	0,18	Rompimento 90% no substrato e 10% na argamassa
	14	10x10 = 100	0,14	Rompimento 100% no substrato (alvenaria)
	15	10x10 = 100	0,08	Deslocamento da pastilha na colagem
	16	10x10 = 100	0,26	Rompimento 50% no substrato e 50% na argamassa
	17	10x10 = 100	0,17	Rompimento 100% no substrato
	18	10x10 = 100	0,18	Rompimento 90% no substrato e 10% na argamassa



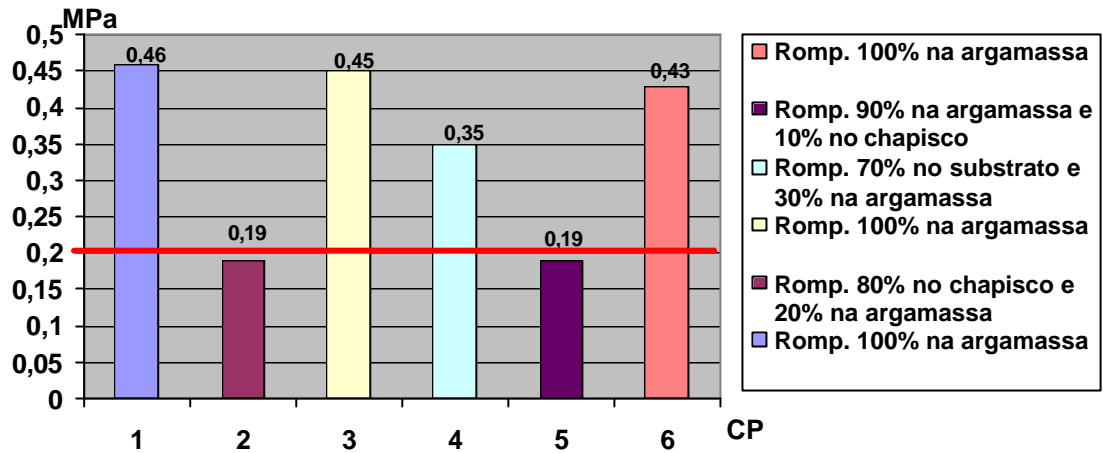
**Figura 4.14**– Arrancamento das pastilhas no teste de Resistência de Aderência a Tração das Argamassas.

Nas **Figuras 4.15, 4.16 e 4.17** encontram-se os resultados da **Tabela 4.3** na forma de gráfico.

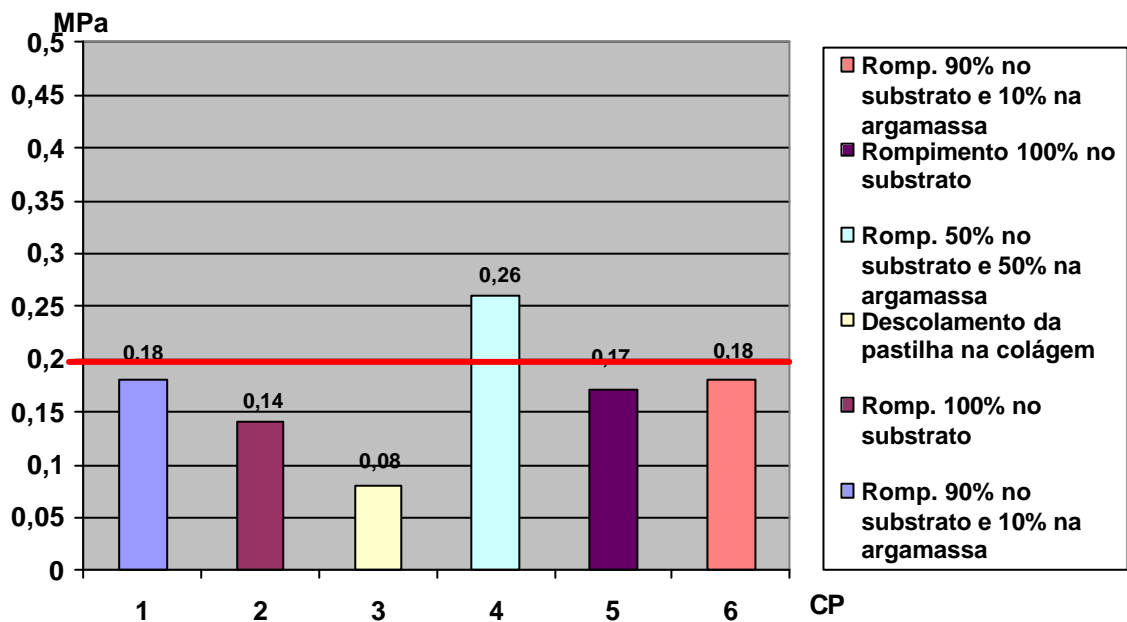
Observa-se que a argamassa com agregado reciclado apresentou resistência de aderência à tração superior àquela com agregado natural. A razão pode ser a maior capacidade de retenção de água do agregado reciclado. Em ambiente de temperatura relativamente elevada como é o caso do Laboratório onde foram feitos os testes (27°C-30°C) a perda de água por evaporação no reboco aplicado é grande, logo após a aplicação, além da absorção de água no contato com o chapisco. Como a argamassa com agregado reciclado retém muito mais água, permite uma maior hidratação do cimento, fortificando a ligação reboco-chapisco.



**Figura 4.15** - Resistência de Aderência à Tração da argamassa com Agregado Miúdo Natural “Revestimento no chapisco”



**Figura 4.16** - Resistência de Aderência à Tração da argamassa com Agregado Miúdo Reciclado “Revestimento no chapisco”



**Figura 4.17** - Resistência de Aderência à Tração da argamassa com Agregado Miúdo Reciclado “Revestimento sem chapisco”

Como se vê, nos experimentos com agregado miúdo natural em revestimento no chapisco, observa-se que somente o CP de N.º 2 apresenta resistência satisfatória de 0,26 MPa.

No reboco feito com argamassa de agregado miúdo reciclado no revestimento com chapisco, os resultados foram bastante satisfatórios apresentando quatro resultados positivos

de seis experimentos e apenas dois nos limites da faixa indesejável, caracterizando, portanto, uma boa aderência da argamassa no chapisco.

Os resultados obtidos dos experimentos da resistência de aderência no reboco de argamassa com agregado miúdo reciclado, aplicado na alvenaria sem chapisco, por não se ter uma boa aderência ao substrato, não atendeu às especificações da Norma resultando em valores muito baixo com apenas um ponto satisfatório.

#### 4.2.5 Resistência à Compressão Simples da Argamassa

A **TABELA 4.4** apresenta os valores médios de resistência à compressão das argamassas quando se varia a porcentagem de agregado reciclado. As séries variadas foram feitas para se verificar a repetitibilidade dos resultados, tendo apresentado o mesmo comportamento aos 7 e 28 dias.

**TABELA 4.4** - Resistência à Compressão Simples da Argamassa

Traço: 1:2:8 (cimento:cal:areia)

Traço: 1:2:8	Res. a Compressão aos 7 dias (MPa)				Res. a Compressão aos 28 dias (MPa)			
	1ª série	2ª série	3ª série	4ª série	1ª série	2ª série	3ª série	4ª série
Ag. Natural	3,0	2,9	2,8	2,9	4,1	3,9	4,0	4,1
10% Reciclado	2,6	2,5	2,4	2,2	3,6	3,4	3,4	2,8
25% Reciclado	2,2	2,3	2,2	1,6	2,3	3,3	3,0	2,0
50% Reciclado	1,5	2,2	2,1	1,6	1,9	3,1	3,0	2,2
75% Reciclado	1,7	2,1	2,2	1,6	2,7	3,2	3,2	2,3
100% Reciclad	1,8	2,2	2,3	1,8	3,3	3,4	3,5	3,2

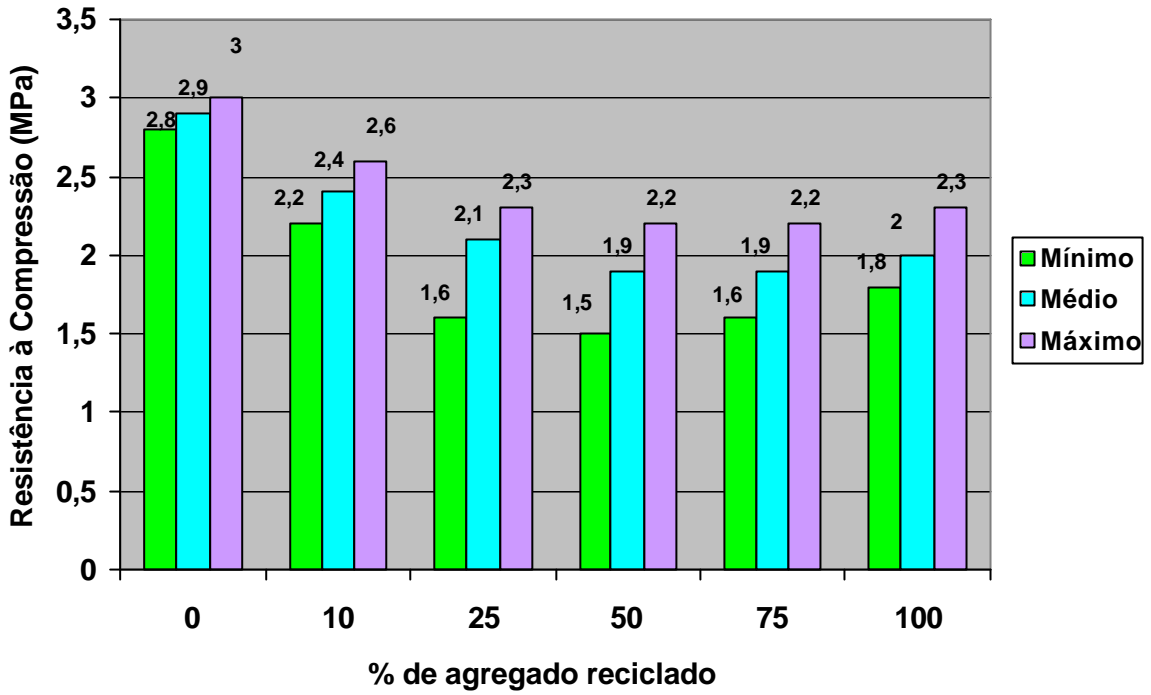


Figura 4.18 Resistência á Compressão da argamassa endurecida aos 7 dias

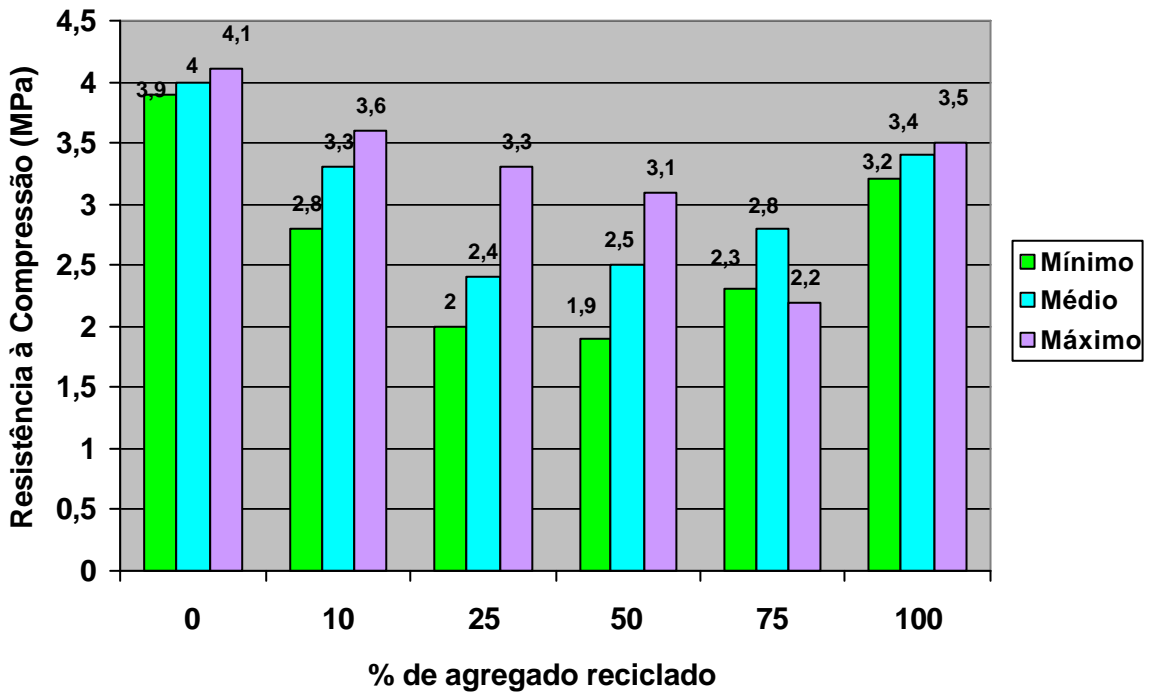


Figura 4.19 Resistência á Compressão da argamassa endurecida aos 28 dias



As **Figuras 4.18 e 4.19** mostram que a resistência das argamassas decresce com o aumento do teor de substituição até 50%. Com 75% de substituição há um ligeiro aumento de resistência. Com 100% de agregado reciclado há uma recuperação de resistência porém ela não se iguala à da argamassa só com agregado natural.

Também se nota que quando se misturam os dois agregados, a dispersão dos resultados cresce. Por exemplo, aos 28 dias com 50% de agregado natural e 50% de agregado reciclado, a diferença entre o valor mínimo e máximo das médias das 4 séries testadas foi de 1,22 MPa, ao passo que no caso do agregado natural ela ficou em 0,20 MPa e no caso de 100% do agregado reciclado, 0,29 MPa.

Os resultados apresentados nas **Figuras 4.18 e 4.19** sugerem que o uso de 100% de agregado reciclado nas argamassas por reter mais água e com isto haver maior hidratação do cimento, se tem uma resistência aos 28 dias bem próximo da resistência da argamassa com 100% de agregado natural

Na **TABELA 4.5** têm-se resultados de uma 4ª série na qual se têm ensaios até 90 dias de idade. Vê-se que quando o agregado reciclado está presente, o aumento de resistência entre 28 dias e 90 dias foi irrelevante. Observa-se também a mesma tendência de evolução da resistência com o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado.

Já a argamassa com agregado natural tem-se ganho da ordem de 15%.

**TABELA 4.5** - Resistência à Compressão Simples da Argamassa

Traço: 1:2:8 (cimento:cal:areia)

Traço: 1:2:8	Res. à Comp. aos 7 dias (MPa)	Res. à Comp. aos 28 dias (MPa)	Res. à Comp. aos 90 dias (MPa)
	4ª Série	4ª Série	4ª Série
Ag. Natural	2,8	4,0	4,6
10% Reciclado	2,4	3,4	3,4
25% Reciclado	2,2	3,0	3,0
50% Reciclado	2,1	3,0	3,0
75% Reciclado	2,2	3,2	3,3
100% Reciclad	2,3	3,5	3,6

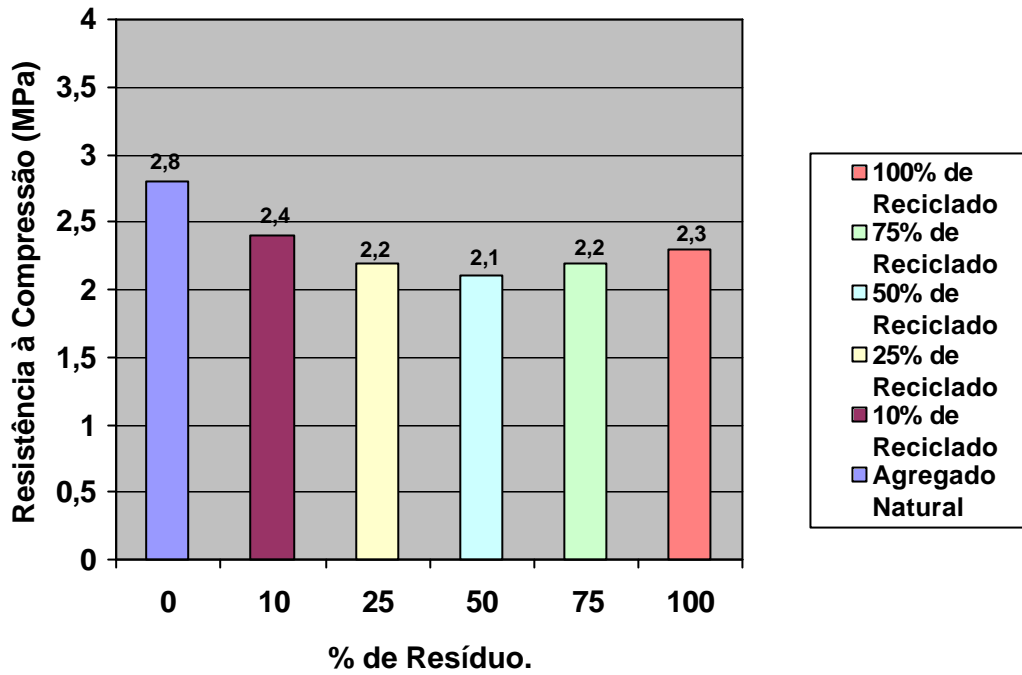


Figura 4.20 – Resistência à Compressão Simples da Argamassa aos 7 dias (4ª série)

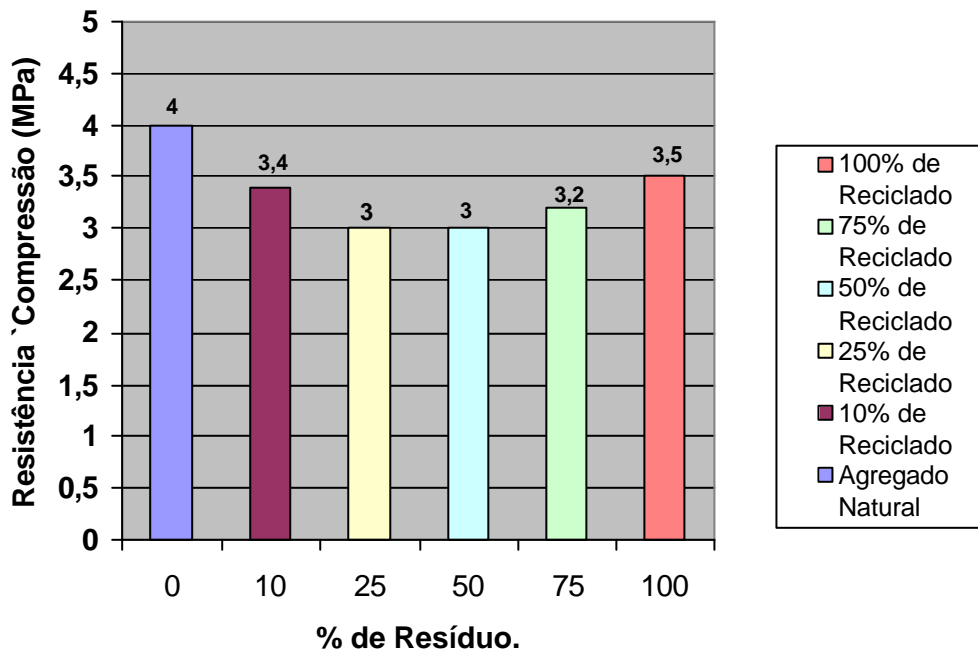


Figura 4.21 – Resistência à Compressão Simples da Argamassa aos 28 dias (4ª série)

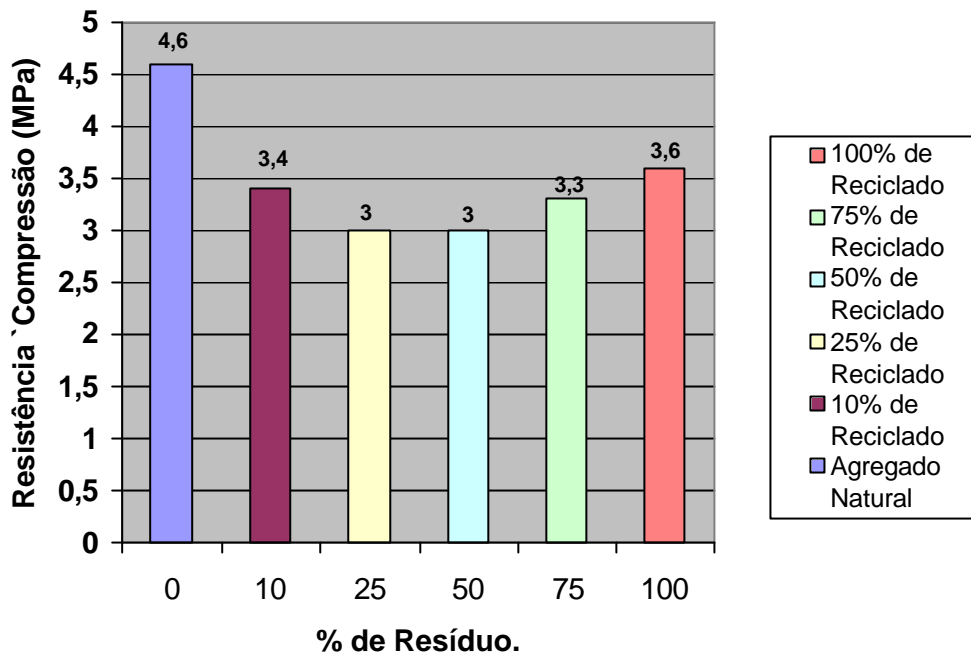


Figura 4.22 – Resistência à Compressão Simples da Argamassa aos 90 dias (4ª série)

A Figura 4.23 vê-se mais claramente a evolução da resistência das argamassas com o tempo.

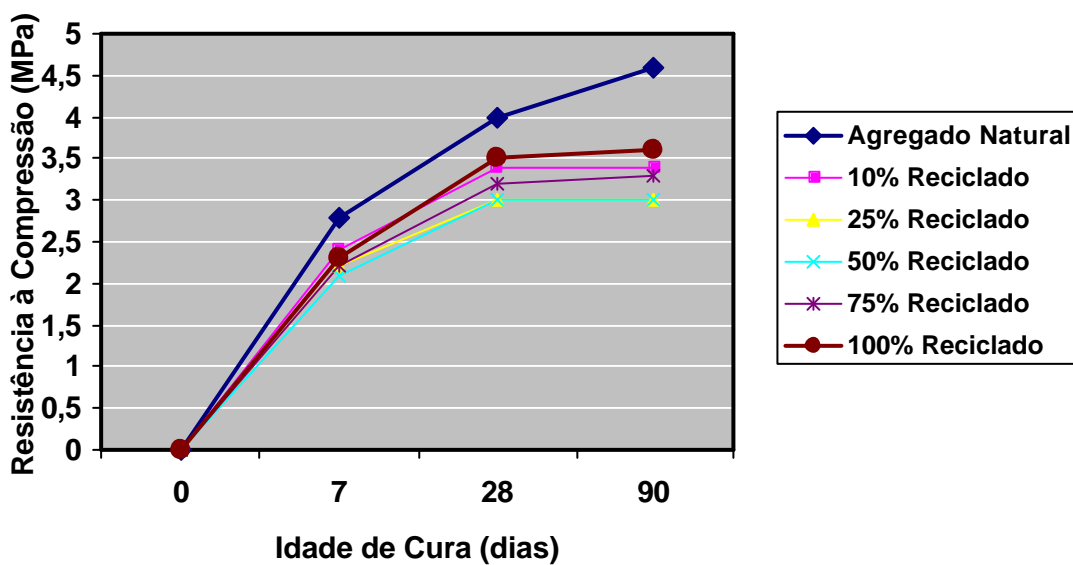
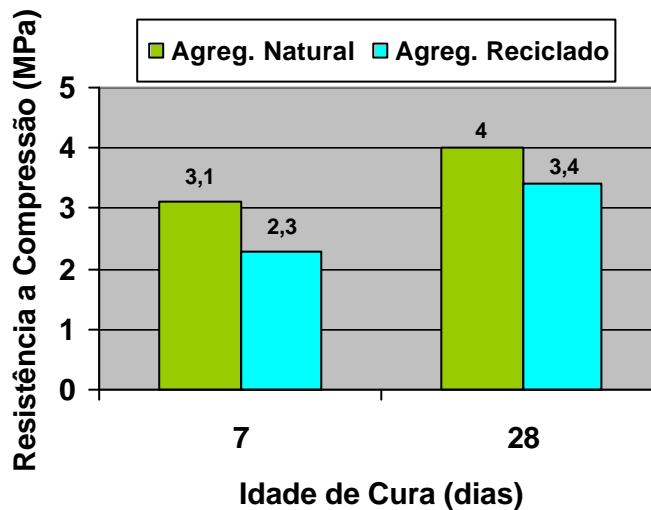


Figura 4.23 – Resistência à Compressão Simples da Argamassa aos 7, 28 e 90 dias (4ª série)

#### 4.2.6 - Argamassa no Assentamento de Tijolos Cerâmicos

Para verificar se o agregado reciclado influi na resistência à compressão de prismas de tijolos cerâmicos, foram feitos os ensaios de resistência à compressão da argamassa, dos tijolos e dos prismas.

A **Figura 4.24** apresenta a Resistência à Compressão Simples da argamassa (média de duas séries de 4 corpos de provas). Os valores obtidos estão dentro da faixa obtida anteriormente, indicando boa repetibilidade.



**Figura 4.24** : Resistência média à Compressão Simples da Argamassa de Assentamento moldados no traço 1:2:8, agregado miúdo natural e 100% de agregado miúdo reciclado.

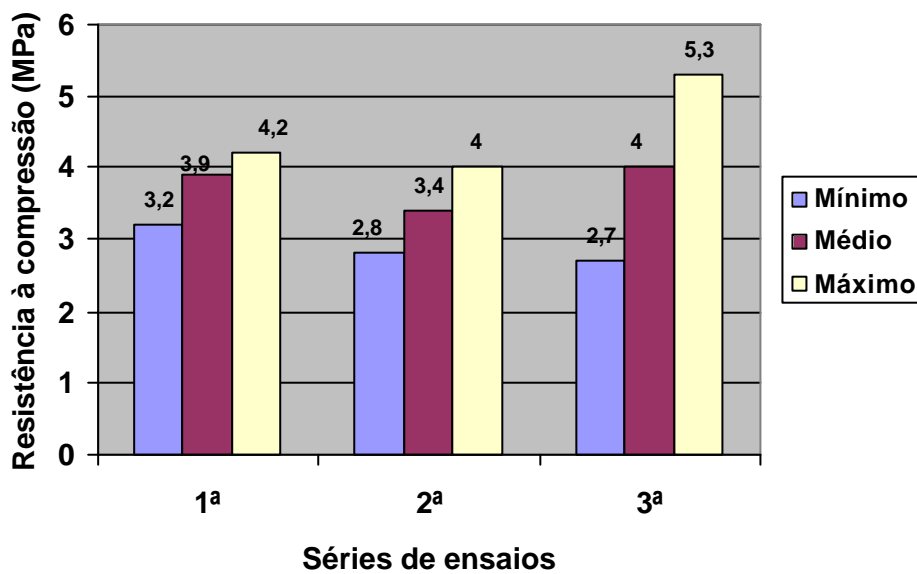
A **TABELA 4.6** apresenta os resultados obtidos em três séries de ensaios de Resistência à Compressão Simples realizados com tijolos cerâmicos de oito furos, de acordo com a NBR 13279 (ABNT 1995). Nota-se que apesar de os tijolos serem da mesma origem, apresentam uma variabilidade de resistência relativamente alta, como se vê na 3ª série da referida Tabela.

Os tijolos apresentavam irregularidades nas faces outras imperfeições proporcionando resistências bastante variadas.

**TABELA 4.6** Resistência à Compressão de Tijolos de oito furos

C. de Provas	Resistência à Compressão (MPa)		
	1ª série	2ª série	3ª série
CP 1	3,9	2,8	2,7
CP 2	3,2	4,0	5,3
CP 3	4,1	3,3	3,8
CP 4	4,2	3,5	4,4
<b>Média</b>	<b>3,9</b>	<b>3,4</b>	<b>4,1</b>

A **Figura 4.25** mostra os resultados da **TABELA 4.6** na forma de gráfico contendo valores mínimo médio e máximo.



**Figura 4.25** Valores mínimo, médio e máximo da resistência à compressão simples de tijolos cerâmicos de oito furos.

A **TABELA 4.7** apresenta os resultados obtidos em três séries de ensaios de Resistência à Compressão Simples realizados com prismas com tijolos cerâmicos de oito furos de acordo com a NBR 13279 (ABNT 1995).

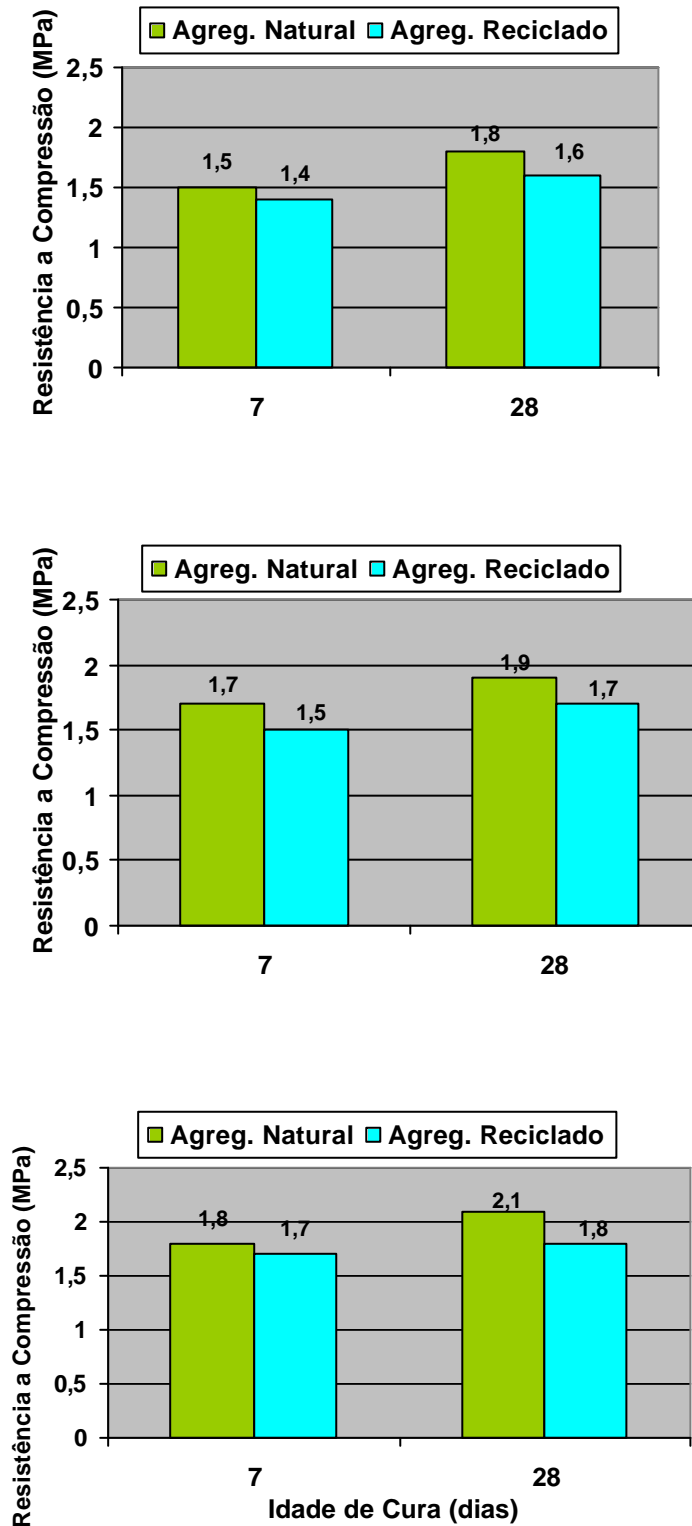
**TABELA 4.7** – Resistência à Compressão de Prismas com dois tijolos cerâmicos

Prismas com dois tijolos cerâmicos	Res. a Compressão aos 7 dias (MPa)			Res. a Compressão aos 28 dias (MPa)		
	1ª série	2ª série	3ª série	1ª série	2ª série	3ª série
<b>Agregado. Natural</b>	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	2,1
<b>100% Agregado Reciclado</b>	1,4	1,5	1,7	1,6	1,7	1,8

A **Figuras 4.26**, apresenta resultados da Resistência à Compressão Simples dos prismas da 1ª, 2ª e 3ª série aos 7 e 28 dias.

Foram feitas três séries de 4 prismas , e os resultados sugerem sempre a mesma tendência: a argamassa com agregado reciclado conduz à menor resistência do prisma.

A resistência do prisma foi sempre inferior a dos seus componentes individuais, o que era de se esperar, pois a camada de argamassa de assentamento dos blocos apresentava espessura diferente ao longo da peça devido à irregularidade do bloco.



**FIGURA 4.26** - Resistência à Compressão Simples de prismas com 2 tijolos e Argamassa de Assentamento moldados com traço 1:2:8, agregado miúdo natural e agregado miúdo reciclado da 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> série.

A menor resistência dos prismas confeccionados com argamassa de agregado reciclado provavelmente se deu pelo fato de a mesma já ser menos resistente e também ter menor módulo de elasticidade. A camada de argamassa de assentamento, por conta de imperfeições das superfícies dos tijolos, nem sempre planas, fica com espessura variável.

No ensaio notou-se que a ruptura começou a ocorrer por esmagamento da argamassa e visivelmente a argamassa com agregado reciclado se deformava mais que aquela com agregado natural.

#### 4.2.7 - Resistência à Compressão Simples das Argamassas para Uso em Concreto

Para se comparar o possível desempenho do agregado reciclado em relação ao agregado natural em argamassa constituindo o concreto, foram feitos ensaios com argamassas cujo ligante consistia apenas de cimento Portland.

A **TABELA 4.8** apresenta os resultados obtidos em quatro séries de ensaios de Resistência à Compressão Simples aos 7 e 28 dias de acordo com a NBR 13279 (ABNT 1995), de argamassas com agregado natural nos traços volumétricos de cimento:agregado: 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4. Nas terceiras e quartas séries foi usado superplastificante para reduzir a quantidade de água.

Todos os corpos de provas foram moldados com a argamassa na consistência padrão.

**TABELA 4.8** Resistência à compressão da Argamassa com agregado natural

Argam.com Agreg. Nat.	Res. a Compressão aos 7 dias (MPa)				Res. a Compressão aos 28 dias (MPa)			
	1ª série	2ª série	3ª série com SP	4ª série com SP	1ª série	2ª série	3ª série com SP	4ª série com SP
Traço 1:1	39,0	40,0	49,0	47,3	50,3	50,6	51,7	51,5
Traço 1:2	26,2	25,8	28,4	29,1	34,3	33,8	36,1	36,5
Traço 1:3	18,0	18,5	24,5	23,2	22,2	22,6	29,3	28,3
Traço 1:4	9,6	10,2	17,5	17,3	13,1	13,4	19,7	18,9

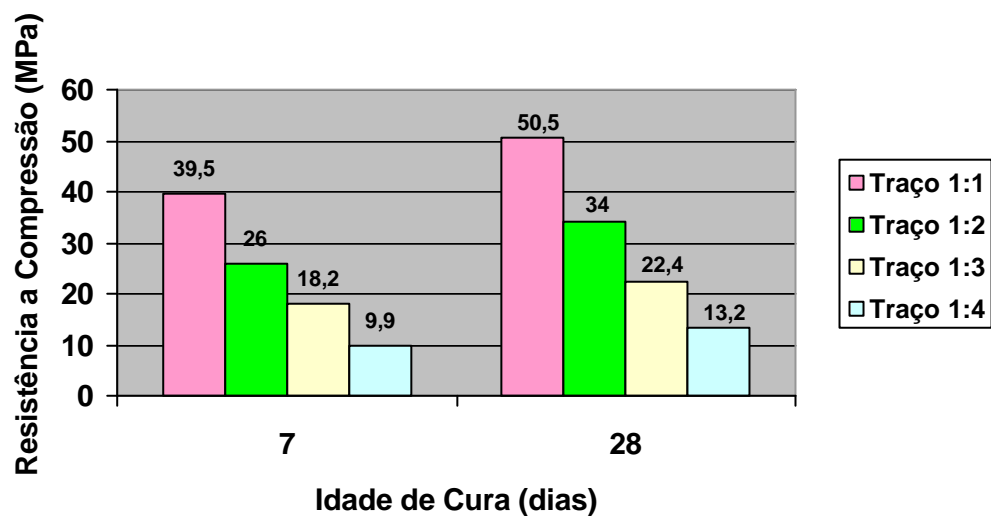
A **TABELA 4.9** apresenta os resultados obtidos em quatro séries de ensaios de Resistência à Compressão Simples aos 7 e 28 dias, da argamassa com agregado reciclado nos traços: 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4. de acordo com a NBR 13279 (ABNT 1995).



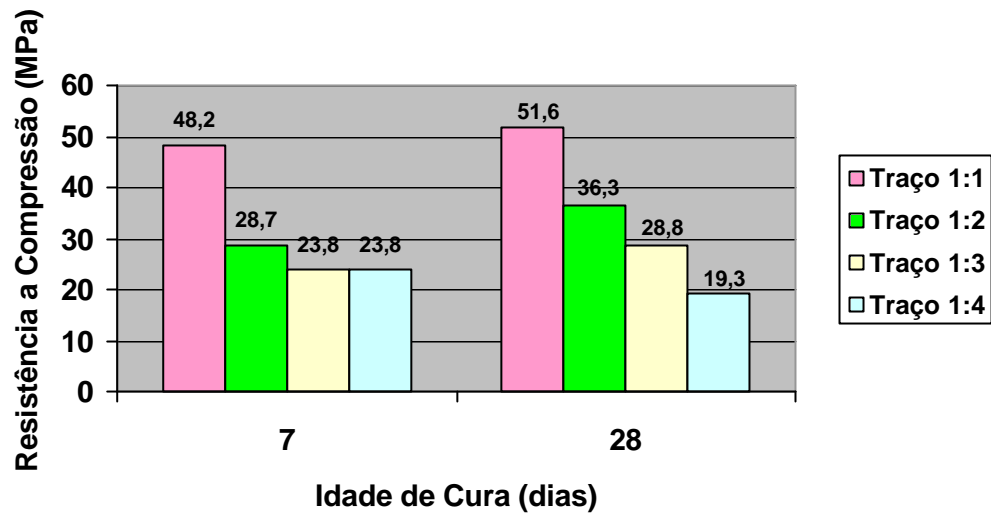
**TABELA 4.9** Resistência à compressão da Argamassa com agregado reciclado

Argam.com Agreg. Rec.	Res. à Compressão aos 7 dias (MPa)				Res. à Compressão aos 28 dias (MPa)			
	1ª série	2ª série	3ª série com SP	4ª série com SP	1ª série	2ª série	3ª série com SP	4ª série com SP
Traço 1:1	32,0	32,1	34,8	34,5	40,8	41,6	42,1	42,0
Traço 1:2	19,1	19,7	28,9	28,7	28,4	29,5	37,7	38,2
Traço 1:3	11,9	12,1	20,8	21,0	13,7	14,1	28,9	28,1
Traço 1:4	8,8	9,1	14,3	13,8	9,6	10,1	18,1	18,0

As Figuras 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30, apresentam os valores médio de Resistência a Compressão Simples das argamassas, obtidos das primeiras e segundas, terceiras e quartas séries para tempos de cura de 7 e 28 dias com agregado miúdo natural e agregado miúdo reciclado, conforme os dados das **TABELAS 4.8 e 4.9**.

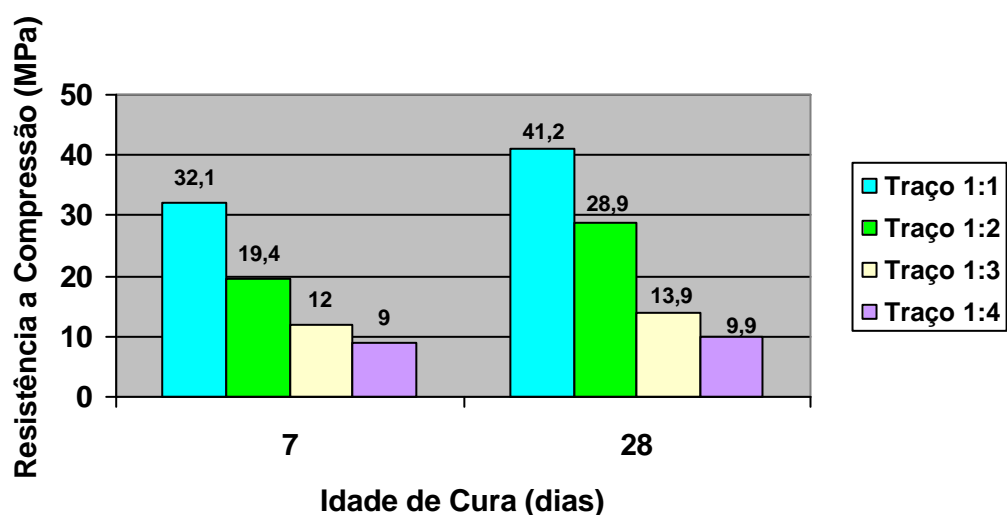


**Figura 4.27** : Resistência à Compressão Simples de Corpos de Provas de Argamassa com Agregado Miúdo Natural aos 7 e 28 dias (média da 1ª e 2ª série).

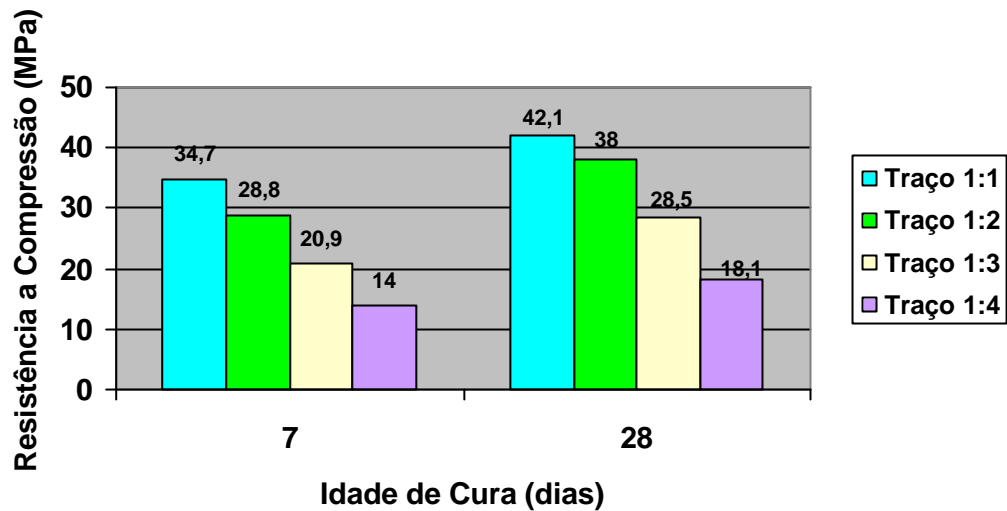


**Figura 4.28** : Resistência à Compressão Simples de Corpos de Provas de Argamassa com Agregado Miúdo Natural, com superplastificante, aos 7 e 28 dias (média da 3ª e 4ª série).

Na determinação da resistência à compressão da argamassa na 3ª e 4ª séries usou-se superplastificante e com isto houve uma redução na relação água/cimento, proporcionando maior resistência à compressão aos 7 dias em todos os traços, tendo um melhor desempenho aos 7 e 28 dias para os traços 1:3 e 1:4.



**Figura 4.29** - Resistência à Compressão Simples de Corpos de Provas de Argamassa com Agregado Miúdo Reciclado aos 7 e 28 dias (média da 1ª e 2ª série).



**Figura 4.30** - Resistência à Compressão Simples de Corpos de Provas de Argamassa com Agregado Miúdo Reciclado, com superplastificante, aos 7 e 28 dias (média da 3ª e 4ª série).

Na determinação da resistência à compressão da argamassa confeccionada com agregado miúdo reciclado da 3ª e 4ª séries usou-se superplastificante e observou-se uma redução na relação água/cimento, proporcionando maior resistência à compressão aos 7 dias em todos os traços, tendo um melhor desempenho aos 7 e 28 dias para os traços 1:3 e 1:4, respectivamente.

Vê-se que o agregado reciclado induz a menores resistências que o natural. Isto principalmente porque foi usada a estratégia de se manter a mesma consistência, o que indiretamente significa que, no concreto, ter-se-ia o mesmo abatimento. Assim a quantidade de água variou, conduzindo a relação água/cimento maior, como indica na **TABELA 4.10**.

**TABELA 4.10** – Relação água/cimento da argamassa para uso em concreto

Argamassa com agreg. natural	Relação água/cimento		Argamassa com agreg. reciclado	Relação água/cimento	
	Valor médio (1ª e 2ª série)	Valor médio (3ª e 4ª série)		Valor médio (1ª e 2ª série)	Valor médio (3ª e 4ª série)
Traço 1:1	0,43	0,32	Traço 1:1	0,46	0,37
Traço 1:2	0,61	0,35	Traço 1:2	0,70	0,53
Traço 1:3	0,74	0,59	Traço 1:3	0,87	0,79
Traço 1:4	0,91	0,76	Traço 1:4	1,20	1,03

O uso do superplastificante reduz a quantidade de água e permite obter maiores resistências.

Percebe-se então, que o agregado reciclado, e com uso do superplastificante pode conduzir a maiores resistências que o agregado natural sem o superplastificante. Assim, a solução tecnológica existe e dependendo do caso, pode ser até vantajoso economicamente o uso dos agregados reciclados.

## CAPÍTULO V

---

### 5 - CONCLUSÕES

No presente trabalho foi feito um levantamento no qual foi estimada a quantidade de resíduos gerados pela construção civil em João Pessoa. Foram identificados, seus principais componentes e feitos estudos do seu reaproveitamento como agregado em argamassas.

Os resultados deste trabalho mostraram que:

- Em João Pessoa há quatro empresas de coleta de resíduos da construção civil;
- A quantidade mensal aproximada de resíduos coletados em 2003 foi de 3.760 toneladas, a maioria depositada nos aterros sanitários. O volume real deve ser muito maior, pois as empresas não captam resíduos de pequenas construções e reformas;
- Os principais componentes dos resíduos coletados das construções em João Pessoa são: tijolos e telhas (34%), compensado, gesso e lata (15%), barro (12%), areia (12%), madeira (10%), concreto (8%);
- A obtenção de um agregado reciclado a partir de resíduos de construção, não apresenta maiores dificuldades, bastando selecionar a parte que interessa (no caso restos de alvenaria: tijolos com argamassas), triturar e peneirar;
- Na preparação de argamassas, a substituição parcial do agregado natural pelo reciclado faz crescer a demanda de água para se chegar à consistência padrão da NBR 13279/95, à medida que aumenta o teor do agregado reciclado;
- As argamassas produzidas no traço 1:2:8, com agregado reciclado apresentaram índice de absorção de água da ordem de 20%, o dobro do valor obtido nas argamassas com agregado natural;

- Quando se utilizam misturas do agregado natural com o agregado reciclado, à medida que aumenta o teor deste último, cresce o valor da absorção de água das argamassas;
- A resistência de aderência à tração da argamassa no traço 1:2:8, com agregado reciclado foi superior à da argamassa de referência, chegando a satisfazer ao limite indicado na NBR 13749/96;
- A resistência à compressão das argamassas no traço 1:2:8 decresce quando se substitui parcialmente o agregado natural pelo reciclado, até a percentagem volumétrica de 50%. Quando se usa 75% de agregado reciclado, ocorre ligeira recuperação de resistência e 100% de agregado reciclado faz crescer um pouco mais, porém ela é sempre inferior à da argamassa de referência.
- No assentamento de tijolos cerâmicos formando um prisma de duas unidades, a argamassa com agregado reciclado conduz à menor resistência do prisma que aquela com agregado natural;
- Nas argamassas para uso em concreto, (com agregado miúdo, sem cal) as resistências com agregado reciclado podem se equiparar ou mesmo superar à das argamassas com agregado natural desde que se use aditivo superplastificante.

Finalmente pode-se dizer que com adequado manejo, os agregados reciclados podem ser usados na preparação de argamassas e até mesmo concretos, devendo o poder público incentivar o beneficiamento e a reutilização dos resíduos de construção em benefício do meio ambiente e do futuro da própria humanidade.

## Sugestões para Trabalhos Futuros

Considerando a importância dos estudos sobre a reciclagem dos resíduos gerados pela indústria da construção civil e com o objetivo de contribuir para aumentar o conhecimento sobre este assunto, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- ✓ Estudar a viabilidade econômica do uso do agregado reciclado em larga escala na construção civil;
- ✓ Estudar a dosagem de concretos comercialmente utilizados em João Pessoa, empregando como agregado miúdo aquele aqui apresentado.
- ✓ Estudar o aproveitamento da parte graúda dos resíduos de construção e demolição na dosagem de concretos;
- ✓ Desenvolver estudos de retração por secagem de argamassas preparadas com agregado miúdo reciclado;
- ✓ Estudar a viabilidade de implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção civil em João Pessoa;
- ✓ Estudar o impacto ambiental causado pela reciclagem dos resíduos da construção civil;
- ✓ Estudar a durabilidade das argamassas de concretos obtidos com agregados reciclados da Região.

## **CAPÍTULO VI**

---

### **6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ALVES, S. M. S.** – Desenvolvimento de Compósitos Resistentes Através da Substituição Parcial do Cimento por Resíduos de Indústrias Cerâmicas. UFPB/CT – Dissertação de mestrado. João Pessoa/PB, 2002.

**ALAVEDRA, P.; DOMINGUEZ, J.; GONZALO, E. et al.** La construction sostenible. El estado da la Cuestion. Informes de la Construction, v.49, nº 451, 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.** Variabilidades de agregados miúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. Escola Politécnica de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 2000.

**ARAUJO, 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** – Resíduos sólidos, **NBR 10004/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Determinação da resistência à compressão, **NBR 13279/95.**



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Cimento Portland Composto, **NBR 11578/91.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Massa Específica Real, **NBR 6508/84.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Determinação da resistência à compressão simples, **NBR 7215/91.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Determinação da composição granulométrica dos agregados, **NBR 7217/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Agregado em estado solto – Determinação da Massa Unitária em Estado Solto, **NBR 7251/82.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Método de determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo – Frasco de Chapman, **NBR 9776/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Resistência de Adereência à Tração, **NBR 13528/95.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas - Especificação, **NBR 13749/96.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Argamassa e Concreto Endurecido – Determinação de Água por Imersão, **NBR 9778/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da Massa Específica, **NBR 6474/84.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – Determinação do Inchamento de Agregado Miúdo, **NBR 6467/87.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** –Determinação de Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregado Miúdo, **NBR 7220/87**.

**ÁVILA, A. P. R. T.** Reciclagem de resíduos cimentícios na construção civil. 5º Congresso Brasileiro der 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.

**BIDONE, F. P. J.** – Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. EESC USP. S. Carlos SP: Suprema, 2002.

**CASSA, J.** et al. Reciclagem de Entulhos para Produção de Materiais de Construção, PROJETO ENTULHO BOM. Universidade Federal da Bahia, Salvador – Bahia, 2001.

**CINCOTTO, M. A.** Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. Tecnologia das Edificações, Ed. PINI, São Paulo, 1988.

**CLOCCHI, L.** Gestão de Resíduos. Revista Técnica nº 77. Editora PINI, São Paulo, agosto, 2003, p.48-50.

**CNOL e SINDUSCON-SP**, SuperObra.com, 2001, <http://www.inforhab.org.br> (acessado em 19/09/2001).

**CORBIOLI, N.** Reciclagem de entulho do caos à solução. Construção, nº 2505, Editora Pini, São Paulo, fevereiro de 1996.

**CONAMA.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. Critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil. Artigo 3º Inciso de I a IV da resolução 307 de 05/07/2002.

**COUTINHO, A. S.** Fabrico e propriedades do betão. 3ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997.

**ENBRI.** Development of a framework for environmental assesement of building materials and components. (ENBRI Proposal 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.

**GOLDSTEIN, H.** Not your father's concrete. Civil Engineering, v. 65, nº 5, p. 60-63, 1995.

**GPI.** Glass Packaging Institute solid waste & Recicling Policy. [http\\www.gpi.org/swp2.htm](http://www.gpi.org/swp2.htm). Acesso em 15 de outubro de 1996.

**GRN.** Glossary de recycling terms. Packaging institute solid wast & Recicling Policy. [http\\,.grn.com/libra/gloss-t.htir](http://.grn.com/libra/gloss-t.htir). Acesso em 15 de outubro de 1996.

**GRIGOLI, A. S.** Resíduos de construção civil utilizado como material de construção Civil no local onde foi gerado. In: 3º Seminário do Desenvolvimento sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Fortaleza, IBRACON, 2000.

**HAMASAKI, L. T., SBAINGHI Neto, C., FLORINDO, M.** Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo. USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161p. p.109-117.

**HANSEN, T. C.** Recycled of demolished concrete and mansory. London Chapman & Hall, 1992. 316p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160 (9RILEM TC REPORT 6).

**HANSEN, T. C., NARUD, H** Strenght of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete International. Design and construction, v.5, n.7, p.79-83, 1983.

**HENDRICKS, C. F.** Wiederverwendung von Strassenaufbruch und BAUSCHUTT IN DEN Niederlanden. In: International Recicleng Congress, 4º, Berlin 1985. Proceedings. Berlin – 1984 pp 972-977.

**HENDRICKS, C. F.** Certification system for aggregates produced from building wast and demolished buildings. In: Environmental Aspects of construction with waste Materials. Proceedings. Elsevier, 1993.

**IDROGO, A. A.** Acernê. Sistema Integrado de Gestão da Qualidade, Meio Ambiente, Saúde e Segurança no Trabalho \_ Um Modelo para a Pequena Empresa. UFPB/CT – Tese de Doutorado. João Pessoa/PB, 2003.

**JOHN, V. M.** Avaliação da vida útil de materiais, componentes e edifícios. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1987, 130p. (Dissertação de. Mestrado)

**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.** a construção e o meio ambiente. <http://www.recycle.pcc.usp.Br/artigos1.htm>.1998a.

**JOHN, V. M.** Reciclagem de resíduos na construção civil. São Paulo, PCC/USP. Tese de Livre Docência, 2000.

**KIBERT, C.** Establishing principles and a model for sustainable construction, in: CIB TG 16, Sustainable Construction, 1994, Tampa, Flórida. P. 3 – 12.

**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. HELENE, P. R. L.** Durabilidade de Concreto Produzido com Resíduos Mineraiis de Construção Civil. Universidade de São Paulo, 2001.

**LEVY, S. M., HELENE, P. R. L.** Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulhos de construção civil. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como

materiais de construção, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo. USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161p. p.138-148.

**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.

**LIMA, J. A. R.** Proposições de diretrizes para produção e normatização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concreto. 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.

**MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. 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.

**NEVILE, A. M.** Properties of concrete. 4ª ed. London: Longman, 1995. 884p.

**NAVARRO, R. F.** Materiais e ambiente. João Pessoa: Editora Universitária?UFPB. 2001. 180p.

**NÓBREGA, A. R. S.** Contribuição ao diagnóstico da geração de entulho da construção civil no município de Campina Grande, PB. Universidade Federal da Paraíba – Campos II. Dissertação de Mestrado, 2002.

**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, D. F.** Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulho da construção civil. Universidade Federal de Campina Grande – PB, Tese de Doutorado, 2004.

**PENTALA, V.** Concrete and sustainable development. *ACI Materials Journal*, v. 94, nº5, p.409-416, 1997.

**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.** Metodologia da gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. 189p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil.

**PINTO, T. P.** Reciclagem de entulho da construção civil. *Téchne*, nº 15, março de 1995.

**PINTO, T. P.** Utilização de Resíduos de Construção. Estudo do uso em argamassas, São Carlos, 1994. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, 148p, Departamento de Arquitetura e Planejamento. Universidade de São Paulo.

**PINTO, T. P.** Utilização de Resíduos de Construção. Estudo do uso em argamassas, São Carlos: Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 1986. 148p.

**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.

**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.

**RUSSO, M. A. T.** Tratamento de Resíduos Sólidos. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Coimbra, 2003.

**SCHULZ, R. R.; HEDRICKS, C. 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).

**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, Brasil. Proceedings....(CD-ROM). São Paulo: CIB, 2000. 9p.

**SOIBELMAN, I.** 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.

**WEDLER, B.; HUMMEL, A.** Trummerverwertung und Ausbau Von brandruinen Wilhelm Ernest & Sohn, Berlin, 1946.

**WILHEIM, J.** Problemas ambientais urbanos. Instituto Sociedade, População e Natureza, Brasília, 1993.

**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 aggregate. London: Thomas Telford Pub. 1998. p. 157-168.

**ZORDAN, S. E.** A utilização de entulho como agregado na confecção do concreto. Campinas: Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado, 1997.

**ZORDAN, S. E.** Entulho da Industria da Construção Civil.

<http://www.recycle.pcc.usp.br/fichatécnica.htm>.2000 (acessado em maio de 2000).



**ANEXOS**

---

**ANEXO A** – Pesquisa realizada junto às Empresas Coletoras de Resíduos de Construção e de Demolição na Cidade de João Pessoa – PB.

**A 1** – ENTREVISTA, ATRAVÉS DE ROTEIRO ESTRUTURADO.

**1 - Empresa entrevistada:**

- Nome;
- Atividade;
- Endereço;
- Tempo de atuação.

**2 – Materiais coletados pela empresa:**

- Material coletado;
- Período da coleta;
- Volume estimado;
- Unidade.

**3 – Composição dos materiais coletados:**

- Componentes;
- % de cada componente.

**4 – Pontos de coleta:**

- Local da coleta;
- Período;
- Volume estimado;
- Unidade;
- Distância de deslocamento.

**5 – Locais de deposição final dos materiais coletados:**

- Local da deposição;
- Volume estimado;
- Unidade;
- Período de deposição;

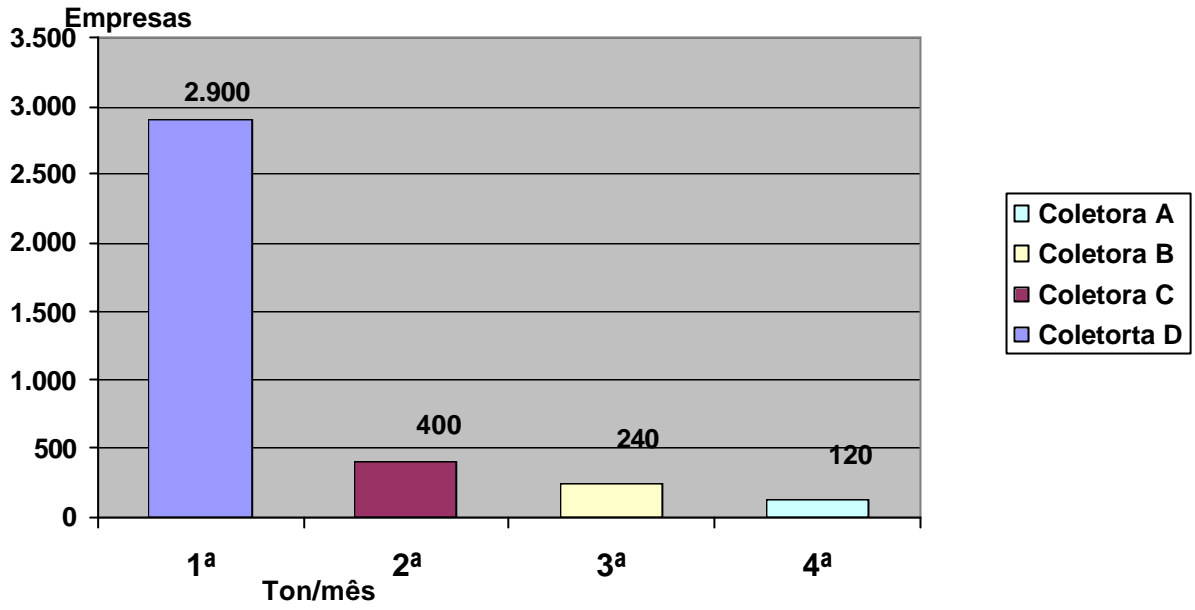
- Distância média de deslocamento.

**ANEXO B – DEPOSIÇÃO IRREGULAR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO EM ÁREAS DE EXPANSÃO DE JOÃO PESSOA.**

**FIGURA B 1 – Áreas prejudicadas com a deposição irregular.**



**FIGURA B 2** – Coleta oficializada de resíduos mensalmente em João Pessoa



# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)