

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA – DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
EM ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO DE  
ALVENARIA

Bárbara Tannus de Oliveira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge dos Santos

AGOSTO DE 2015

USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM ARGAMASSAS PARA  
REVESTIMENTO DE ALVENARIA

Bárbara Tannus de Oliveira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

---

Prof. Jorge dos Santos, D.Sc., EP/UFRJ (orientador)

---

Prof<sup>a</sup>. Ana Catarina Jorge Evangelista, D.Sc, EP/UFRJ

---

Prof. Wilson Wanderley da Silva, EP/UFRJ

---

Prof<sup>a</sup>. Isabeth Mello, Msc, EP/UFRJ

RIO DE JANEIRO – RJ, BRASIL

AGOSTO 2015

Oliveira, Bárbara Tannus

Uso de resíduos de construção e demolição em argamassa para revestimento de alvenaria / Bárbara Tannus de Oliveira – Rio de Janeiro: POLI/UFRJ, 2015.

vi, 63 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge dos Santos

Monografia (Graduação) – POLI/ UFRJ/ Curso de Graduação em Engenharia Civil, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 64-68.

1. Construção, 2. Demolição, 3. Resíduo, 4. Argamassa, 5. Reciclagem.  
I. SANTOS, Jorge. II. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Graduação em Engenharia Civil. III. Engenheira Civil.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Uso de resíduos de construção e demolição em argamassa para revestimento de alvenaria

Bárbara Tannus de Oliveira

Agosto/2015

Orientador: Jorge dos Santos

Curso: Engenharia Civil

O setor da construção civil gera impactos ambientais, tanto em relação ao consumo de recursos naturais não-renováveis, quanto à geração de resíduos. Estes resíduos, conhecidos como resíduos da construção civil – RCC, podem representar até 50% do total de resíduos sólidos produzidos nas grandes cidades. O surgimento de legislação específica, juntamente com a proibição do encaminhamento dos resíduos a aterros sanitários, contribuiu para o aparecimento de uma série de atividades envolvendo a valorização dos RCC. Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a viabilidade técnica da utilização do resíduo proveniente da construção civil como material alternativo para a produção de argamassa de revestimento de alvenarias. O trabalho aborda os benefícios e os impactos que a reciclagem de resíduos podem gerar, além de analisar os principais resíduos reciclados atualmente pelo setor da construção civil. O estudo apresenta um panorama da produção de argamassa com utilização de resíduos, levantando experiências com a utilização dessa argamassa para revestimento de alvenaria.

*Palavras-chave:* Construção, Demolição, Resíduo, Argamassa, Reciclagem.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Use of construction and demolition waste in masonry mortar coating

Bárbara Tannus de Oliveira

August/2015

Advisor: Jorge dos Santos

Course: Civil Engineering

Environmental impacts have been related to the civil engineering sector, with regard to both consumption of non-renewable resources and solid waste generation and final disposal. Construction and demolition waste - CDW can represent up to 50% of the total amount of solid waste produced in big cities. Construction and demolition waste recycling bills as well as mandatory plans, which have come into force lately or are to be put into force in a near future, have contributed for the establishment of construction waste cutback goals. So, this work was developed with the objective of analyzing the feasibility of using waste from the construction industry as an alternative material for the production of mortar for masonry coating. The work discusses the benefits and impacts of waste recycling can generate, and analyze the main waste currently recycled by the construction industry. The study provides an overview of mortar production with use of waste, raising experiences with the use of this mortar for masonry coating.

*Keywords:* Construction, Demolition, Waste, Mortar, Recycling.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1. A importância do tema.....	7
1.2. Objetivos.....	8
1.3. Justificativa da escolha do tema.....	8
1.4. Metodologia.....	8
1.5. Estrutura da monografia.....	9
2. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO.....	11
2.1. Aspectos históricos.....	11
2.2. Os resíduos nos tempos atuais.....	12
2.3. Complicadores.....	14
3. RECICLAGEM DOS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	18
3.1. Exemplos de sucesso.....	20
4. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL.....	25
4.1. Federal.....	25
4.2. Estadual.....	26
4.3. Municipal.....	29
5. ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO.....	31
5.1. Tipos de argamassa.....	31
5.2. Funções da argamassa de revestimento.....	32
5.3. Constituintes da argamassa.....	34
5.4. Impactos ambientais.....	35
6. PANORAMA DA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS.....	38
7. SÍNTESE DOS ESTUDOS REALIZADOS.....	62
8. CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. A IMPORTÂNCIA DO TEMA

A cadeia produtiva da construção civil apresenta impactos ambientais significativos em todas as etapas do seu processo, desde a extração de matérias-primas, produção de materiais, execução da obra, uso e, futuramente, no processo de demolição. O esgotamento dos recursos naturais e a poluição, através da geração de resíduos, podem ser considerados como os impactos ambientais mais significativos e com consequências mais nocivas ao meio ambiente (CEF, 2001).

Segundo Furtado (2005), a construção civil contribui com uma grande parcela da deterioração ambiental nos países desenvolvidos, pois o setor utiliza, no ponto de vista global, aproximadamente 30% das matérias-primas, 42% do consumo de energia, 25% do uso de água e 16% do uso de terra. Em relação à degradação ambiental, a construção civil é responsável por 40% das emissões atmosféricas, 20% dos efluentes líquidos, 25% dos sólidos e 13% de outras liberações.

Segundo John (2000), o atual modelo de desenvolvimento, baseado na extração maciça de recursos naturais e na geração de resíduos não é sustentável no longo prazo. Em substituição a este modelo, deve-se buscar a utilização do modelo de desenvolvimento sustentável, para evitar que o setor da construção civil seja considerado como um grande contribuinte da contaminação ambiental.

Para atingir um modelo de desenvolvimento sustentável é necessária a aplicação de critérios de gestão de resíduos nos canteiros de obras, nas quais sejam aplicadas técnicas para a redução da geração, reutilização e reciclagem dos resíduos (WALKER e DOHMANN, 1996; THORMARK, 2001; ANGULO et al., 2002; SOUZA et al., 2004).

Thormark (2001) considera a reciclagem dos RCD como uma solução para a conservação dos recursos naturais não-renováveis extraídos pelo setor da construção civil. A substituição de agregados como a areia e a brita, por materiais reciclados, têm sido estudadas e aplicadas para atender às necessidades da indústria da construção (POON, 1997; JOHN, 2000; HUANG et al., 2002).

A preservação dos recursos naturais, substituídos por materiais reciclados, prolonga a vida útil das reservas naturais e reduz a destruição da fauna, flora e da paisagem. Esta contribuição é importante mesmo nos casos em que os recursos naturais são abundantes, como é o caso do calcário e da argila (EPA, 1998).

## 1.2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil como material alternativo para a produção de argamassa de revestimento de alvenarias.

O estudo visa a ampliar o conhecimento das propriedades e do comportamento das argamassas produzidas com agregados reciclados.

## 1.3. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

Independentemente da utilização do resíduo reaproveitado, a opção pelo tratamento dos resíduos da construção civil acarreta benefícios da ordem econômica, social e ambiental. A substituição dos materiais convencionais pelo entulho, por exemplo, resulta em economia na aquisição de matéria-prima. Com a reciclagem, há ainda a minimização da poluição causada pelos resíduos, que podem causar enchentes e o assoreamento de rios e córregos. É importante destacar que o descarte incorreto também traz sérias consequências para o ambiente urbano, sendo ambientes que propiciam doenças como dengue e febre amarela e chamariz de roedores e insetos. Como se vê, a falta de encaminhamento adequado desses materiais gera prejuízos do ponto de vista do meio ambiente e da qualidade de vida da população, evidenciando ainda mais a necessidade de reaproveitamento.

Em um processo sustentável completo que reduz a poluição, preserva as reservas naturais de matéria-prima, acarreta ganhos financeiros e ainda promove oportunidades de trabalho e renda, o tratamento e reciclagem dos resíduos da construção civil demanda a atenção dos órgãos fiscalizadores e a conscientização de empresários do setor que detêm o grande poder de tomar uma decisão de mudança.

Por fim, vale a pena citar que segundo a ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, o Brasil produz em média 31 milhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC) por ano.

## 1.4. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas. A primeira, englobando as considerações iniciais, as justificativas, os objetivos e a contextualização do tema abordado e, a segunda, apresentando casos de sucesso e vantagens obtidas através da reciclagem.

A argamassa de revestimento de alvenaria e reciclagem dos RCC são apresentadas por meio de pesquisa bibliográfica. Através da definição de argamassa e das principais

metodologias executivas, pretende-se avaliar as vantagens da implementação da reciclagem de resíduos na construção civil para a utilização em revestimentos de alvenaria.

#### 1.5. ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

A estrutura deste trabalho é composta por oito capítulos.

No Capítulo um discutiu-se sobre a importância do tema, as justificativas que levaram a este estudo, a metodologia adotada e seus objetivos.

O Capítulo dois contextualiza a composição e geração dos resíduos de construção e demolição. Apresenta os aspectos históricos do chamado entulho de obra e como se iniciou sua reciclagem. Além disso, descreve como o mercado de construção vem agindo em relação aos resíduos e como ele vem sendo utilizado e reciclado. Neste Capítulo também é abordado o papel do governo e da sociedade, assim como os impactos ambientais causados pela formação de resíduos.

O Capítulo três aborda o que vem sendo feito em termos de reciclagem de resíduos na construção antes e depois da criação de legislações que impuseram regras claras para a reciclagem dos resíduos sólidos. O Capítulo também apresenta experiências de sucesso e como são preparados os resíduos de obra ainda nos canteiros para posterior reciclagem.

O capítulo quatro levanta as legislações federal, estadual e municipal diretamente aplicáveis em relação à geração, disposição e reciclagem de resíduos de construção e de demolição.

Já o Capítulo cinco conceitua o que é argamassa para revestimento, como é produzida e onde é aplicada. Levanta as diferenças entre a argamassa convencional e a industrial, quais são suas matérias primas e o impacto ambiental que elas causam. Neste capítulo também são abordadas as dificuldades na produção e na aplicação e os resíduos gerados pelas atividades de revestimento com argamassas

O Capítulo seis apresenta um panorama da produção de argamassas para revestimento com utilização de resíduos reciclados de construção e de demolição. Foi feito um levantamento de experiências com a utilização de argamassas produzidas com resíduos através de dissertações, monografias e teses.

O Capítulo sete mostra os resultados comparando as experiências levantadas. Ele aborda a seleção, preparo e beneficiamento dos resíduos para uso como agregados, bem como a produção de argamassas, os traços estudados com diferentes proporções e adições realizadas. Nos resultados obtidos foram considerados aspectos importantes para o uso da argamassa como

revestimento, como aderência, resistência ao cisalhamento, retração, resistência a compressão e absorção.

O Capítulo oito apresenta as conclusões das experiências estudadas e algumas considerações finais. Também são sugeridas ideias para trabalhos futuros.

## **2. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO**

Denomina-se resíduo o conjunto de fragmentos resultante do desperdício de materiais na construção, reformas e demolição de estruturas de edificações, como prédios, pontes e casas. (CONAMA, 2002).

Os resíduos de obras de construções novas ou de demolições são definidos em vários estudos como RCC – resíduos da construção civil e RCD – resíduos de construção e demolição. Portanto, ambas as siglas serão muito utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

Segundo a Agenda 21<sup>1</sup>, os RCC são considerados como os maiores causadores de degradação ambiental. Tal fato é justificado tanto pelo volume gerado quanto pelo tratamento e disposição final inadequados. No Brasil, estimativas apontam que o entulho representa de 41 a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos em áreas urbanas. Portanto, as atividades de construção civil podem ser consideradas como as maiores geradoras de resíduos (Costa, 2003).

De acordo com Ângulo, S.C. (2002), historicamente, a indústria da construção civil não se preocupava com os custos e prejuízos causados pelo desperdício de materiais e destino dados aos resíduos produzidos nesta atividade. Grande parte desses resíduos era depositada clandestinamente em terrenos baldios, áreas públicas, várzeas e cursos d'água. Alguns desses impactos eram (e ainda são) visíveis e comprometem a paisagem urbana e o trânsito de veículos e pedestres.

Já o RCD, segundo a ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, é um segmento da reciclagem no Brasil ainda incipiente. A reciclagem deste resíduo é um mercado desenvolvido em muitos países da Europa, em grande parte pela escassez de recursos naturais que aqueles países têm.

Uma característica vital para a reciclagem de RCD no país é o entrosamento com as questões ambientais e a abordagem preservacionista que a atividade agrega. Ser sustentável garante ao setor um crescimento acima do esperado e ainda facilita as negociações com órgãos públicos, iniciativa privada e com potenciais parceiros.

### **2.1. ASPECTOS HISTÓRICOS**

A construção é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subprodutos grande quantidade de entulho mineral.

---

<sup>1</sup> Agenda 21 é um conjunto de resoluções tomadas na conferência internacional Eco-92, realizada na cidade do Rio de Janeiro entre 3 e 4 de junho de 1992.

Tal fato despertou a atenção dos construtores já na época da edificação das cidades do Império Romano e desta época datam os primeiros registros da reutilização dos resíduos minerais da construção civil na produção de novas obras.

Entretanto, só a partir de 1928 começaram a ser desenvolvidas pesquisas de forma mais 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.

Porém, a primeira aplicação significativa de entulho só foi registrada após a segunda guerra mundial, na reconstrução das cidades europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e os escombros ou entulho resultante foi britado para produção de agregado visando atender à demanda na época. Assim, pode-se dizer, que a partir de 1946 teve início o desenvolvimento da tecnologia de reciclagem de entulho da construção civil.

Embora as técnicas de reciclagem dos resíduos minerais de construção e demolição tenham evoluído, não se pode afirmar com absoluta convicção que a reciclagem tenha se tornado uma ideia amplamente difundida.

## 2.2. OS RESÍDUOS NOS TEMPOS ATUAIS

Segundo a ABRECON, atualmente na Europa há um desperdício equivalente a 200 milhões de toneladas anuais de concreto, pedras e recursos minerais valiosos. Tal volume de materiais seria suficiente para se construir uma rodovia com seis faixas de rolamento interligando as cidades de Roma, na Itália, a Londres, na Inglaterra.

Aqui no Brasil, quando não removidos pelo poder público, terminam por induzir a deposição de outros tipos de resíduos como os de poda de árvores, objetos de grande volume como móveis e pneus, e até resíduos domiciliares. Isso favorece a proliferação de vetores de doenças e a obstrução de canalizações de drenagem em caso de chuva.

Os RCC podem representar 61% dos resíduos sólidos urbanos - em massa (Pinto e González, 2005). Segundo Pucci (2006), o manejo dos RCC esteve a cargo do poder público, que enfrentava o problema de limpeza e recolhimento dos RCC depositados em locais inapropriados, como áreas públicas, canteiros, ruas, praças e margens de rios. Só então em 2002, a partir da Resolução Conama nº 307/2002, o gerador é responsável pela segregação dos RCC em quatro classes diferentes, devendo encaminhá-los para a reciclagem ou uma disposição final. A resolução também determina a proibição do envio a aterros sanitários e a adoção do princípio da prevenção de resíduos.

A Resolução Conama nº 307/2002 propõe a seguinte definição para RCC em seu Artigo 2º:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (Brasil, 2002, Artigo 2º, inciso I).

Em seu Artigo 3º, a Resolução Conama nº 307/2002, alterada pela Resolução Conama nº 348/2004 (Artigo 3º, inciso IV), propõe a classificação dos RCC, que deverão seguir a seguinte divisão:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas 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 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 resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (Brasil, 2002, Artigo 3º).

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos provenientes de construção e demolição podem ser classificados em resíduos de Classe III –inertes. Isto se deve ao fato deste resíduo ser constituído por componentes minerais não poluentes e ser praticamente inerte quimicamente. No entanto, muitos casos, dependendo da origem, da composição ou da qualidade destes resíduos, podem apresentar altos níveis de contaminantes que podem inseri-los em outras classes (Lima, 2005).

A mudança de classificação desses resíduos pode ocorrer devido à particularidade dos materiais produzidos em cada obra. Desta forma, uma determinada obra pode apresentar resíduo inerte e outra pode apresentar elementos que o tornam não-inerte ou até mesmo perigosos podendo oferecer risco a saúde do ser humano (Silva, 2007).

A classificação dos RCC em quatro classes distintas possibilita ao gerador realizar um melhor manejo e segregação dos resíduos. Assim, o gerador poderá identificar a melhor solução para os resíduos gerados no seu empreendimento, atingindo dessa maneira, um menor custo de desperdício (Freitas, 2009).

Antes da Resolução Conama nº 307/2002, as coletas de RCD em cidades de grande e médio porte eram realizadas por coletores constituídos como empresas. Segundo SCHNEIDER e PHILIPPI JUNIOR (2004), o transportador privado era, provavelmente, um dos principais agentes causadores da disposição irregular dos RCD. Para os autores, o transportador que depositava irregularmente os RCD em vias e logradouros públicos próximos da região de geração, visava a minimizar seus custos de transporte e a evitar custos de disposição regular, transferindo-os à sociedade. Dessa forma, o transportador poderia oferecer seu serviço por um preço menor que o praticado pelo transportador que dispunha o resíduo em áreas licenciadas.

### 2.3. COMPLICADORES

Os RCC/RCD podem vir acompanhados de materiais perigosos como latas de tinta e de solventes, lâmpadas fluorescentes e outros resíduos que deveriam receber tratamento específico, antes de sua destinação final. A remoção dos entulhos dispostos irregularmente, os

transtornos sociais causados pelas enchentes e os danos ao meio ambiente, representam custos elevados para o poder público e para a sociedade, apontando para a necessidade do estabelecimento de novos métodos para a gestão dos RCC/RCD (Pinto T.P., 1999).

Apesar de todos os danos causados ao meio ambiente e mesmo após a Resolução CONAMA, ainda são encontradas dificuldades para que a disposição e a reciclagem sejam executadas de maneira correta. Dentre elas estão a ausência de dados, visto que a maioria das Prefeituras não dispõe de dados sistematizados sobre gestão de RCC visando minimizar os custos de gestão. Outro problema é o lançamento clandestino que tem como principal causador a tentativa de redução dos gastos do gerador e o aumento do ganho do transportador. Além disso, há uma ausência de um sistema municipal de gestão do RCC que possua um braço fiscalizador. Em resumo, todos os complicadores são causados pela necessidade de diminuição de gastos.

Segundo a Secretaria de Estado do Ambiente, pode-se constatar que o agente responsável por grande parte dos lançamentos clandestinos não são as empresas de construção e demolição, conhecidos como Grandes Geradores, mas sim, as pessoas físicas que promoveram reformas em suas moradias, ou seja, os Pequenos Geradores.

Esta análise é fruto das observações de campo conduzidas pela a Companhia Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB em fins da década de 90, com o propósito de abolir com a cobrança pela remoção do entulho, tornando esta operação gratuita para os Pequenos Geradores com o objetivo exclusivo de reduzir o número de locais de deposição irregular dos RCC.

Mesmo cenário no município metropolitano de Niterói, onde a Companhia de Limpeza de Niterói - CLIN apontou os mesmos motivos como a principal, senão a única, fonte de locais de deposição irregular de entulho, ou seja, redução de custos do gerador ou do transportador.

Ainda segundo a Secretaria de Estado de Ambiente, isto fica ainda mais evidente quando se observa os comentários de usuários do Sistema de Remoção Gratuita da COMLURB, relatados pelos atendentes do da Companhia, reclamando que vão ter que gastar dinheiro com sacos plásticos para acondicionar adequadamente o entulho para sua remoção gratuita.

O resultado desta constatação é o crescente aumento da quantidade de resíduos dispostos em terrenos baldios, encostas de morro ou margens de cursos d'água. A dificuldade de se fiscalizar os Pequenos Geradores, não só por causa do grande número, mas também por causa da sua enorme dispersão, torna o procedimento de fiscalização inviável, técnica e economicamente, reforçando a tese de se fiscalizar as empresas transportadoras.

Já os Grandes Geradores, por serem facilmente identificáveis e fiscalizados, preferem optar pelos procedimentos adequados, mesmo que tais procedimentos sejam mais onerosos. Além do mais, as grandes construtoras buscam as certificações ambientais usando-as como diferencial em suas campanhas de marketing na promoção de seus lançamentos.

Pode-se dizer que quem acaba pagando pelo correto manejo dos RCC é o consumidor, pois as empresas repassam este custo de manejo para os compradores dos imóveis. Por estas razões, os Grandes Geradores acabam por se submeter aos procedimentos legais, elaborando e respeitando seus Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Em paralelo à ação do Gerador existe a intervenção do Transportador, que, via de regra, age de acordo com o tipo de cliente. A Fiscalização da COMLURB, por diversas vezes, constatou que o Transportador que entrega o Manifesto de Resíduos assinado, comprovando o descarte em um aterro licenciado, é o mesmo que vaza em áreas clandestinas quando não precisa comprovar o destino dado ao RCC. Outra observação feita pela Fiscalização da COMLURB é, quanto menor o porte do Transportador, maior é a tendência de efetuar descartes irregulares.

A estes custos, some-se ainda os custos ambientais, representados, na maioria das vezes por enchentes ou deslizamentos de encostas provocados pela deposição inadequada de resíduos em geral.

Outro ponto importante a se considerar é que, com base em estudos realizados pela Gerência de Pesquisas Aplicadas da COMLURB, pode-se afirmar que um local de descarte irregular acaba por atrair toda sorte de dejetos. No caso específico dos RCC, conforme já abordado anteriormente, tal procedimento promove a contaminação dos resíduos dispostos, eliminando a viabilidade do seu reaproveitamento, embora provenientes de área irregular.

Segundo o Governo do Estado do Rio de Janeiro, o custo operacional direto deste sistema, sem computar os custos administrativos, totalizou, ao longo do ano de 2012, o montante de R\$ 10.645.493,61, responsabilizando-se pelo manejo de 92.020 toneladas anuais, o que dá um custo unitário de R\$ 115,67/t.

Ainda de acordo com o Governo do Estado do Rio de Janeiro, o custo de destinação final dos RCC em instalações cariocas varia de R\$ 7,00 a R\$ 25,00 por tonelada, dependendo da região onde o RCC é gerado e da qualidade do material.

O preço mais baixo corresponde a material de boa qualidade, fácil de ser reciclado e com grande quantidade de material reciclável. Material de qualidade média pode ser recebido na faixa de R\$ 10,00 a R\$ 15,00 por tonelada.

Estes preços são praticados por empresas particulares que se recusam a receber material tido como “contaminado”. Este tipo de material só é recebido pela COMLURB, que cobra os preços de R\$ 20,00 por tonelada entregue nos aterros ou de R\$ 25,00 por tonelada de resíduo entregue nas estações de transferência.

### **3. RECICLAGEM DOS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Como visto anteriormente, com o surgimento da Resolução CONAMA n° 307/2002, passou a ser proibido o encaminhamento dos resíduos da construção civil para aterros sanitários comuns, pois os mesmos contribuem diretamente para o esgotamento dessas áreas que são escassas. Os resíduos da construção civil devem ser dispostos em aterros construídos especificamente para Resíduos Sólidos da Construção Civil, de acordo com a NBR 15113 (ABNT, 2004). Com isso, aumentou a preocupação referente às deposições irregulares deste tipo de resíduo.

Segundo Pinto (1999), as disposições irregulares dos RCC podem causar os seguintes impactos ao meio ambiente:

- a) comprometimento da qualidade do ambiente e da paisagem local;
- b) comprometimento da drenagem superficial com a obstrução de córregos e consequentemente o surgimento de enchentes;
- c) aumento da disposição de outros tipos de resíduos sólidos, para os quais também não são oferecidas soluções aos geradores, que contribuem com a deterioração das condições ambientais locais;
- d) criação de um ambiente propício para a proliferação de vetores prejudiciais às condições de saneamento e à saúde humana.

De maneira geral, para que os objetivos da gestão de resíduos sejam alcançados, é necessária a aplicação de técnicas de reutilização no canteiro de obra. Entre os diversos materiais utilizados nas obras de construção civil passíveis de reutilização, a madeira se destaca por apresentar um grande potencial de reaproveitamento. Além dela, também podem ser citados o tijolo e a argamassa.

A madeira pode ser utilizada de diversas formas na construção, podendo fazer parte da própria edificação (janelas, portas), como também ser utilizada como material de apoio (pallets, formas para estruturas). Em obras de nova construção, as madeiras com possibilidades de reutilização são aquelas usadas como material de apoio. De acordo com WAMBUCO (2002), em aplicações como pallets e formas para estruturas, a madeira pode ser utilizada de três a quatro vezes, sem comprometer a sua utilização. Quando não for possível a reutilização da madeira dentro do canteiro de obra, o material pode ser utilizado como combustível para produção energética em fornos de olarias que produzem material cerâmico.

Outro material passível de reutilização em canteiros de obra é o tijolo. Segundo WAMBUCO (2002), os tijolos que eventualmente forem quebrados durante o processo construtivo, devem ser britados para que, posteriormente, venham a ser reutilizados como base e sub-base de aterros e pavimentos.

Por fim, a argamassa é outro material que pode ser reutilizado. Quando o resíduo coletado da obra puder ser peneirado, obtêm-se uma mistura de argamassa e areia. Esse material pode ser utilizado no processo de fabricação de argamassa de assentamento, argamassa de revestimento e outros, substituindo os agregados naturais.

As técnicas de reutilização, apesar de simples, contribuem diretamente para a redução dos resíduos que seriam depositados em aterros de RCC, assim como, com a preservação do meio ambiente, através da conservação dos recursos naturais.

Porém, mesmo com todos os danos que o RCC mal depositado causa ao meio ambiente e mesmo com as vantagens vistas advindas da reciclagem, a reutilização ainda não é uma realidade presente no cotidiano das construções civis.

Esse problema se dá ao fato de no Brasil ainda não ter se enraizado a cultura da reciclagem, fazendo com que muitas construtoras fiquem resistentes ao processo. Porém, com todo o incentivo e leis criadas nos últimos anos, gerando regras mais claras para gerir esse material e dar o correto fim a ele, a reciclagem vem crescendo nas obras.

Desde a criação da PNRS, muitas construtoras têm buscado se adequar a esse novo cenário, mas o processo ainda é incipiente e não se pode falar em uma tendência. O fato de ainda não existir uma fiscalização efetiva por parte do poder público, torna raras as empresas construtoras realmente preocupadas com a gestão de resíduos.

O principal motor para a maior adesão à reciclagem tem sido, por enquanto, o apelo ecológico e não tanto o econômico, já que muitas construtoras fazem suas propagandas e vendas ligadas a certificações ambientais como o Leadership in Energy and Environmental Design (Leed) e o Alta Qualidade Ambiental (Aqua), que tem contribuído fortemente para viabilizar a reciclagem dos resíduos de construção no canteiro de obras.

Já o apelo financeiro fica em segundo plano, pois grande parte das construtoras ainda não vê os resíduos como oportunidade para aumentar suas receitas e, conseqüentemente, reduzir desperdícios.

O processo de reciclagem começa com a correta separação e acondicionamento do entulho em caçambas ou baias. Por isso a importância de se ter um plano de gestão de resíduos sólidos implantado e solidificado nas atividades da construtora pode ser um complicador. É

necessário que o resíduo, em especial o classe A, não esteja contaminado e, para isso, o canteiro de obras deve ter uma boa gestão de resíduos. O plano é uma boa garantia de que o entulho vai chegar com qualidade para ser reciclado.

Uma das dificuldades para a maior utilização da reciclagem na própria obra é a falta de conhecimento das construtoras acerca das variações do agregado reciclado. Por isso, alguns defendem que esse processo seja feito por empresas especializadas e não no próprio canteiro, visto que o material é muito heterogêneo, dificultando uma dosagem correta.

Outro problema é a ausência de espaço que impede uma maior adesão das construtoras à reciclagem na obra. Em uma demolição, por exemplo, é o momento da “obra” que gera maior volume de material passível de reciclagem (cerca de 70%, segundo Ângulo, S.P). Porém como esse resíduo não tem utilidade imediata, e sim em etapas mais adiante, a construtora se vê obrigada a descartar esse material por falta de local para estocá-lo.

Já durante a etapa de construção, há maior dificuldade e menos interesse em reciclar o resíduo na obra. Já que alguns municípios já contam com uma rede de empresas e áreas de reciclagem que podem fazer uma reciclagem melhor, as construtoras não têm interesse em fazê-lo. Além disso, durante essa etapa existem muitas interferências e atividades ocorrendo simultaneamente em espaços limitados (fundação, estrutura, alvenaria, impermeabilização).

Além disso, outros complicadores da reciclagem em uma obra são:

- a) ausência de áreas específicas para separação dos resíduos;
- b) falta de preparo e incentivo de agentes coletores e recicladores, envolvendo capacitação;
- c) dificuldade em envolver alguns agentes líderes nos canteiros de obras, sejam engenheiros, mestres e encarregados;
- d) dificuldade de envolver os trabalhos terceirizados;
- e) canteiros de obras muito grandes tendem a apresentar focos de resíduos inadequados

### 3.1. EXEMPLOS DE SUCESSO

De forma geral, os materiais reciclados provenientes de RCC podem ser aplicados em diversos produtos. Alguns autores apresentam algumas dessas aplicações de materiais reciclados (LIMA, 1999; PINTO, 1999; ANGULO et al., 2003b; COSTA, 2003):

- a) concreto não armado de baixo consumo;
- b) argamassa de assentamento;

- c) fabricação de pré-moldados de concreto;
- d) blocos;
- e) meios-fios.

Por muito tempo, o mercado de materiais reciclados esteve restrito ao setor de pavimentação, no qual os produtos eram utilizados em camadas de base e sub-base. Porém, de acordo com ANGULO et al. (2003), os dados nacionais demonstram que o setor é incapaz de consumir integralmente os RCC reciclados como base e sub-base de pavimentação. Dessa forma, os estudos desenvolvidos para a utilização de RCC reciclados para outras finalidades ganham importância para que o setor da construção civil nacional possa atingir o desenvolvimento sustentável.

#### 3.1.1. Internacional

Um exemplo de que o setor da construção civil pode ser autossustentável ocorre na Holanda. Com o avanço das indústrias de agregados de RCC, estima-se que o país possa vir a atingir uma capacidade de produção de agregados reciclados de forma a substituir os agregados convencionais, preservando assim recursos naturais como a areia e a brita (EC, 2005). O uso de agregados de RCC na produção de argamassa e concreto é uma opção para que o setor da construção civil consuma os materiais reciclados a partir de suas atividades. De forma simplificada, os agregados de RCC reciclados substituiriam os agregados convencionais na produção da argamassa e do concreto. De acordo com LEVY (2002), os agregados reciclados poderiam substituir até 20% dos agregados convencionais, desde que isentos de contaminantes e impurezas, sem afetar o comportamento do produto final do ponto de vista de resistência mecânica e durabilidade.

#### 3.1.2. Nacional

A partir de 2004, passaram a vigorar no território nacional duas normas técnicas referentes à reciclagem de resíduos da construção civil: a NBR 15115 (ABNT, 2004), que se refere ao uso de agregados reciclados na execução de camadas de pavimentação, e a NBR 15116 (ABNT, 2004), que aborda a utilização de agregados reciclados de RCC em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. AFFONSO (2005) propõe a aplicação dos agregados de RCC reciclados em diversas áreas da engenharia. Segundo o autor, as aplicações atuais para o produto, embora importantes, não deverão, a curto prazo, esgotar totalmente a produção dos RCC gerados nas cidades. Algumas das aplicações propostas são:

- a) camadas drenantes em aterros de resíduos sólidos;
- b) elementos de filtros de fossas sépticas;
- c) elementos de dreno em trincheiras e valas;
- d) elemento substitutivo em estacas de brita para acelerar recalques e melhorar a capacidade de carga em depósitos de solos moles;
- e) elemento de valas subterrâneas para irrigação, eliminando-se a evaporação dos canais a céu aberto;
- f) elemento de base filtrante em estações de tratamento de água e esgoto.

Uma das cidades brasileiras que se destaca pelo tratamento que vem dando aos RCC, é Belo Horizonte - MG. Após a instalação e funcionamento de algumas estações de reciclagem de RCC, como também do trabalho de fiscalização e educação ambiental promovidos nesta cidade, estima-se uma reciclagem de 8,8 mil toneladas/mês e conseqüentemente uma produção de 5.500 m<sup>3</sup> de agregados reciclados, com redução de 80% no custo da produção. (OLIVEIRA et al., 2007).

Além de exemplos práticos, muitas pesquisas já foram desenvolvidas com resíduos de construção civil visando ao seu aproveitamento na própria construção civil.

Lima (2005) pesquisou a utilização de entulho para a produção de argamassas. Para realização da pesquisa ele coletou 33 amostras, distribuídas pelos depósitos do resíduo na cidade de São Carlos, SP. Os resíduos foram separados de acordo com suas características granulométricas, em cinco categorias. Foi analisado o comportamento como agregado na confecção de argamassas, comparando-o ao uso da areia normal. O autor obteve bons resultados na resistência a compressão das argamassas nos traços com presença de cal e atribui esse fato a dois fatores: à reação pozolânica dos finos reativos dos resíduos, em presença da cal e a maior velocidade de carbonatação.

Zordan (1997) abordou a reciclagem da parte mineral do entulho, utilizado como agregado na confecção de concreto. Com esse material, produziu-se concreto em diferentes traços e relação água/cimento, que foram ensaiados à compressão simples, à abrasão e a permeabilidade, em idades distintas. Percebeu-se que, à medida que se diminuiu o consumo do cimento, a resistência à compressão se aproximou dos valores obtidos pelo concreto de referência, enquanto que a resistência à abrasão se mostrou melhor em todos os casos onde se usou entulho como agregado. Os resultados apresentados indicaram que o entulho pode ser

utilizado como agregado, na confecção de concreto não estrutural destinado a infraestrutura urbana.

O estudo de Leite (2001) avaliou o comportamento de concreto produzido com diferentes proporções de agregados miúdo e graúdo de resíduos de construção civil, avaliando ainda algumas propriedades físicas dos agregados reciclados. Considerou-se a influência de diferentes teores de substituição dos agregados miúdos e graúdos naturais por reciclados e diferentes relação água/cimento sobre as propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido sendo submetida a testes de resistência à compressão e à tração. Os resíduos utilizados na pesquisa de Leite (2001) apresentaram em sua composição grande quantidade de rochas natural (29,84%) seguido por argamassa (28,26%) e material cerâmico (26,33%). Segundo o autor diante dos resultados apresentados conclui-se que o uso de agregados é perfeitamente viável para a produção de concreto isso, com relação ao ponto de vista das propriedades mecânicas avaliadas.

Angulo (2005) estudou a viabilidade do emprego dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados em concretos. A porosidade dos agregados estudados bem como, o comportamento mecânico dos concretos, foram também correlacionados com a soma dos teores de aglomerantes e de cerâmicas vermelhas por serem os materiais mais porosos presentes nesses agregados. Os agregados contidos no intervalo de densidade  $d > 2,2$  possuem teores elevados de rochas e teores baixo de cerâmica vermelha, resultando em concretos com comportamento mecânico semelhante ao dos agregados naturais analisados.

O estudo de Silva (2007) relata os resultados obtidos com a implantação das diretrizes da resolução CONAMA nº 307 em um conjunto de obras de pequeno porte na região de Belo Horizonte - MG. Para realização do estudo foram escolhidas três construções novas (residencial, comercial e industrial) e uma obra de reforma. Os estudos indicaram que os resíduos gerados nas obras de reformas chegam a  $684 \text{ kg/m}^2$ , já nas obras de construções novas a média desses resíduos é de  $97,75 \text{ kg/m}^2$ . A separação dos RCC no momento da geração proporcionou uma melhoria na organização, e facilitou a sua reciclagem e a correta disposição final. Destaca-se ainda a possibilidade de reaproveitamento de resíduos na própria obra, o baixo custo do seu gerenciamento (média de 0,22% para as construções novas) e o fato desta gestão não ter alterado o cronograma físico das obras estudadas.

De acordo com Mariano (2008) no Brasil a geração de RCC, em novas edificações, é de  $300 \text{ kg/m}^2$ , enquanto que em países desenvolvidos é de  $100 \text{ kg/m}^2$ . A autora estudou o gerenciamento de RCC com aproveitamento estrutural em uma obra com  $4.000 \text{ m}^2$  em Curitiba

-PR. Foi elaborado o plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), que foi aplicado durante toda a fase de execução do empreendimento. Constatou-se nos estudos de Mariano (2008), uma geração de resíduos inferior às médias nacionais e próximas às médias internacionais. Os valores obtidos pelo concreto variam de 6 MPa a 21,4 MPa, para a mesma mistura. O estudo evidenciou que a fabricação de concreto estrutural com a utilização de agregados reciclados é possível, mas o custo em relação ao concreto produzido com agregados convencionais é mais alto.

Freitas (2009) elaborou um diagnóstico da geração de RCC para o município de Batatais SP. De acordo com os resultados desse estudo, o município teve uma taxa de geração per capita de 1,18 kg/hab./dia, o que corresponde a 347,05 kg/hab./ano e 64,50 toneladas de RCC gerados todos os dias no município, sendo menor do que os índices pesquisados em outros municípios brasileiros. Os RCC gerados são compostos por mais de 99% de resíduo Classe A, sendo em sua grande maioria concreto, areia e materiais cerâmicos favorecendo, portanto, o beneficiamento em usinas de reciclagem.

Portanto, a reciclagem dos RCC é uma forma de transformar um resíduo em um recurso. Segundo WILBURG e GOONAN citado por COSTA (2003), a reciclagem dos RCC tem o potencial de aumentar a vida útil dos recursos naturais, através do fornecimento paralelo de material reciclado; reduzir os impactos ambientais; e garantir a sustentabilidade dos recursos naturais.

#### **4. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

A aprovação de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, após anos de discussões no Congresso Nacional marcou o início de uma forte articulação institucional envolvendo os três entes federados – União, Estados e Municípios –, o setor produtivo e a sociedade em geral na busca de soluções para os problemas graves e de grande abrangência territorial, que vem comprometendo a qualidade de vida dos brasileiros.

O gerenciamento adequado dos RCC ainda encontra obstáculos pelo desconhecimento da natureza dos resíduos e pela ausência de cultura de separação, entre outros. Dessa forma, e diante da relevância desse problema, os RCC estão sujeitos a legislação referente aos resíduos sólidos, bem como à legislação específica de âmbito federal, estadual e municipal.

##### **4.1. FEDERAL**

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Ela prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

Além disso, ela institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, essa lei vai criar metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e instituir instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Também coloca o Brasil em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na Logística Reversa quando na Coleta Seletiva.

Ainda de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, essa lei é importante pois os instrumentos da PNRS ajudarão o Brasil a atingir uma das metas do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, que é de alcançar o índice de reciclagem de resíduos de 20% em 2015.

O Documento Preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos foi apresentado pelo Governo Federal após audiências públicas regionais e nacionais, e trabalha em estreita relação com os outros planos nacionais como o de Mudanças do Clima (PNMC), o de Recursos Hídricos (PNRH), de Saneamento Básico (Plansab), e de Produção e Consumo Sustentável (PPCS).

A seguir são apresentadas as metas específicas para os RCC que se espera alcançar durante a implementação do PNRS. As metas foram projetadas tendo como base as disposições da Lei 12.305/10 e o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no Brasil.

- a) Meta 1: Eliminação de 100% de áreas de disposição irregular (bota foras);
- b) Meta 2: Implantação de Aterros Classe A licenciados (reservação de material para usos futuros) em 100% dos municípios atendidos por aterros de RCC;
- c) Meta 3: Implantação de PEV's (Pontos de Entrega Voluntária), Áreas de Triagem e Transbordo em 100% dos municípios;
- d) Meta 4: Reutilização e Reciclagem de RCC em 100% dos municípios, encaminhando os RCC para instalações de recuperação;
- e) Meta 5: Elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção, pelos grandes geradores, e implantação de sistema declaratório dos geradores, transportadores e áreas de destinação;
- f) Meta 6: Elaboração de diagnóstico quantitativo e qualitativo da geração, coleta e destinação dos resíduos.

Além desse documento, o CONAMA e a ABNT, dois órgãos de âmbito nacional, estão sempre se atualizando e fiscalizando os órgãos estaduais e municipais para que todos atuem na construção civil de forma sustentável.

#### 4.2. ESTADUAL

Assim como foi criado o PNRS para o gerenciamento dos resíduos sólidos em âmbito nacional, em 2013 foi criado o PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos, que abrange todo o Estado do Rio de Janeiro, com um item tratando especialmente da geração e destinação dos RCC e RCD.

Quando se trata de resíduos sólidos, a maior dificuldade encontrada é quantificar efetivamente o RCC gerado, pois, em realidade, apenas o material que chega às áreas legalizadas é contabilizado. Vazamentos clandestinos em terrenos baldios, margens de corpos hídricos, encostas, ou mesmo usados para aterramentos de áreas baixas, podem apenas ser estimados.

Essa deficiência de dados específicos quanto às quantidades dos RCC geradas em cada local, somada à baixa abrangência dos critérios utilizados para previsão de sua produção, faz com que seja preciso recorrer a parâmetros, de caráter mais geral, que permitam um maior ajuste aos quantitativos reais observados na prática.

Na tentativa de sanar estas deficiências, as empresas especializadas em resíduos efetuam estimativas a partir da geração per capita de RCC. Tal método, apesar de ser mais abrangente que outros anteriormente testados, também possui suas falhas, pois não leva em consideração o crescimento econômico da região, fator que afeta diretamente a geração de resíduos da construção civil. Desta forma, a média nacional utilizada para estimativa de geração de RCC é de 0,52 ton/hab x ano.

A principal característica dos RCC é sua heterogeneidade, pois podem ser constituídos por diversos tipos de materiais. Em linhas gerais, pode-se afirmar que suas características dependem diretamente do desenvolvimento da indústria da construção civil da região, bem como da localização geográfica, do perfil das atividades econômicas, da densidade demográfica, do tipo e fase da obra, das técnicas construtivas empregadas, das características regionais, entre outros fatores.

Em termos específicos, a caracterização dos RCC é de fundamental importância para ajudar a identificar alternativas para reduzir, reutilizar e reciclar o entulho gerado nas obras de construção e demolição, incluindo as pequenas reformas.

No PERS, a metodologia escolhida para se obter as amostras que foram submetidas aos testes de caracterização dos RCC foi a de Quarteamentos Sucessivos, onde se reparte a mostra inicial (5 a 10 toneladas de resíduos) em quatro partes, tentando homogeneizar cada parte e cada quarto dividido em mais quatro partes e assim sucessivamente, até se obter uma amostra final o mais homogêneo possível.

A composição gravimétrica dos RCC foi determinada para classificar os tipos de materiais de cada fração do processo de retirada de amostra. Os elementos compostos por mais de um tipo de material foram classificados de acordo com o mais predominante.

Segundo a Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia do Estado do Rio de Janeiro, a realidade atual, trazida à tona pelas informações coletadas, é que os municípios adotam, predominantemente, um conjunto de ações que levam a um "círculo vicioso", caracterizado pelo seguinte:

- a) o município relega o manejo dos resíduos da construção civil a segundo plano porque os recursos são escassos e não há interesse do setor privado em investir no assunto;
- b) ao relegar o correto manejo dos RCC a segundo plano, a Prefeitura não disponibiliza recursos para fiscalizar e obter dados e informações sobre a geração, o tipo e a destinação final dos RCC;
- c) sem dados sobre a geração, o tipo e a destinação final dos RCC, os empresários do setor privado não demonstram interesse (nem necessidade, visto que não há fiscalização) em investir no manejo dos resíduos da construção civil.

Além disso, os RCC não incomodam a população da mesma forma que o lixo domiciliar e, desta forma, a pressão da população sobre a Prefeitura para resolver o problema do entulho de obra é quase inexistente, se resumindo a poucas solicitações de associações de moradores de comunidades de baixa renda.

Por outro lado, o avanço da consciência ambiental faz crescer a pressão pela implementação de procedimentos ambientalmente adequados e certificados, como o Manifesto de Resíduos, que permitirá aos geradores comprovar que o transporte e a disposição final de seus resíduos foram adequados.

De acordo com a Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia do Estado do Rio de Janeiro, tão logo os RCC sejam dispostos corretamente, outro aspecto a ser contemplado, é a cadeia de reciclagem dos RCC. Seria fundamental que as prefeituras e/ou seus consórcios e o Estado, estabelecessem a obrigatoriedade do uso, em obras públicas, de um percentual mínimo de agregados reciclados e artefatos produzidos a partir dos RCC.

Outra medida interessante seria, no campo fiscal, uma redução no valor do IPTU cobrado para imóveis usados em atividades de reciclagem, que seria mais um incentivo a ser dado pelas prefeituras para melhorar a gestão de resíduos no município.

Ações estratégicas dessa natureza alteram a visão sobre os RCC, deixando de serem vistos como resíduos e se transformando em matéria prima.

Em resumo, a Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia elaborou metas a serem alcançadas até 2020.

<b>Metas a Serem Alcançadas</b>	<b>Até Final de 2013</b>	<b>Até Final de 2014</b>	<b>Até Final de 2016</b>	<b>Até Final de 2020</b>
Realizar o mapeamento das áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos urbanos, resíduos da construção civil - RCC, entre outros, providenciando o encerramento do vazamento irregular e responsabilizando o autor da degradação para recuperação da área	---	---	Realizar o mapeamento das áreas degradadas da Cidade	Promover a recuperação/remediação das áreas mapeadas
Garantir a utilização de agregados reciclados de Resíduos da Construção Civil – RCC em obras e serviços de engenharia do município, executadas diretamente pela administração pública	---	---	20%	40%
Garantir a utilização de agregados reciclados de Resíduos da Construção Civil – RCC em obras e serviços de engenharia do município, executadas indiretamente pela administração pública (licitações e concessões públicas)	---	---	20%	40%

Fonte: Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia à SEA para Elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS)

#### 4.3. MUNICIPAL

Em dezembro de 2008 foi promulgada a Lei nº 4.969 que, segundo seu Artigo 1º, “*define objetivos, instrumentos, princípios e diretrizes para a gestão integrada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e o controle da poluição, a proteção e a recuperação da qualidade do meio ambiente, a inclusão social e a promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Município do Rio de Janeiro*”.

No capítulo V desta Lei, onde cada procedimento é diferenciado de acordo com as atividades executadas, a seção III regulamenta especificamente o gerenciamento dos RCC. São 6 itens, dos quais, os mais relevantes serão destacados a seguir.

Art. 23. *As diretrizes técnicas e procedimentos do Programa Municipal de Gerenciamento de RCC, aplicável aos pequenos geradores, devem obedecer aos critérios técnicos do Sistema Municipal de Limpeza Urbana.*

Art. 24. *O Projeto de Gerenciamento de RCC, que estabelece os procedimentos necessários para a minimização, o manejo e a destinação ambientalmente adequados dos resíduos, deve ser apresentado pelo gerador, público ou privado, cujo empreendimento*

*requiera a expedição de licença municipal de obra de construção, modificação ou acréscimo, de demolição ou de movimento de terra, e assinado pelo profissional responsável pela execução da obra ou por outro profissional devidamente habilitado, com a respectiva anotação de responsabilidade técnica.*

*Art. 26. Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.*

Além dessas regras, são determinados os locais apropriados de destinação de cada tipo de RCC, de acordo com a especificação da CONAMA:

*I - Classe A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados): deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;*

*II - Classe B (resíduos recicláveis para outras destinações): deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;*

*III - Classe C (resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação): deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;*

*IV - Classe D (resíduos perigosos ou contaminados): deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.*

## 5. ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), a argamassa para revestimento é “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”

O aglomerante misturado com água é chamado de pasta, que por si só não é utilizada devido a fatores econômicos e ao efeito indesejado da retração. Ao misturar-se a pasta ao agregado, obtém-se uma argamassa. As argamassas são assim constituídas por um material ativo, a pasta, e um material inerte, o agregado. Este último torna a argamassa mais barata e compensa sua retração [HANAY, 1992].

### 5.1. TIPOS DE ARGAMASSA

#### 5.1.1. Quanto ao tipo de aglomerante

##### a. Argamassa de cal

A argamassa de cal é composta de cal, agregado miúdo e água. Tem resistência mínima a flexão e esforços cortantes, mas apenas razoável à compressão. Segundo Carasek (2007), apesar de ser mais econômica e ser muito aderente às superfícies, tem pouca resistência à umidade e endurecimento lento quando comparado ao da argamassa de cimento.

##### b. Argamassa de cimento

A argamassa de cimento é constituída, basicamente, de cimento (Portland comum ou cimentos especiais), agregado miúdo e água. Apesar de ser mais impermeável que a argamassa de cal e atingir elevada resistência às solicitações mecânicas em pouco tempo, ela tem pouca aderência e baixa retração de água. (Carasek, 2007)

##### c. Argamassa mista

De acordo com Mariano L.S. (2008), nesse tipo de argamassa, os componentes (cal, cimento, agregado miúdo e água) são misturados para combinar suas propriedades de acordo com o serviço a ser executado. Por exemplo, se usada para retardar a pega e diminuir a desidratação, adiciona-se uma pequena quantidade de cal as argamassas de cimento. Ou se o objetivo for dar maior resistência, acelerar a pega e tornar a argamassa mais impermeável, pode-se colocar uma pequena quantidade de cimento à argamassa de cal.

O traço empregado na argamassa mista leva em conta o projeto de execução da alvenaria e do sistema de revestimento, a função das camadas de revestimento, a localização (interno ou

externo), o tipo de acabamento, entre outros. Essa dosagem pode ser feita em central, preparada em obra, industrializada ou fornecida em sacos ou silos.

#### 5.1.2. Quanto à forma de preparo

##### a. Argamassa preparada em obra

Argamassa cujos materiais que a compõem são medidos em volume ou massa e misturados no próprio canteiro de obra. Deve-se atentar para uma orientação adequada do pedreiro para que, procurando uma melhor trabalhabilidade, não se descuide do traço, acrescentando água em excesso, por exemplo.

##### b. Argamassa industrializada

As argamassas industrializadas, de acordo com a norma NBR 13529 (ABNT, 2013), são aquelas provenientes da dosagem controlada, em instalações próprias (indústrias), de aglomerante(s), agregado(s), e, eventualmente, aditivo(s), em estado seco e homogêneo, compondo uma mistura seca à qual o usuário somente adiciona a quantidade de água requerida para proceder à mistura.

## 5.2. FUNÇÕES DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

A argamassa de revestimento é utilizada para revestir paredes, pisos e tetos, preparando-os para receber acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados e outros. O revestimento pode ser constituído de várias camadas, exercendo funções importantes como impermeabilização e regularização de superfícies; melhora de vedações como isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e gases; contribuição para a estética de fachadas, entre outros. As camadas de revestimento podem ser divididas como se segue:

### 5.2.1. Chapisco

O chapisco é uma camada base que serve de preparo para as outras camadas. Pode ser aplicado de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência entre a base e o revestimento seguinte (normalmente o emboço). Ele também contribui com a estanqueidade da vedação.

### 5.2.2. Emboço

Camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo (porcelanato, cerâmica...). O emboço, que apresenta espessura média de 15mm a 25mm, ajuda a proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo e a integrar o sistema de vedação dos edifícios contribuindo com a estanqueidade. Alguns requisitos para um emboço de bom desempenho são trabalhabilidade, baixas retração e permeabilidade e boa aderência.

### 5.2.3. Reboco

O reboco é uma camada fina de revestimento (no máximo 5mm) utilizada apenas para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo (pintura, por exemplo) ou que se constitua no acabamento final. Por isso não deve apresentar fissuras, principalmente em aplicações externas. Para isto, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar deformações.

### 5.2.4. Camada única

É o revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, normalmente a pintura. Também chamado popularmente de “massa única” ou “reboco paulista” é atualmente a alternativa mais empregada no Brasil. Por esse motivo, a argamassa utilizada e a técnica de execução deverão resultar em um revestimento capaz de cumprir as funções tanto do emboço quanto do reboco, ou seja, regularização da base e acabamento.

### 5.2.5. Revestimento monocamada decorativo

Trata-se de um revestimento aplicado em uma única camada, que faz, simultaneamente, a função de regularização e decorativa, muito utilizado na Europa. A argamassa de RDM é um produto industrializado, ainda não normalizado no Brasil, com composição variável de acordo com o fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos como plastificante e retentor de água.

### 5.3. CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

#### 5.3.1. Cimento

Segundo a NBR 5732 (ABNT, 1991), o cimento Portland é um material com aspecto de um pó fino que, em contato com a água, possui a propriedade de ser ativado procedendo ao processo de endurecimento. Se, por um lado, quanto maior a quantidade de cimento presente na mistura, maior é a retração, por outro, maior também será a aderência à base.

O cimento, um dos aglomerantes da argamassa de revestimento, é responsável pelas propriedades de resistência mecânica. Segundo Carneiro (1993), cimentos da classe CP-40 não devem ser utilizados como revestimento uma vez que têm alta resistência mecânica e correm o risco de fissurar. Já os cimentos Portland, que têm menor resistência mecânica, proporcionam ao revestimento menor rigidez, o que faz com que este resista melhor às grandes deformações com considerável redução de fissuração. Dessa forma, recomenda-se os cimentos Portland da classe CP-32 ou CP-25, por serem os de menor resistência mecânica fabricados no Brasil.

Ainda segundo Carneiro (1993), outra característica a ser levada em conta no cimento utilizado em argamassa de revestimento é o tempo de início de pega (contado a partir do lançamento da água de amassamento até o começo da perda da plasticidade). Essa característica é importante para determinar o tempo de transporte e aplicação da argamassa. Sendo assim, um início de pega rápido não é conveniente pois dificulta a aplicação da argamassa, sendo o ideal um início de pega retardado, seguido de um rápido aumento de resistência.

#### 5.3.2. Cal

O CSTB define a cal como um componente que permite ao revestimento obter diferentes propriedades, tais como plasticidade, compacidade no estado fresco e possibilidade de deformação com pouca fissuração quando endurecida. Portanto, para atender a esses requisitos, a cal utilizada em argamassa de revestimento deve ser de elevada finura e estabilidade.

A elevada finura da cal é o que proporciona plasticidade e retenção de água nas argamassas. Além disso, propicia ao revestimento uma menor fissuração devido à retração por secagem nas primeiras idades. Essa característica é muito importante para as argamassas aplicadas em suportes com alto poder de sucção, pois permite a melhor hidratação do cimento.

#### 5.3.3. Agregado miúdo natural

O agregado miúdo mais utilizado nas argamassas de revestimento é a areia natural, constituída essencialmente de quartzo e extraída de leitos de rios e “cavas” (CARASEK, 2007).

Esse agregado, de forma particulada, tem diâmetros variando entre 0,06 e 2,0 mm. Como a granulometria do agregado tem influência nas proporções de aglomerantes e água da mistura, quando há deficiências na curva granulométrica (isto é, a curva não é contínua) ou excesso de finos, ocorre maior consumo de água de amassamento, reduzindo a resistência mecânica e causando maior retração por secagem na argamassa.

Outro fator da areia que interfere no comportamento da argamassa é a forma da partícula, principalmente no que diz respeito à compactação e à trabalhabilidade. Quanto mais angulosos forem os grãos, pior é a trabalhabilidade, mas proporcionam superfícies mais ásperas, sendo ideais para chapisco e emboço. Já os grãos arredondados, que têm menor superfície específica e menor atrito interno dão maior trabalhabilidade e compacidade à argamassa.

#### 5.3.4. Água

No Manual de Revestimentos de Argamassa, a ABCP define a água como o que confere continuidade à mistura, permitindo a ocorrência das reações entre os diversos componentes, sobretudo as do cimento. A água, embora seja o recurso diretamente utilizado pelo pedreiro para regular a consistência da mistura, fazendo a sua adição até a obtenção da trabalhabilidade desejada, deve ter o seu teor atendendo ao traço pré-estabelecido, seja para argamassa dosada em obra ou na indústria. Considera-se a água potável como a melhor para elaboração de produtos à base de cimento Portland. Não devem ser utilizadas águas contaminadas ou com excesso de sais solúveis. Em geral, a água que serve para o amassamento da argamassa é a mesma utilizada para o concreto e deve seguir a NBR NM 137.

#### 5.4. IMPACTOS AMBIENTAIS

Os resíduos gerados decorrentes das atividades da construção civil podem comprometer o meio ambiente em duas etapas: na geração e na disposição final. No canteiro da obra, a poluição ocorre, principalmente, devido ao mal gerenciamento dos resíduos (ARAÚJO, 2002).

No caso da argamassa, em sua produção podem ser citadas a areia e o cimento Portland como matéria-prima (Degani, 2003). Segundo John (2000), o consumo de recursos naturais em uma determinada região depende da taxa de resíduos gerada, da vida útil ou taxa de reposição das estruturas construídas, das necessidades de manutenção, inclusive as manutenções que visem corrigir falhas construtivas; das perdas incorporadas aos edifícios e da tecnologia empregada.

Além das matérias-primas utilizadas, de acordo com relatório desenvolvido pela Comissão Europeia, “Construction and Demolition Waste Management Practices, and their Economic Impacts”, no ano de 1999, há outros impactos ao meio ambiente causados pela extração de recursos naturais, como:

- a) Poluição sonora, atmosférica e visual;
- b) Possibilidade de poluição do solo e das águas subterrâneas através dos combustíveis e lubrificantes utilizados nas máquinas de extração;
- c) Alteração da fauna e da flora do entorno;
- d) Escassez e extinção das fontes de jazidas de recursos naturais.

Já na disposição final, John e Agopyan (2000) afirmaram que os RCC são compostos por uma variedade de produtos, classificados como: solos; materiais de origem mineral (rochas naturais, concreto, argamassa a base de cimento e cal); resíduo de cerâmica vermelha, cimento amianto, gesso em placa, vidro; materiais metálicos (aço para concreto armado, latão, chapas de aço galvanizado) e, por fim, os materiais orgânicos, como madeira natural ou industrializada, plásticos diversos; materiais betuminosos, tintas e adesivos; papel de embalagem; restos de vegetais e outros produtos de limpeza de terrenos.

No Brasil, como é mostrado na Tabela 1, os materiais componentes dos RCC que apresentaram maiores percentuais, são provenientes de argamassa e tijolos que, somados, ultrapassaram 90% dos resíduos coletados (Bernardes et al., 2008).

<b>Composição média dos materiais de RCC de obras no Brasil (Em %)</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Porcentagem</b>
Argamassa	63
Concreto e blocos	29
Outros	7
Orgânicos	1
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Silva e Filho (Santos, 2009)

Tabela 1: Materiais componentes dos RCC

Os autores ainda classificaram os RCC, de acordo com a resolução nº 307 do CONAMA, e constatou-se que os resíduos Classe A, apresentaram o maior percentual dos

resíduos coletados. Portanto, a maioria dos RCC coletada, que é constituída de argamassa, pode ser reutilizada ou reciclada.

Caso não haja reutilização dos resíduos, alguns dos impactos ambientais que os RCC, quando mal gerenciados, podem causar são:

- a) Emissão de material particulado na atmosfera, considerada pela CETESB (1999), como um grande contribuinte para a poluição do ar;
- b) Assoreamento de rios, lagos e canaletas de drenagem de águas superficiais;
- c) Contaminação de outros resíduos na área de armazenamento temporário.

Segundo Furtado (2005), a construção civil contribui com uma grande parcela da deterioração ambiental nos países desenvolvidos, pois o setor utiliza, no ponto de vista global, aproximadamente 30% das matérias-primas, 42% do consumo de energia, 25% do uso de água e 16% do uso de terra. Em relação à degradação ambiental, a construção civil é responsável por 40% das emissões atmosféricas, 20% dos efluentes líquidos, 25% dos sólidos e 13% de outras liberações.

As informações apresentadas demonstram a necessidade de se buscar alternativas de ações que busquem reduzir os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil.

## 6. PANORAMA DA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Neste capítulo é feito um levantamento de experiências com a utilização de argamassas produzidas com resíduos através de dissertações, monografias e teses de doutorado. Foram estudados um total de cinco casos, com experimentos em que foram utilizados traços de argamassas com a utilização do RCC e RCD.

Neste trabalho não será dado foco ao procedimento experimental como um todo nem aos métodos utilizados em cada procedimento. Será priorizado o teor de resíduo reciclado presente no traço da argamassa e os resultados obtidos para cada um deles.

**1º caso: Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado - Lucinei T. Assunção, Geraldo F. de Carvalho, Márcio S. Barata - Engenharia Civil da Faculdade Ideal (FACI)/Belém-PA.**

### A. Caracterização dos materiais

As argamassas utilizadas foram produzidas com cimento, areia natural de Americano (Santa Isabel – PA), areia reciclada proveniente do beneficiamento de resíduos da construção civil e de demolição e aditivo incorporador de ar para substituir a cal.

#### a. Cimento

Para realização do procedimento experimental, utilizou-se o cimento CP II Z 32, adquirido no mercado de Belém em sacos de 50 kg, e um dos mais usados em obras da região. Constam nas Tabelas 2 e 3, caracterização físico-mecânica e resistência à compressão (NBR 7215/1996a).

Resistência à compressão (MPa) – (NBR 7215/1996a)							
	Corpo-de-prova nº						
	1	2	3	4			
1	13,011	13,552	13,606	—	13,4	2,8	Não aplicável
3	23,242	23,331	23,011	23,501	23,3	1,1	≥ 10 MPa
7	28,906	28,501	28,213	29,051	28,7	1,6	≥ 20 MPa
28	38,142	35,921	36,258	36,621	36,2	1,1	≥ 32 MPa

Fonte: ITACIMPASA, 2006.

Tabela 2: características do cimento utilizado

Fonte: Assunção, L.T. et al

Caracterização físico-mecânica			
Finura – Resíduo na peneira 75 µm	%	0,60	≤ 12,0%
Finura – Resíduo na peneira 325 mesh	%	6,2	Não aplicável
Massa específica real	g/cm <sup>3</sup>	3,01	Não aplicável
Área específica – Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3,868	≥ 2.600 cm <sup>2</sup> /g
Água da pasta de consistência normal	%	27,7	Não aplicável
Tempo de início de pega	h:min	2:40	≤ 1h
Tempo de fim de pega (Facultativo)	h:min	3:15	≤ 10h
Expansibilidade a quente	mm	0,0	≤ 5,0 mm

Tabela 3: características do cimento utilizado

Fonte: Assunção, L.T. et al

b. Agregado miúdo (areia natural)

Neste trabalho, utilizou-se areia natural de Americano, município de Santa Izabel do Pará, tendo suas características apresentadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Determinações	Valores obtidos	Método de ensaio	Limites da NBR 7211/2005 <sup>a</sup>
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	2,60	NBR 9776/1986	—
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	1,63	NBR 7251/1982	—
Teor de material pulverulento (%)	3,5	NBR 7219/1996b	3 – 5*
Impureza orgânica	ausente	NBR 7220/1987b	—

\*Limite de 3% para o concreto submetido a desgaste superficial, e de 5% para os demais concretos  
Fonte: Os autores, 2006.

Tabela 4: Características do agregado miúdo (areia natural)

Fonte: Assunção, L.T. et al

Determinações	Abertura da peneira	Porcentagem (%)		Método de ensaio
	ABNT (mm)	Retida	Acumulada	
Composição granulométrica	9,5	0	0	NBR 7217/1987 <sup>a</sup>
	4,8	0	0	
	2,4	1,6	1,6	
	1,2	11,6	13,2	
	0,6	20	33,2	
	0,3	29,3	62,5	
	0,15	24	86,5	
Fundo	13,5	100		
DMC*	2,40 mm			
Módulo de finura	2,00			
Zona granulométrica	Zona 2 (Fina)			NBR 7211/2005 <sup>a</sup>

Fonte: Os autores, 2006.

Tabela 5: Composição granulométrica do agregado miúdo

Fonte: Assunção, L.T. et al

c. Agregado miúdo reciclado (areia reciclada)

O agregado miúdo reciclado, proveniente dos entulhos gerados na construção de um edifício na cidade Belém, estava na fase de alvenaria. Esse material foi triturado e peneirado, sendo composto, na maioria, por resíduos de argamassas, concretos tijolos cerâmicos. As Figuras 1 e 2 mostram o agregado reciclado antes e depois do beneficiamento. Na granulometria, foram selecionados os grãos que passaram pela peneira 4,8 mm e os que ficaram retidos na 0,15 mm, ensaio, conforme NBR 7217/1987a. Os agregados reciclados obtiveram um teor de material pulverulento de 17,86, com base na NBR 7219/1996b. Pode-se observar, nas Tabelas 6 e 7, as características dos agregados reciclados.



Figura 1: Resíduos antes do beneficiamento

Fonte: Assunção, L.T. et al



Figura 2: Resíduos beneficiados em um moinho

Fonte: Assunção, L.T. et al

Determinações	Abertura da peneira	Porcentagem (%)		Método de ensaio
	ABNT (mm)	Retida	Acumulada	
Composição granulométrica	75,0	0	0	NBR 7217/1987 <sup>a</sup>
	50,0	0	0	
	37,5	1,41	1,41	
	25,0	4,81	6,22	
	19,0	4,88	11,10	
	12,5	10,19	21,29	
	9,5	4,71	26,00	
	6,3	3,11	29,11	
	4,8	0,77	29,88	
	2,4	0,97	30,85	
	1,2	0,77	31,62	
	0,6	4,17	35,79	
	0,3	29,76	65,55	
	0,15	20,72	86,27	
Fundo	12,07	98,34		
DMC*	37,5 mm			
Módulo de finura	3,20			
Zona granulométrica	Zona 2 (Fina)			NBR 7211/2005 <sup>a</sup>

Tabela 6: Composição granulométrica do agregado miúdo

Fonte: Assunção, L.T. et al

Determinações	Valores obtidos	Método de ensaio	Limites da NBR 7211/2005 <sup>a</sup>
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	2,48 g/cm <sup>3</sup>	NBR 9776/1986	—
Teor de material pulverulento (%)	17,86	NBR 7219/1996b	3 - 5*
Impureza orgânica	ausente	NBR 7220/1987b	—

\*Limite de 3% para o concreto submetido a desgaste superficial, e de 5% para os demais concretos  
Fonte: Os autores, 2006.

Tabela 7: Características do agregado miúdo

Fonte: Assunção, L.T. et al

#### d. Água

Neste trabalho, utilizou-se água da rede pública da Companhia de Saneamento do Pará (Cosanpa), da cidade de Belém do Pará, considerada potável, destacando-se que não foram realizados ensaios para sua caracterização.

#### e. Aditivo

Foi utilizado aditivo incorporador de ar, mais especificamente no traço de referência 6 ml de aditivo, conforme orientação do fabricante, e nos traços com agregados reciclados de 3 ml.

## B. Resultados

Para análise dos resultados, as argamassas foram divididas em três grupos. Denominou-se o traço de referência de REF e os traços com 30% e 50% de agregado reciclado de AR30 e AR50, respectivamente. Para o traço de referência, foram utilizados 6 ml de aditivo incorporador de ar, e para os traços com agregados reciclados (AR30 e AR50), 3 ml de aditivo.

### a. Consistência

Essa propriedade é um indicador da trabalhabilidade, servindo de parâmetro para determinar a quantidade de água necessária à mistura, a fim de que a argamassa alcance trabalhabilidade desejável (ensaio descrito na NBR 13276/2005b). Neste trabalho, foi adotada consistência de  $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ . O ensaio foi realizado pela mesa de consistência manual.

Os valores encontrados (Tabela 8) serviram de base para determinação da massa de água a ser utilizada nos traços tanto de referência, com 100% de agregado natural, quanto nos AR30 e AR50. Os traços com agregados reciclados alcançaram aumento do fator água/aglomerante, em razão da influência da finura dos agregados.

Traço	1ª determinação em mm	2ª determinação em mm	Média	Fator a/c
REF	263,25	258,48	260,865	1,08
AR30	270,96	266,64	268,800	1,32
AR50	280,82	282,32	281,570	1,38

Tabela 8: Resultados das consistências e fator água/cimento (a/c)

Fonte: Assunção, L.T. et al

### b. Resistência à compressão axial

As argamassas de revestimento devem resistir a pequenos esforços de compressão axial. O ensaio de determinação da resistência por compressão axial está descrito na NBR 13279/2005d. As resistências da argamassa AR50 obtiveram valores consideráveis em relação ao traço de referência (Tabela 9).

Traços	REF	AR 30	AR 50
7 dias	4,30	3,80	6,16
	4,43	4,48	6,21
	4,29	4,58	6,98
14 dias	4,59	4,74	7,74
	3,97	5,70	6,40
	4,97	5,20	8,10

Tabela 9: Resultados em MPa do ensaio de compressão axial

Fonte: Assunção, L.T. et al

c. Resistência à tração por compressão diametral

A solicitação à tração tem uma ordem de grandeza maior nas argamassas de revestimento que as de compressão axial. A resistência à tração por compressão está descrita na NBR 7222/1983 (Tabela 10).

Traços	Ref	AR30	AR50
7 dias	0,35	0,39	0,70
	0,46	0,50	0,69
	0,46	0,58	0,75
14 dias	0,63	0,74	0,83
	0,62	0,77	0,80
	0,61	0,72	0,76

Tabela 10: Resultados em MPa do ensaio de tração e de compressão diametral

Fonte: Assunção, L.T. et al

d. Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração avalia a capacidade de as argamassas não sucumbirem aos esforços normais de tração. Geralmente, os resultados desse tipo de ensaio são variáveis, por causa de a resistência ao arrancamento ser medida da interação argamassa/substrato, dependendo, portanto, das características de ambos. O ensaio para determinação desse tipo de resistência foi realizado nos revestimentos com 14 dias, seguindo os procedimentos descritos na norma 13528/1995. Segundo a NBR 13749/1996c, para paredes internas é preciso obter um valor 0,20 MPa, e para as externas, maior que 0,30 MPa. Comparando os resultados deste ensaio, considerados satisfatórios, observa-se que os valores obtidos são aqueles descritos na NBR 13749/1996c (Tabela 11).

Traço	Ref	AR 30	AR 50
Determinações 14 dias			
1	0,42	0,24	0,40
2	0,59	0,34	0,61
3	0,58	0,44	0,63
4	0,52	0,42	0,71
5	0,32	0,48	0,50
6	0,43	0,20	0,55
7	0,88	0,46	0,50
Média	0,53	0,56	0,36

Tabela 11: Resultados em MPa do ensaio de aderência à tração

Fonte: Assunção, L.T. et al

## 2º caso: Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil – Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos

### A. Definição dos traços da argamassa

As argamassas utilizadas neste estudo experimental foram argamassas mistas com traço 1:1:6 (cimento:cal:areia), em volume, comumente utilizada na execução de alvenarias de vedação e estrutural, esse traço também pode ser utilizado como revestimento argamassado nas fachadas de edifícios acima de 20 pavimentos; argamassas mistas de assentamento com função estrutural específica, com traço 1:0,5:4,5 (cimento:cal:areia), em volume, comumente utilizadas em prédios de alvenaria estrutural acima de 4 (quatro) pavimentos.

### B. Formulação das argamassas

Essas argamassas foram formuladas a partir da substituição de diferentes teores de cimento pelo resíduo de pedra de rocha calcária (RPPC) e o resíduo do polimento do porcelanato (RPP). Como mostra a Tabela 12, foram formuladas um total de 16 (dezesseis) argamassas com substituições, consideradas argamassas com resíduos, e 2 (duas) argamassas sem adições, consideradas argamassas de referência (REF), que serviram como parâmetro comparativo.

Traço da argamassa	Argamassa	Teor de resíduo (%)	Resíduo	Nomenclatura
1:1:6	A1	0	REF*	A1/0/REF
1:1:6	A1	5	RPPC	A1/5/RPPC
1:1:6	A1	10	RPPC	A1/10/RPPC
1:1:6	A1	20	RPPC	A1/20/RPPC
1:1:6	A1	30	RPPC	A1/30/RPPC
1:1:6	A1	5	RPP	A1/5/RPP
1:1:6	A1	10	RPP	A1/10/RPP
1:1:6	A1	20	RPP	A1/20/RPP
1:1:6	A1	30	RPP	A1/30/RPP
1:0,5:4,5	A2	0	REF*	A2/0/REF
1:0,5:4,5	A2	5	RPPC	A2/5/RPPC
1:0,5:4,5	A2	10	RPPC	A2/10/RPPC
1:0,5:4,5	A2	20	RPPC	A2/20/RPPC
1:0,5:4,5	A2	30	RPPC	A2/30/RPPC
1:0,5:4,5	A2	5	RPP	A2/5/RPP
1:0,5:4,5	A2	10	RPP	A2/10/RPP
1:0,5:4,5	A2	20	RPP	A2/20/RPP
1:0,5:4,5	A2	30	RPP	A2/30/RPP

\* argamassa de referência (sem resíduo).

Tabela 12: Formulação das argamassas

Fonte: Santos, M.L.L.O.

### C. Planejamento experimental

Após a definição dos traços e formulação das argamassas foi realizada a caracterização dos materiais a serem empregados nas dosagens das argamassas, em seguida a conversão dos

traços em volume para massa. Logo após, foi abordada a descrição do preparo das argamassas para então, realizar-se a caracterização das mesmas.

#### D. Materiais

As argamassas mistas foram confeccionadas utilizando-se cimento, cal, areia natural, resíduo de pedra de rocha calcária e resíduo do polimento do porcelanato.

##### a. Cimento

O cimento a ser utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP II F 32, da marca Poty, de um mesmo lote, fornecido por uma concreteira local. A escolha do tipo de cimento deu-se por ser um cimento que não possui pozolana em sua composição, além de ser largamente utilizado em obras da região.

##### b. Cal

Para realização da pesquisa fez-se uso da cal hidratada CH I, de um mesmo lote, fornecida pela indústria Carbomil, produtora de cal, localizada no estado do Ceará. A cal foi armazenada em um recipiente plástico, vedado, revestido internamente com saco plástico, ficando assim protegida das intempéries.

##### c. Agregado miúdo

O agregado miúdo, aqui denominado areia quartzosa de origem natural, foi adquirido em uma jazida, no distrito de Igreja Nova, localizado no município de Macaíba/RN. Através de uma inspeção visual pode-se constatar que a mesma não apresentava impurezas e que possuía granulometria uniforme.

Foi coletado aproximadamente 2 m<sup>3</sup> de areia média, em sacos de aniagem, para serem utilizados na confecção das argamassas. Todo material foi seco em estufa e em seguida acondicionado em recipientes plásticos com tampa, revestidos internamente com saco plástico, estando assim protegido das intempéries.

##### d. Resíduos

Os resíduos utilizados neste trabalho foram os derivados do polimento do porcelanato (RPP) e pedra de rocha calcária (RPPC). Primeiramente eles foram peneirados na peneira de malha com abertura 2,4 mm, a fim de se excluir eventuais partículas com diâmetros superiores

e que não fizessem parte da sua composição original. Nenhum beneficiamento preliminar foi feito aos resíduos, nem ocorreu descarte da porção abaixo de 0,075 mm, com o intuito de verificar a possibilidade de uso desses materiais, exatamente como encontram-se estocados nos pátios dos seus produtores. Além disso, qualquer beneficiamento implicaria em custos adicionais ao processo.

## E. Resultados

### a. Consistência

A Tabela 13 permite analisar a variação percentual dos índices de consistência obtidos em todos os ensaios realizados com as argamassas A1 e A2 para todos os traços formulados em relação às argamassas de referência.

Argamassa	$f_{a/agl}$	$f_{a/res}$	$f_{cal/cim}$	Varição entre a consistência das argamassas com resíduos e argamassas de referência (%)
A1/5/RPPC	1,18	34,67	0,66	-8,91
A1/10/RPPC	1,22	17,29	0,70	-4,26
A1/20/RPPC	1,31	8,65	0,79	-6,98
A1/30/RPPC	1,41	5,77	0,90	-8,53
A2/5/RPPC	1,15	26,81	0,33	-0,77
A2/10/RPPC	1,19	13,40	0,35	-4,98
A2/20/RPPC	1,30	6,7	0,39	-1,53
A2/30/RPPC	1,43	4,47	0,45	-6,51
A1/5/RPP	1,18	39,25	0,66	-19,38
A1/10/RPP	1,22	19,56	0,70	-14,34
A1/20/RPP	1,31	9,78	0,79	-18,22
A1/30/RPP	1,41	6,52	0,90	-18,22
A2/5/RPP	1,15	30,32	0,33	-3,45
A2/10/RPP	1,19	15,14	0,35	-7,66
A2/20/RPP	1,30	7,57	0,39	-6,13
A2/30/RPP	1,43	5,05	0,45	-6,90

Tabela 13: Variação do índice de consistência entre as argamassas com resíduos e argamassas de referência.

Fonte: Santos, M.L.L.O.

Neste ensaio constatou-se que ocorreu uma diminuição do índice de consistência das argamassas produzidas com resíduos, como consequência, um provável aumento na coesão, independentemente do traço.

Observou-se, ainda, que à medida que aumenta a relação cal/cimento, aumenta a necessidade de água para obtenção do índice de consistência padrão. Tal fato provavelmente está relacionado ao aumento da superfície específica da fração aglomerante das argamassas, pois a cal é mais fina que o cimento.

No caso das argamassas A1 e A2 dosadas com RPPC e A2 confeccionadas com RPP, a diminuição do índice de consistência foi abaixo de 9%. Já para as argamassas A1, formuladas com RPP, a diminuição do índice de consistência variou entre 14% e 20%. Neste caso, se pode

dizer que o RPP provavelmente está contribuindo para uma melhor ligação entre o agregado e a pasta de aglomerante, atuando assim como um agente capaz de aumentar a coesão das argamassas. Tal aumento na coesão pode proporcionar ganhos relativos à qualidade e produtividade quando da elevação e revestimento de alvenarias, podendo ainda influenciar na redução de perdas das argamassas, reduzindo assim o desperdício e, conseqüentemente, a geração de resíduos.

b. Retenção de água

A Tabela 14 apresenta a variação percentual da retenção de água entre as argamassas com resíduos e argamassas de referência.

Argamassa	Varição entre a retenção de água das argamassas com resíduos e argamassas de referência (%)
A1/5/RPPC	+4,16
A1/10/RPPC	+1,23
A1/20/RPPC	+3,27
A1/30/RPPC	+4,97
A1/5/RPP	+2,07
A1/10/RPP	-0,40
A1/20/RPP	+1,82
A1/30/RPP	+2,41
A2/5/RPPC	+1,59
A2/10/RPPC	+1,94
A2/20/RPPC	+2,70
A2/30/RPPC	+1,99
A2/5/RPP	-0,42
A2/10/RPP	+1,92
A2/20/RPP	+1,05
A2/30/RPP	+5,97

Tabela 14: Variação da retenção de água entre as argamassas com resíduos e argamassas de referência.

Fonte: Santos, M.L.L.O.

Os resultados obtidos mostram que não ocorreu alteração relevante, ou seja, aumento ou diminuição, da retenção de água das argamassas formuladas, independentemente do percentual ou tipo do resíduo utilizado na mistura. Diante disso, provavelmente, a utilização dos resíduos na mistura das argamassas em substituição ao cimento não influencia essa propriedade.

c. Resistência à tração na flexão e resistência à compressão

As médias dos resultados do ensaio e a variação da resistência à tração na flexão entre argamassas com resíduos e argamassas de referência estão apresentados, respectivamente, na

Tabela 15 e Tabela 16. Já as médias dos resultados do ensaio e a variação da resistência à compressão entre as argamassas com resíduos e argamassas de referência são mostrados, respectivamente, nas Tabelas 17 e 18.

Argamassa	Resistência à tração na flexão (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0/REF	1,08	0,06	5,46
A1/5/RPPC	1,03	0,04	3,78
A1/10/RPPC	1,10	0,05	4,45
A1/20/RPPC	0,39	0,05	13,25
A1/30/RPPC	0,61	0,27	44,79
A1/5/RPP	1,02	0,12	11,30
A1/10/RPP	0,86	0,06	6,65
A1/20/RPP	0,71	0,03	4,65
A1/30/RPP	0,72	0,18	25,36
A2/0/REF	1,85	0,12	6,37
A2/5/RPPC	1,69	0,04	2,56
A2/10/RPPC	1,42	0,06	4,19
A2/20/RPPC	1,46	0,08	5,27
A2/30/RPPC	0,76	0,20	25,96
A2/5/RPP	1,75	0,15	8,77
A2/10/RPP	1,39	0,02	1,67
A2/20/RPP	1,38	0,13	9,16
A2/30/RPP	0,75	0,32	42,14

Tabela 15: Resultados médios da resistência à tração na flexão das argamassas

Fonte: Santos, M.L.L.O.

Argamassa	$f_{cal/cim}$	$f_{agr/agl}$	$f_{res/cim}$	Varição entre a resistência à tração na flexão das argamassas com resíduos e argamassas de referência (%)
A1/5/RPPC	0,66	5,48	0,06	-4,63
A1/10/RPPC	0,70	5,66	0,12	+1,85
A1/20/RPPC	0,79	6,06	0,27	-63,89*
A1/30/RPPC	0,90	6,51	0,46	-43,52
A1/5/RPP	0,66	5,48	0,05	-5,56
A1/10/RPP	0,70	5,66	0,11	-20,37
A1/20/RPP	0,79	6,06	0,24	-34,26
A1/30/RPP	0,90	6,51	0,41	-33,33
A2/5/RPPC	0,33	5,14	0,06	-8,65
A2/10/RPPC	0,35	5,35	0,12	-23,24
A2/20/RPPC	0,39	5,83	0,27	-21,08
A2/30/RPPC	0,45	6,40	0,46	-58,92
A2/5/RPP	0,33	5,14	0,05	-5,41
A2/10/RPP	0,35	5,35	0,11	-24,56
A2/20/RPP	0,39	5,83	0,24	-25,41
A2/30/RPP	0,45	6,40	0,41	-59,46

\* O valor deverá ser desconsiderado. Neste caso, deve ter ocorrido alguma falha quando da execução do ensaio.

Tabela 16: Variação da resistência à tração na flexão entre as argamassas com resíduos e argamassas de referência.

Fonte: Santos, M.L.L.O.

Argamassa	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0/REF	7,68	1,27	16,59
A1/5/RPPC	5,75	1,14	19,77
A1/10/RPPC	6,02	0,96	15,94
A1/20/RPPC	2,93	0,87	29,64
A1/30/RPPC	5,00	0,82	16,41
A1/5/RPP	6,26	1,61	25,76
A1/10/RPP	6,31	0,64	10,10
A1/20/RPP	5,66	1,04	18,34
A1/30/RPP	3,87	0,29	7,43
A2/0/REF	12,91	1,09	8,48
A2/5/RPPC	10,62	0,68	6,42
A2/10/RPPC	9,53	0,42	4,44
A2/20/RPPC	8,05	0,87	10,84
A2/30/RPPC	5,83	0,49	8,45
A2/5/RPP	10,19	0,42	4,16
A2/10/RPP	10,52	1,09	10,38
A2/20/RPP	9,62	1,41	14,70
A2/30/RPP	7,33	1,42	19,40

Tabela 17: Resultados médios da resistência à compressão das argamassas.

Fonte: Santos, M.L.L.O.

Argamassa	$f_{cal/cim}$	$f_{agr/agl}$	$f_{res/cim}$	Varição entre a resistência à compressão das argamassas com resíduos e argamassas de referência (%)
A1/5/RPPC	0,66	5,48	0,06	-25,13
A1/10/RPPC	0,70	5,66	0,12	-21,61
A1/20/RPPC	0,79	6,06	0,27	-61,85*
A1/30/RPPC	0,90	6,51	0,46	-34,90
A1/5/RPP	0,66	5,48	0,05	-18,49
A1/10/RPP	0,70	5,66	0,11	-17,84
A1/20/RPP	0,79	6,06	0,24	-26,30
A1/30/RPP	0,90	6,51	0,41	-49,61
A2/5/RPPC	0,33	5,14	0,06	-17,74
A2/10/RPPC	0,35	5,35	0,12	-26,18
A2/20/RPPC	0,39	5,83	0,27	-37,65
A2/30/RPPC	0,45	6,40	0,46	-54,84
A2/5/RPP	0,33	5,14	0,05	-21,07
A2/10/RPP	0,35	5,35	0,11	-18,51
A2/20/RPP	0,39	5,83	0,24	-25,48
A2/30/RPP	0,45	6,40	0,41	-43,22

\* O valor deverá ser desconsiderado. Neste caso, deve ter ocorrido alguma falha quando da execução do ensaio.

Tabela 18: Variação da resistência à compressão entre as argamassas com resíduos e argamassas de referência.

Fonte: Santos, M.L.L.O.

Quando da análise dos resultados apresentados nas Tabela 16 e 18, constata-se que, à medida que aumentam as relações cal/cimento, resíduo/cimento e agregado/aglomerante, ocorre uma relevante diminuição na resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas.

Porém, a NBR 13281 (ABNT, 2005) ressalta que argamassas com bom desempenho e durabilidade estão classificadas nas faixas mais altas da tabela da norma (Tabelas 19 e 20), tanto em relação à resistência à tração na flexão como na resistência à compressão.

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Tabela 19: Resistência à compressão

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)	Método de ensaio
R1	≤ 1,5	NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Tabela 20: Resistência à tração na flexão

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Por isso, analisando apenas o percentual de resíduo presente na mistura, em relação à resistência à compressão, as argamassas A1 estão classificadas na faixa intermediária e a A2 na faixa mais alta da tabela. Já em relação à resistência à tração na flexão as argamassas A1 estão classificadas na faixa mais baixa da tabela e as argamassas A2 nas faixas intermediárias.

Portanto, tanto em relação à resistência à tração na flexão como na resistência à compressão, ressalta-se que, entre as argamassas produzidas com o mesmo tipo de resíduo e mesmo traço não ocorreu diferença quando aumentado o percentual de resíduos presente na mistura.

### **3º caso: Argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados de Fortaleza/CE, Brasil - Maria Elane Dias de Oliveira e Antonio Eduardo Bezerra Cabral**

#### **A. Materiais utilizados na produção da argamassa**

Os materiais utilizados para a produção das argamassas foram areia de rio quartzosa, passante na peneira 4,8mm, cimento Portland CP II Z 32 RS e tijolo cerâmico de 8 furos, todos obtidos em depósitos de material de construção de Fortaleza. A água utilizada foi proveniente da rede pública de distribuição e o agregado reciclado foi proveniente da reciclagem da parte

mineral do RCD coletado por Oliveira et al. (2009), cuja a composição encontra-se na Figura 3.

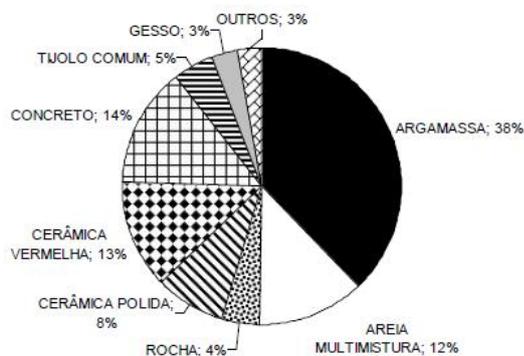


Figura 3: Composição do RCD utilizado para a produção do agregado miúdo reciclado usado no experimento

Fonte: os autores

Para a realização da reciclagem do RCD coletado, foi eliminado do resíduo o gesso e a parcela “outros”, sendo o restante triturado por um britador de mandíbulas modelo 6240. Posteriormente, o material reciclado foi peneirado em peneira de abertura 4,8mm, sendo o material passante aqui denominado de agregado miúdo reciclado ou areia reciclada, o qual foi utilizado no experimento.

## B. Experimento

Para se determinar a influência dos agregados reciclados nas propriedades das argamassas, foi utilizado um procedimento experimental, utilizando-se seis traços, nos quais se substituiu gradualmente os agregados naturais pelos reciclados, conforme teores apresentados na Tabela 21. Os percentuais de substituição são em massa.

Traço N°	Agregado natural (%)	Agregado reciclado (%)
1	100	0
2	90	10
3	80	20
4	70	30
5	60	40
6	50	50

Tabela 21 – Percentagem dos agregados natural e reciclado em cada traço

Fonte: Oliveira, M.E.D. e Cabral, A.E.B.

O traço utilizado para cada ensaio foi de 1:3, em massa, onde o índice de consistência da argamassa (*flow table*), obtido por meio das recomendações da norma NBR 13276 (ABNT, 2005), foi fixado em  $260\text{mm} \pm 10\text{mm}$  e a relação água/cimento de cada argamassa foi ajustada até obter este espalhamento.

Foi construída uma parede de alvenaria com blocos cerâmicos de 8 furos para cada traço de argamassa, sendo em seguida chapiscada. Este procedimento foi adotado para que a argamassa de revestimento tivesse uma melhor aderência com o bloco cerâmico e para que este não absorvesse a água de amassamento da argamassa.

### C. Resultados

#### a. Consistência e porosidade

Para a determinação da quantidade de água necessária para se atingir o índice de consistência desejado das argamassas ( $260\text{mm} \pm 10\text{mm}$ ), seguiu-se as recomendações da NBR13276 (ABNT, 2005), deixando-as 15 minutos em repouso antes da realização do ensaio na mesa de abatimento. As relações água/cimento necessárias para se atingir o índice de consistência desejado para cada traço estão dispostos na Tabela 22.

Traço N°	Relação a/c
1	0,73
2	0,74
3	0,74
4	0,75
5	0,76
6	0,76

Tabela 22: Relação água/cimento encontrada em cada traço para se atingir o índice de consistência desejado

Fonte: Oliveira, M.E.D. e Cabral, A.E.B.

Conforme se pode observar nos dados da Tabela 6, a gradual incorporação do agregado reciclado exigiu uma maior quantidade de água para que se atingir a consistência desejada. Isto muito possivelmente se deve à presença das partículas finas ( $<75\mu\text{m}$ ), aumentando assim a superfície específica a ser molhada, e também à maior porosidade deste tipo de agregado.

#### b. Resistência à compressão

A Figura 4 apresenta os valores médios da resistência à compressão das argamassas, aos 14 e 28 dias, dos traços produzidos.

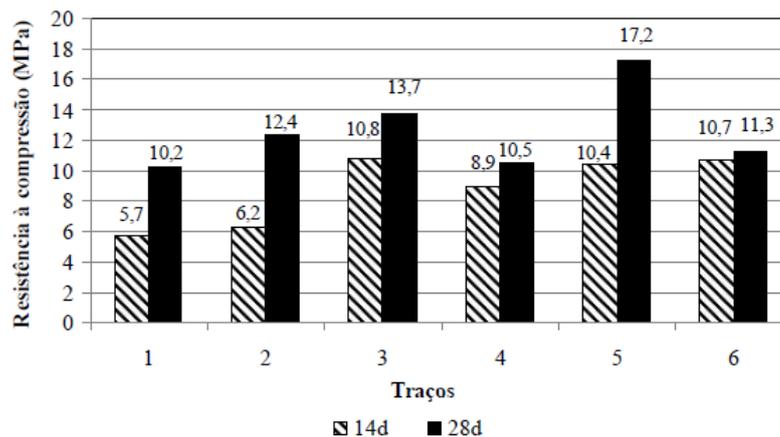


Figura 4 – Resistência à compressão média das argamassas aos 14 e 28 dias

Fonte: Oliveira, M.E.D. e Cabral, A.E.B.

Conforme a Figura 4 pode-se observar que a substituição do agregado natural pelo reciclado propiciou um incremento na resistência à compressão das argamassas, para ambas as idades estudadas. Entretanto, esse incremento de resistência não é linear ao acréscimo de agregado reciclado nas argamassas, em nenhuma das idades estudadas.

A introdução de 10% do agregado reciclado na mistura propiciou um incremento na resistência à compressão da argamassa, aos 14 dias de idade, de 8,8%. Entretanto, a partir do teor de 20% de agregado reciclado, as argamassas aumentaram sua resistência à compressão consideravelmente, aos 14 dias de idade, atingindo acréscimos de 90%, 56%, 83% e 88% com relação à resistência da argamassa de referência, para os teores de substituição de 20%, 30%, 40% e 50%, respectivamente.

Comportamento semelhante se observou para as resistências à compressão aos 28 dias de idade, entretanto os acréscimos nas resistências foram mais modestos. Os acréscimos obtidos foram de 22%, 34%, 3%, 69% e 11% para os traços 2, 3, 4, 5 e 6. Nota-se que a resistência à compressão aos 28 dias de idade das argamassas aumentou à medida que se incorporou os agregados reciclados à mistura, à exceção dos teores de 30% e 50%.

O decréscimo na resistência à compressão obtido para a argamassa do traço 4 (com teor de 30% de agregados reciclados) é incoerente, quando comparado com os resultados obtidos para as argamassas dos traços 3 e 5, que apresentam valores superiores. Entretanto, a incorporação de 50% de agregados reciclados na mistura da argamassa (traço 6) reduziu novamente a resistência à compressão.

Uma explicação para o acréscimo da resistência à compressão à medida que se aumenta o teor de incorporação do agregado reciclado na mistura seria devido à maior presença de água

nas argamassas propiciado por estes, conforme pode ser observado na Tabela 22, devido à elevada absorção de água dos agregados reciclados. Esta água adicional propicia uma maior hidratação dos grãos de cimento (Lima, 2005). Entretanto, a partir de uma determinada quantidade de material reciclado incorporado na mistura, a quantidade de água necessária para se manter a consistência desejada da argamassa é tão grande, que ela reduz a sua resistência à compressão, em função da elevada porosidade produzida.

O comportamento dos resultados obtidos nos ensaios realizados para a resistência à compressão das argamassas é coerente com o de alguns pesquisadores (Leite et al., 2000; Miranda, 2000), entretanto são contraditórios com o de outros pesquisadores (Lima, 2005; Moriconi et al., 2003; Corinaldesi; Moriconi, 2009), uma vez que para estes últimos, a resistência à compressão das argamassas com agregados reciclados, em qualquer teor, sempre foi inferior à resistência à compressão da argamassa de referência. Possivelmente estes resultados são contraditórios porque os métodos de pesquisa utilizados foram diferentes, com composições dos agregados reciclados diferentes, sugerindo a necessidade de uniformizar as pesquisas na área e de se utilizar os resultados obtidos com cautela.

### c. Resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas foi realizado aos 37 dias de idade. Na Figura 5 apresentam-se o maior, o menor e o valor médio da resistência obtida para cada traço produzido.

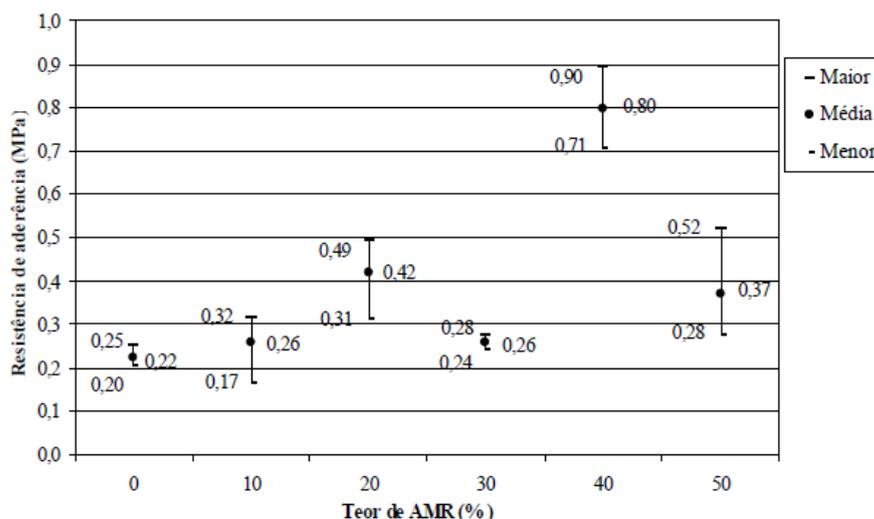


Figura 5 – Resultado da resistência de aderência à tração função dos teores de agregado miúdo reciclado

Fonte: Oliveira, M.E.D. e Cabral, A.E.B.

Conforme pode-se observar na Figura 8, todas as argamassas produzidas atingiram o valor mínimo exigido pela NBR 13749 (ABNT, 1996), para a resistência média de aderência à tração para revestimentos argamassados de parede interna destinados à pintura, que é de 0,20MPa.

Observa-se que à medida que se aumentou o teor de substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados, a resistência de aderência média das argamassas aumentou, à exceção dos teores de 30% e 50%, correspondentes aos traços 4 e 6. Este comportamento é bastante semelhante ao apresentado pela resistência à compressão das argamassas na idade de 28 dias.

O incremento na resistência de aderência possivelmente ocorre devido à maior absorção de água dos agregados reciclados, fazendo com que as argamassas produzidas com estes retenham mais água, propiciando uma melhor hidratação dos grãos de cimento e a formação de uma quantidade superior de cristais hidratados que penetram no substrato, fortalecendo assim a aderência (Lima, 2005; Corinaldesi; Moriconi, 2009; Moriconi et al.,2009).

Portanto, a incorporação do agregado reciclado proporcionou um acréscimo na resistência de aderência e que, de maneira similar à resistência à compressão das argamassas, esse incremento na resistência de aderência não ocorreu de forma linear com a incorporação do agregado reciclado, sugerindo, portanto, que há um teor ótimo de agregados reciclados na mistura.

#### **4º caso: *Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas* - R. R. Menezes, J. Farias Filho, H. S. Ferreira, G. A. Neves, H. C. Ferreira.**

##### **A. Caracterização dos materiais**

Foram utilizados os seguintes materiais: resíduo da serragem do granito, identificado por RG (cedido pela empresa Fuji S.A., Campina Grande, PB); três resíduos da construção civil, coletados em obras de edificações em Campina Grande, PB e identificados por RC-01, RC-02 e RC-03; cal hidratada cálcica e areia (do Rio Paraíba, município de Barra de Santana, PB), com diâmetro máximo de 1,2 mm (determinado segundo a NBR 7200) e módulo de finura de 0,36% (determinado segundo a NBR 7211).

Os resíduos foram coletados segundo a NBR 10007. Após coleta os resíduos da construção passaram por um processo de separação de materiais para retirada de materiais não cerâmicos, como madeira, ferro, plásticos, etc. Em seguida, o resíduo da serragem do granito e

os resíduos da construção foram moídos, passados em peneira malha ABNT 200 (0,074 mm) e caracterizados através de análise granulométrica por espalhamento laser. Depois foram determinadas a massa específica real (NBR 6474), a área específica e sua composição química.

Após caracterização, foi determinado o índice de atividade pozolânica com cal dos resíduos da construção civil. O ensaio para determinar o índice de atividade pozolânica com cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) é uma medida direta do grau de pozolanicidade através da determinação da resistência à compressão simples de corpos-de-prova de argamassa padrão preparada com o material em estudo, cal, areia e água, após 7 dias de cura (resultados na Tabela 23).

Em seguida, foram preparadas argamassas utilizando a proporção 1:3 (uma parte de cal e três de areia), usando fator água/aglomerante de 0,48. As argamassas contendo resíduo foram obtidas incorporando teores de 25, 35 e 50% em massa de resíduo em substituição ao aglomerante (cal) no traço da argamassa convencional. Em seguida, os corpos-de-prova foram moldados e curados em imersão em água por 7, 14, 28 e 60 dias. Após cura, foram determinadas suas resistências a compressão simples.

Resíduo	Índice de Atividade Pozolânica (MPa)
RC-01	16,23
RC-02	7,41
RC-03	1,68

Tabela 23 - Índice de atividade pozolânica com cal dos resíduos da construção.

Fonte: Menezes, R.R. et al

## B. Resultados

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam a resistência mecânica à compressão simples das argamassas estudadas. A argamassa produzida utilizando-se o resíduo RC-01 apresenta um desempenho mecânico superior ao das demais argamassas contendo resíduos, bem como, da argamassa convencional, em todos os dias de cura. No entanto, esse melhor desempenho acentua-se a partir do vigésimo oitavo dia de cura e conforme se aumenta o teor de resíduo incorporado, o que está possivelmente associado à elevada pozolanicidade desse resíduo (Tabela 23). O comportamento mecânico da argamassa contendo o resíduo RC-02 é similar ao da argamassa convencional quando da adição de 25% de resíduo, entretanto, com o aumento da quantidade de resíduo, verifica-se um aumento significativo da resistência das argamassas com resíduo após 28 dias de cura com relação a resistência da argamassa convencional. O que indica

que quando o resíduo não apresenta elevado índice de atividade pozolânica (tal como o RC-01) é necessária uma adequada dosagem no teor de resíduo a fim de se ter uma melhora na resistência da argamassa e que, essa melhora na resistência só se pronunciará após um tempo necessário ao desenvolvimento das reações pozolânicas, que nesse caso, aparente ser da ordem de 28 dias.

A utilização do RC-03 não propicia melhora significativa no comportamento mecânico das argamassas produzidas. No entanto, e, aparentemente, tão importante, é que não ocorre redução na resistência apesar da redução de até 50% do material aglomerante da argamassa, a cal. Nesse sentido, é interessante mencionar que materiais com baixa atividade pozolânica podem, quando finamente pulverizados, desempenhar ação física, atuando como material de preenchimento e melhorando o empacotamento do sistema. Tal fato é importante na densificação do sistema e no conseqüente aumento da resistência do produto final. Assim, acredita-se que o resíduo RC-03 apesar de não possuir atividade pozolânica com a cal (Tabela 23) fez com que não houvesse uma redução na resistência das argamassas, apesar da redução no teor de aglomerante. A incorporação do resíduo de granito em substituição a cal não conduz a melhoras no desempenho mecânico da argamassa produzida. Entretanto, tal como observado com o resíduo RC-03, praticamente não ocorreu alteração no desempenho mecânico das argamassas quando da adição do resíduo RG.

Gonçalves, J.P (2000) já havia indicado que o resíduo RG não possui atividade pozolânica, no entanto também evidenciou que resíduos de granito quando utilizados em concretos e argamassas produzem refino na estrutura dos poros, com o preenchimento dos poros e diminuição dos espaços disponíveis para a água, aloja-se entre grãos dos agregados, contribuindo para uma densificação da zona de transição (matriz-agregado) e da matriz aglomerante. Assim, acredita-se que o resíduo RG agiu de forma semelhante ao do resíduo RC-03 nas argamassas produzidas.

Sendo assim, é comprovado que os resíduos apresentam elevada fração de partículas com dimensões inferiores a 45  $\mu\text{m}$  e que nem todos os resíduos da construção possuem atividade pozolânica com a cal. Além disso, pode-se ver que a substituição do aglomerante por resíduo na produção de argamassas pode ser efetuada com sucesso em teores de até 50% e os resíduos com atividade pozolânica propiciam aumentos significativos na resistência à compressão simples das argamassas.

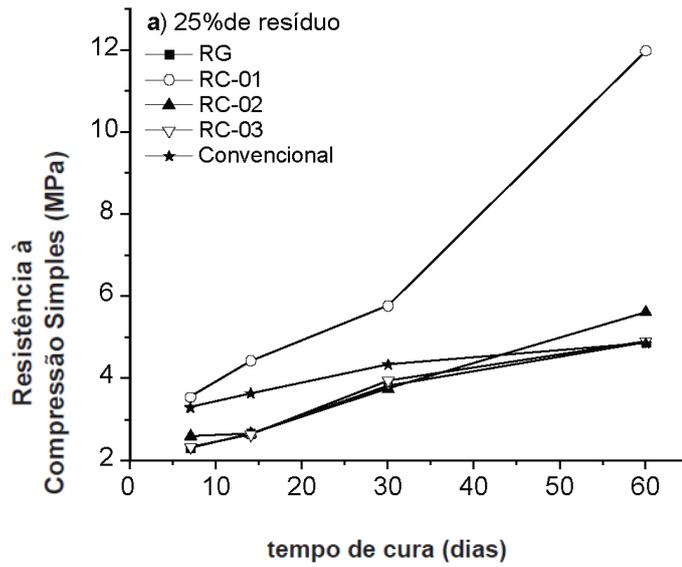


Figura 6: Resistência à compressão simples das argamassas estudadas com incorporação de 25% de resíduo

Fonte: Menezes, R.R. et al

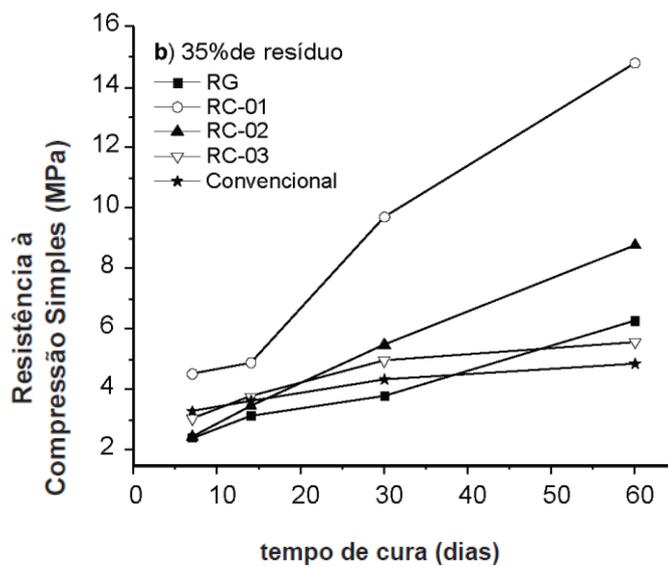


Figura 7: Resistência à compressão simples das argamassas estudadas com incorporação de 35% de resíduo

Fonte: Menezes, R.R. et al

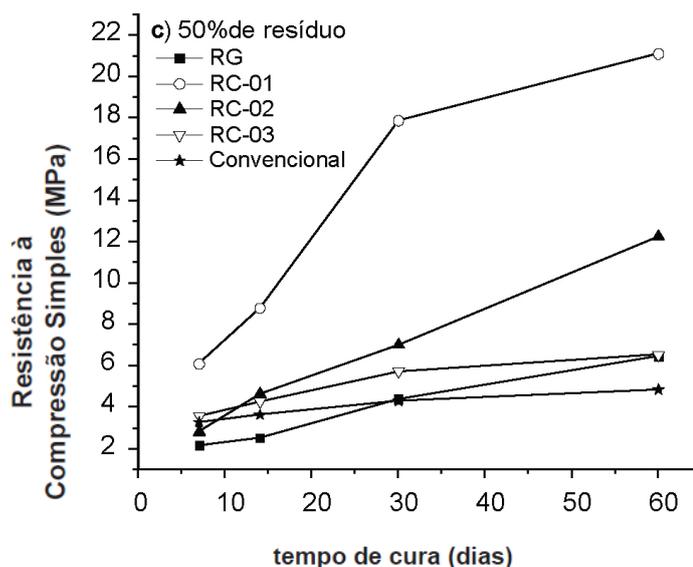


Figura 8: Resistência à compressão simples das argamassas estudadas com incorporação de 50% de resíduo

Fonte: Menezes, R.R. et al

### 5º caso: *Aproveitamento de resíduos de construção na fabricação de argamassas* - Francisco Sales Neves de Souza Lima

#### A. Materiais utilizados

##### a. 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 1,10kg/dm e massa específica de 3,10kg/dm<sup>3</sup>.

##### b. Cal

Foi utilizada cal hidratada CH I da marca Carbomil, com massa unitária igual a 0,43kg/dm<sup>3</sup>, massa específica igual a 2,27kg/dm e 0,91% retido acumulado na #0,075mm.

##### c. Agregado natural

O agregado miúdo utilizado foi areia quartzosa que apresenta coloração branca neve.

#### d. 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 em seguida foi triturado em um britador de mandíbulas ajustado para obter a granulometria desejada. O entulho depois de triturado foi submetido a um peneiramento a fim de se obter o agregado miúdo a ser utilizado na pesquisa.

#### e. 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.

### B. Resultados

#### a. Consistência

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 9 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.

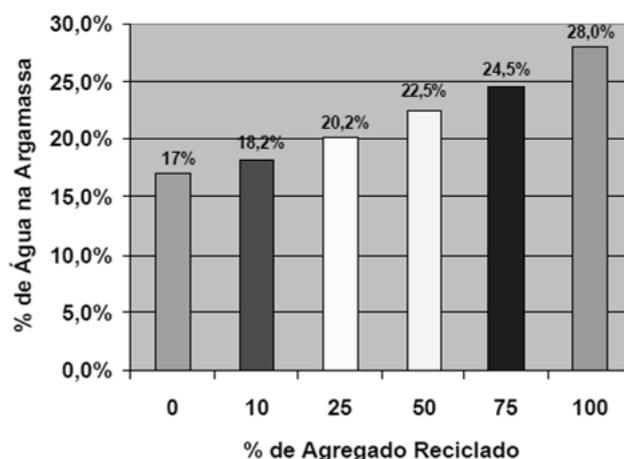


Figura 9 – Percentagem de água necessária para a argamassa atingir a consistência padrão (NBR 13279/95) em função da percentagem de agregado reciclado

Fonte: Lima, F.S.N.S

#### b. Resistência de Aderência à Tração da Argamassa

A Tabela 24 indica a resistência de aderência à tração das argamassas aos 28 dias, aplicadas como revestimento sobre alvenaria com chapisco.

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.

	C. PROVAS	ÁREA(Cm <sup>2</sup> )	Res. Max. (MPa)
Revestimento no chapisco (Agregado Natural)	01	10x10 = 100	0,13
	02	10x10 = 100	0,26
	03	10x10 = 100	0,12
	04	10x10 = 100	0,19
	05	10x10 = 100	0,18
	06	10x10 = 100	0,10
Revestimento no chapisco (Agregado Reciclado)	07	10x10 = 100	0,46
	08	10x10 = 100	0,19
	09	10x10 = 100	0,45
	10	10x10 = 100	0,35
	11	10x10 = 100	0,19
	12	10x10 = 100	0,43

Tabela 24 - Resistência de Aderência à Tração da Argamassa aos 28 dias (Traço: 1:2:8)

Fonte: Fonte: Lima, F.S.N.S

Observa-se que a argamassa com agregado reciclado apresentou resistência e aderência à tração superior àquela com agregado natural. A razão pode ser a maior capacidade de retenção de água do agregado reciclado. Como a argamassa com agregado reciclado retém muito mais água, permite uma maior hidratação do cimento, fortificando a ligação reboco-chapisco.

c. Resistência à Compressão Simples da Argamassa

A Tabela 25 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 repetitividade dos resultados, tendo apresentado o mesmo comportamento aos 7 e 28 dias.

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

Tabela 25 - Resistência à Compressão Simples da Argamassa

Fonte: Fonte: Lima, F.S.N.S

Nota-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 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.

Portanto, os resultados apresentados sugerem que o uso de 100% de agregado reciclado nas argamassas por reter mais água e com isto haver maior hidratação do cimento, tendo assim uma resistência aos 28 dias bem próximo da resistência da argamassa com 100% de agregado natural.

## 7. SÍNTESE DOS ESTUDOS REALIZADOS

A substituição crescente do agregado natural pelo agregado reciclado fez crescer a demanda de água para se chegar à consistência desejada em todos os experimentos analisados. Entretanto, para a maioria das argamassas com agregado reciclado obteve-se resistências à tração, superiores às da argamassa com agregado natural. Esse comportamento também foi constatado para a resistência à compressão, mas apenas em 4 dos 5 casos estudados.

Esses acréscimos das resistências possivelmente aconteceram em função da maior absorção de água dos agregados reciclados, fazendo com que as argamassas produzidas com estes retenham mais água, propiciando uma melhor hidratação dos grãos de cimento e a formação de uma quantidade superior de cristais hidratados.

As resistências de aderência, à tração e de compressão da argamassa no traço, com agregado reciclado foi superior à da argamassa com agregado natural. Quando não foram superiores, satisfizeram ao limite indicado na Norma Brasileira.

No pior caso, a resistência à compressão das argamassas não 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, na maior parte dos casos estudados, a argamassa com agregado reciclado foi superior à da argamassa com agregado natural.

As argamassas produzidas 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.

## 8. CONCLUSÕES

Atualmente, a busca por materiais alternativos está cada vez mais em evidência. Em razão disso, analisou-se, neste trabalho, a alternativa da substituição do agregado natural pelo reciclado na produção de argamassas de revestimento. Nas argamassas produzidas com o agregado reciclado, obteve-se o fator água/cimento maior do que as de argamassas produzidas com agregado natural, resultado esperado em razão de os materiais constituintes absorverem grande quantidade de água. Essas argamassas também apresentaram desempenho adequado, e os resultados foram satisfatórios na resistência mecânica. As resistências obtidas nas argamassas com agregado reciclado foram superiores às da argamassa com o traço usual.

De forma geral, conclui-se que, com base nas características estudadas, o uso de agregados reciclados é viável para produção de argamassas de revestimento. No entanto, é importante ressaltar que a substituição total do agregado natural pelo agregado reciclado, por vezes, causou prejuízos às resistências mecânicas da argamassa e à sua trabalhabilidade.

A argamassa produzida com até 50% de agregado reciclado apresentou-se com melhor desempenho de resistência e trabalhabilidade. Os resultados foram satisfatórios, porém ainda há necessidade de continuidade dos estudos para que os resíduos da construção civil possam ser utilizados, de forma segura, como agregados reciclados, minimizando, dessa forma, os impactos ambientais provocados por esses resíduos.

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

Como sugestões para continuidade da pesquisa e, visando à contribuição para a melhoria da compreensão das mudanças ocorridas com a substituição de agregado natural pelo agregado reciclado, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- a. Estudar a viabilidade econômica do uso do agregado reciclado em larga escala na construção civil;
- b. Desenvolver estudos de retração por secagem de argamassas preparadas com agregado miúdo reciclado;
- c. Estudar a durabilidade das argamassas feitas utilizando-se agregados reciclados;
- d. Analisar a influência dos vários tipos de impurezas que podem estar presentes no material reciclado, sobre as propriedades mecânicas da argamassa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5732:1991. Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15113:2004. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes: aterros: diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15115:2004. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: execução de camadas de pavimentação: procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116:2004. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529:2013. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. “Panorama dos resíduos sólidos no Brasil”, 2011. AFFONSO (2005)

ASSEMBLÉIA GERAL DAS NAÇÕES UNIDAS. Agenda 21 Global. Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento sustentável. ECO 92. Rio de Janeiro, 1992.

ASSUNÇÃO et. Al. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. Publicação, Faculdade Ideal de Belém, Pará, 2007.

DIAS: J. F; Agopyan: V; Silva, T. J., Proposta de procedimento para a determinação da absorção de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil para emprego em concreto. In: Congresso Brasileiro do Concreto (IBRACON). Anais. 47º CBC. p.1-10, (2005).

ÂNGULO, S. C., 2000. Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados. Dissertação de M. Sc., Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ÂNGULO, S. C. et al., 2001, “Utilização de Pilhas de Homogeneização para Controle de Agregados Miúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados”. In: CONSTRUÇÃO 2001: por uma construção sustentável, pp. 713- 720, Lisboa. ANGULO (2005)

ARAÚJO J. H., N. F. da Silva, W. Acchar, U. U. Gomes, Mater. Res. 7, 2 (2004)

BERNADES, A. et al. Quantificação dos resíduos da construção e demolição coletas no município de Passo Fundo, RS. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./out. 2008.

BRASIL. Lei n.º 12.305, de 2 ago. 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fev. 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

CARASEK, H., 2007, “Argamassas”. In: Geraldo C. Isaia, Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, 2a ed., cap. 28, IBRACON. CARNEIRO (1993)

CEF (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL). Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Volume 1 – Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília, 2005.

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana

Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução CONAMA n. 307. Brasília, 2002

COSTA, N. A. A. da. A reciclagem do resíduo de construção e demolição: uma aplicação da Análise Multivariada. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2003.

DEGANI, C. M. Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

EC (EUROPEAN COMMISSION). Construction and demolition waste management practices and their economic impacts. Waste Studies.

FURTADO, J. S. Atitude ambiental sustentável na Construção Civil: ecobuilding & produção limpa.

HUANG, W. L.; LIN, D. H.; CHANG, N. B.; LIN, K. S. Recycling of construction and demolition waste via mechanical sorting process. Journal of Resources, Conservation and Recycling, Volume 37, Issue 1, p23-37, December 2002.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LEITE, M. B.; Pedrozo, P. H.; Oliari, G. F.; Alves, M. F.; Dal Molin, D. C. C.,  
Utilização de agregado reciclado de concreto para produção de argamassa. In: VIII Encontro

LEVY, S. M. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2002.

LIMA, F.S.N.S. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA  
FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade  
Federal da Paraíba.

LIMA, J. A. R. Proposição para diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concreto. Dissertação de Mestrado, São Carlos, 1999.

MARIANO, Leila Seleme. Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000m<sup>2</sup>. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Fortaleza (2008).

MENEZES, R.R. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas /  
Universidade Federal de Campina Grande

OLIVEIRA M. E. D; Sales R. J. M .S; Cabral A. E. B., Diagnóstico da geração e caracterização dos resíduos de construção e demolição da cidade de Fortaleza/ CE: Proposta de reciclagem. Fortaleza/CE In: Encontro Nacional de Resíduos de Construção (ENARC).

OLIVEIRA, M.E.D.; Sales R. J. M .S; Cabral A. E. B. Argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados de Fortaleza/CE, Brasil Dissertação de pós-graduação, Universidade Estadual de Feira de Santana Feira de Santana/BA, Brasil, Natal, 2008.

PINTO, T. P.; Gonzáles, J. L. R., Manejo e gestão de resíduos da construção civil. In: Manual de Orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios.

PINTO T.P. Metodologia para Gestão Diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. 1999. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

POON, C. S. Management and recycling of demolition waste in Hong Kong. Waste Management & Research, p. 561-572, v. 15, 1997.

RIO DE JANEIRO (Município). Resolução SMAC nº 387, de 24 de maio de 2005. Disciplina apresentação de projeto de gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – RCC. Rio de Janeiro, 2005.

SANTOS, M.L.L.O. Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de ciências exatas e da terra, Natal, 2008.

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI JUNIOR, A. Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo. Revista Ambiente Construído, v.4, n.4, p21-32, out/dez, 2004.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C., 2005b, “A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento”. In: Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem II., pp. 1-12, São Paulo.

SOUZA, U. E. L; PALIARI, J. C; AGOPYAN, V; ANDRADE, A. C. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. Revista Ambiente Construído, v.4, n.4, p33-46, out/dez, 2004 .

THORMARK, C. Conservation of energy and natural resources by recycling building waste. Journal of Resources, Conservation and Recycling, v.33, p113-130, abril, 2001.

ZORDAN, S. E., Utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. 140 f.

Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas (1997). WALKER E DOHMANN, 1996

WAMBUCO. Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios – Volume III. União Européia, 2002.