

HELOÍSA HELENA COUTO

Agregados reciclados utilizados na revitalização de residências

Recycled aggregates using in house's revitalizations

Heloísa Helena Couto é graduada em Design de Ambientes, é especialista em Revitalização Urbana e Arquitetônica e Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG). Experiente na área de Arquitetura e Urbanismo. É professora e pesquisadora da Escola de Design da UEMG.

E-mail: hhcriar@yahoo.com.br

Resumo

O aquecimento do setor da construção civil é responsável pela grande produção de entulhos, recolhidos e encaminhados aos aterros sanitários. O resíduo da Construção Civil (RCC) descartado de maneira irregular desrespeita as normas técnicas trazendo prejuízos ao meio ambiente, encurtando a vida útil dos aterros sanitários. Este trabalho está voltado para a gestão dos RCC, visando sua utilização em intervenções em aglomerados urbanos. Para se analisar essa possibilidade, procedeu-se ao recolhimento da amostragem do material bruto, processado e selecionado em Usina de Reciclagem em Belo Horizonte, com o objetivo de um estudo laboratorial e tecnológico. O método adotado foi o indutivo. Os resultados dos testes de Fluorescência de Raios X do pó de agregado reciclado, que serviu de base às argamassas utilizadas, demonstraram semelhanças na constituição química deste com a da argamassa tradicional utilizada na construção civil. Uma vez que os agregados A e B, na sua constituição, possuem grande concentração dos elementos ativos presentes no aglutinante cimento, eles poderão ser utilizados em substituição à areia comum, em argamassas, diminuindo a quantidade de cimento e sílica empregada nas misturas. Os RCC têm um potencial na substituição de matérias-primas convencionais usadas na construção civil, cabendo-se investigar como utilizá-los de forma sustentável. Neste sentido, este estudo contemplou a utilização de material oriundo dos RCC como possível instrumento de revitalização de moradias de população carente. O material estudado é passível de ser patenteado.

Palavras-chave: Agregados reciclados. Arquitetura. Revitalização.

Abstract

The boom of the construction industry is responsible for the production of debris which is added to the municipal waste collected and sent to landfills. The irregular disposal of debris, disregarding established technical standards, brings huge losses to the environment, shortening the lifespan of landfills. The purpose of this work is geared towards the management of construction and demolition waste, aiming at its application and use in urban residential rehabilitation. To examine this possibility, we proceeded to gather the sample of raw material, processed and screened at a recycling plant in Belo Horizonte, with the goal of a technological laboratory study. The method used was inductive. The X-ray Fluorescence test results showed similarities between the chemical constitution of the powder which served as the basis for the mortar used in the mixtures and the traditional mortar used in construction. Once the aggregates A and B has high concentrations in its constitution of the active elements also present in the cement binder, to use this aggregate material instead of the common sand in mortars should greatly decrease the amount of cement and silica in mixtures. Solid construction and demolition waste has the potential to replace conventional raw materials used in construction. The big question is how to use them sustainably. Thus, this study attempted to use material derived from this waste as a possible tool for the revitalization of social housing units.

Keywords: Architecture. Recycled aggregates. Revitalization.

Introdução

Com o crescimento do setor da construção civil, os bota-foras de entulhos clandestinos, em periferias de cidades, em lotes vagos e anéis rodoviários têm causado poluição dos espaços públicos, comprometendo o meio ambiente e encurtando a vida útil dos aterros sanitários, além de causar a degradação da paisagem urbana. Romero (2006) destaca que, no Brasil, é descartado como lixo urbano, o equivalente a US\$ 40 bilhões, sendo apenas a construção civil responsável por US\$13.2 bilhões, correspondente a 33% deste valor, em espécie. Esses Resíduos da Construção Civil (RCC) – juntamente com o gesso, tintas, colas, sacarias de cimento e materiais metálicos de um modo geral – são provenientes de reformas, reparos, demolições e materiais resultantes da preparação e escavações de terrenos.

Fiuza (2009) mostra que a indústria da construção civil é responsável por 5% do PIB e 40% da produção de resíduos. Em Belo Horizonte, em 2007, 1.618.000 toneladas de resíduos foi destinado ao aterro sanitário; 700 mil toneladas de RCC, que equivalem a 43% deste total. 20% do material da construção civil são perdidos com o desperdício, o que equivale a jogar um andar fora a cada prédio de cinco andares que é construído.

Na construção civil, a reciclagem de resíduos é uma tentativa de aproximá-la ao conceito de desenvolvimento sustentável, sendo um processo que a leva a novos rumos quanto à exploração de recursos, à direção dos investimentos e à própria orientação do desenvolvimento tecnológico. Os RCC parecem ter um potencial na substituição de matérias-primas convencionais usadas na construção civil, sendo, assim, a questão levantada neste trabalho justamente a de como lidar com os resíduos da construção civil, de forma sustentável.

O presente estudo encontra respaldo também, na Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) – Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 – que altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 2010). Esta dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, assim como, sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, inclusive os perigosos, e dá outras providências que preveem um conjunto de ações, além do modelo de responsabilidade compartilhada por lixos especiais produzidos – a logística reversa – retorno dos resíduos aos seus geradores facilitando seu tratamento ou reaproveitamento em novos produtos. Indústrias e lojas deverão manter um consenso sobre a responsabilidade de cada parte – outras medidas como financiamento e incentivo ao mercado da reciclagem, aos produtos fabricados com altas taxas de reciclagem e às linhas de pesquisa de reciclagem.

Para abordar essa questão ampla, este trabalho optou por explorar a utilização do RCC processados em areia e brita, nas Usinas de Reciclagem da Pampulha e na BR 040, inseridas respectivamente na Regional Pampulha, zona norte e zona noroeste do município de Belo Horizonte. Estes agregados reciclados foram empregados no desenvolvimento de argamassas para revestimentos externos e pigmentadas, para revestimentos de paredes internas, visando à criação de novo material a ser aplicado em projetos de revitalização arquitetônica e urbana. Assim, aqui serão tratadas a gestão de aplicação e a utilização das argamassas derivadas dos RCC classificados como de classe A pelo **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)** e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O estudo tem como objetivo pesquisar o potencial de utilização dos RCC processados nas Usinas de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil, como material de revestimento, a ser empregado em intervenções urbanas e arquitetônicas, em substituição às matérias-primas convencionais.

O método adotado foi o indutivo, com testes laboratoriais quantitativos químicos e físicos mecânicos, baseados nas normas da ABNT-NBR.

Coleta de dados

Inicialmente, foi feita uma ampla pesquisa bibliográfica e uma pesquisa documental junto à Administração Regional Pampulha. Em paralelo, desenvolveu-se o registro direto, com visitas de campo e registros fotográficos nas três usinas de reciclagem e órgãos municipais.

Ensaio granulométricos e ensaios para caracterização físico-química dos pós.

Em seguida, procedeu-se à classificação granulométrica do material coletado e moído em laboratório, analisando-se a composição química dos pós-finos, através de Fluorescência de Raios-X, na tentativa de encontrar o aglomerante ideal para a mistura, e das proporções de cada um dos materiais agregados, na composição da argamassa a ser empregada como revestimentos de paredes internas e externa.

Estudos tecnológicos

Para se cumprir com os objetivos do projeto, seguiram-se alguns procedimentos tecnológicos, tais como a análise comparativa laboratorial da composição química dos pós e das propriedades mecânicas dos biscoitos cerâmicos dos corpos de prova, revestidos com o filme das argamassas estudadas. A composição química dos pós foi observada por meio de análises de ensaios, utilizando-se da Fluorescência de Raios X no Aparelho EDX-800. As propriedades mecânicas das argamassas foram testadas através do Ensaio de Riscamento, segundo o *Revetest® Software User's Manual*, (1995). O *Scratch Test* desenvolvido para testar a capacidade que um revestimento possui de resistir a solicitações mecânicas de cisalhamento, na interface com o substrato. Callister (1991) foi fonte de referência sobre os processos de produção de compósitos na utilização dos diferentes tipos de pós. Por último, como estudo de caso, fez-se a adição de pigmentos a estas argamassas, realizando-se testes práticos com essas, empregando-as como revestimento de paredes internas de residências em um aglomerado da Regional Pampulha e em uma residência da região nordeste, facilitando a logística.

Aqui cabe anotar ainda que esta primeira fase do trabalho baseou-se nas experiências do projeto "Entulho Bom" de Cassa, Carneiro e Brum (2001); Callister (2001) e em diversas Normas Brasileiras citadas neste trabalho (ABNT-NBR 10004:2004 quanto a classificação dos resíduos sólidos; a ABNT NBR 7200:1982 e NBR 13529/95 determinaram a constituição e a execução dos traços da "argamassa tradicional de reboco; a classificação por granulometria, segundo as ABNT-NBR 7217/1987 e terminologias de rochas e solos, pela ABNT-NBR 6502/1995; as dimensões dos corpos-de-prova e a resistência à compressão especificadas pela NBR 13279/95, além de trabalhos de Miranda (2000), John (2000), Pinto (2001), Sabbatini (1989) e de Gomes (2008) em que foram analisadas as possibilidades da reutilização dos resíduos de construção civil no desenvolvimento de material que deu origem às massas pigmentadas, desenvolvidas para o emprego de revestimentos de acabamento texturizados, em assentamentos de blocos e emboço na construção civil.

Como afirma a ABNT-NBR 7200 (1982, p.1) “a etapa de execução do revestimento é a principal responsável pelos fenômenos patológicos observados”. Assim, visando conhecer as propriedades mecânicas das misturas, foram feitos ainda testes físicos tribológicos, por meio dos quais, apontaram-se as argamassas de maior resistência e de melhor aderência, para revestimentos de paredes.

Para a realização dos ensaios das argamassas tomaram-se como parâmetros os trabalhos de Cassa, Carneiro e Brum (2001). Quanto ao procedimento adotado nos estudos da argamassa, com o intuito de desenvolver novos compósitos para revestimentos como forma de reciclagem dos resíduos da construção civil, partiu-se de experimentos com o pó resultante do processo de peneiração citado anteriormente, misturado aos materiais aglomerantes (a cal, o cimento e o gesso). A argamassa resultante das misturas dos agregados com os aglomerantes constituiu os filmes dos corpos de prova, que passaram pelos testes físicos, em laboratório, seguindo-se a ABNT NBR 14050.

Preparou-se 5g das misturas, pesadas em balança de precisão previamente tarada (zerada), formando um filme da mistura, em corpos de prova de substratos prismáticos de diferentes tijolos cerâmicos, obedecendo a NBR 13279/95. Todas as amostras foram ensaiadas com a mesma carga aplicada. As amostras que apresentaram melhores resultados de cisalhamento, não ocorrendo grandes trincas ou deslocamentos, mostraram-se com melhor compacidade, resistindo melhor à tensão cisalhante aplicada, em relação às demais, e foram as escolhidas para outro teste: a aplicação das argamassas estudadas, no tempo.

Dos grupos das amostras avaliadas, foram escolhidas primeiramente, as que apresentavam concentrações extremas de aglomerante (a de maior e as de menor concentração) visando-se analisar sua trabalhabilidade no tempo por meio de Gomes (2008) que afirma ser esta a principal propriedade da argamassa fresca, seguida da consistência, plasticidade e coesão. Tais propriedades são resultados de diversas variáveis, passíveis de avaliações qualitativas subjetivas, variando de operário para operário e não só de medições de dados empíricos. As interferências que afetam o trabalho da argamassa estão no método de aplicação adotado na obra, se manual ou mecânico, conhecido pelo operário através do seu manuseio e de avaliação pessoal.

O procedimento da aplicação das amostras dos grupos estudados (I, II, III, IV e V) foi executado com técnicas diferentes, durando o experimento de janeiro a novembro de 2010, período em que as seis amostras aplicadas no muro externo da Escola de Design ficaram sujeitas às intempéries. Nelas, observaram-se as diferentes qualidades de aderência, as fissuras e as patologias, causadas por diversas variáveis: técnicas diferentes de aplicação; espessuras diferentes, devido à técnica construtiva empregada; diferentes tipos de material aglomerante; diferentes concentrações do material na mistura; quantidade de água na mistura; condições de umidade relativa do ambiente, entre outras.

Registrou-se em algumas amostras o aparecimento de fissuras no momento da pega, devido à perda de água da argamassa, pelo fato da umidade relativa estar abaixo de 100%, contribuindo com a evaporação acelerada. Outro fator de perda da umidade da argamassa foi o fato da base do substrato ser de alto poder de sucção (tijolo cerâmico), fazendo com que os cristais das moléculas formassem espaços vazios, os quais retêm água livre e não se encontrassem fixados às estruturas dos produtos hidratados. Conclui-se, também, que outros fatores da retração plástica como aeração e a temperatura produzam fissuras na argamassa.

Miranda (2000) e Gomes (2008) explicam que em estado sólido a argamassa perde a água livre que se encontra retida nos macro poros através da evaporação, provocando uma pequena retração inicial devido à água ainda se encontrar presa à estrutura da molécula por fracas ligações físico-química. A partir da perda da água livre e do início da saída da água absorvida e daquela retida em pequenos capilares, inicia-se a retração mais acentuada da argamassa.

Todo material ensaiado ao longo do desenvolvimento do projeto foi executado pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC-MG), segundo os métodos pertinentes a cada amostra específica do material utilizado, e os resultados encontrados se devem ao método de ensaio aplicado, cabendo a ele, exclusivamente, a escolha do melhor material a ser aplicado em acabamentos de parede.

Resultados Alcançados

Estudo Granulométrico e a Análise dos pós

Nas usinas de reciclagem de RCC são produzidos dois tipos de materiais britados (areias e britas) provenientes dos agregados A e B, sendo o material A, composto de restos de concreto e materiais cimentícios, e o B, de material tipo misto cerâmico. Após a triagem, os resíduos são carregados até o britador, que possui um motor de quatro martelos, que, por impacto, quebra os entulhos em partes menores de diferentes granulometrias.

Durante a visita técnica coletaram-se amostras deste material britado e as levaram ao laboratório para as primeiras experiências, procedendo-se à moagem do RCC brutos, em moinho de bolas, transformando-os em pó fino a serem empregados como componentes das argamassas. A qualidade e a granulometria do produto final depende do tempo de moagem. Estas amostras passaram pelos primeiros experimentos quanto à classificação granulométrica dos mesmos, com procedimentos de moagem e peneiração na tentativa de se conseguir uma boa qualidade dos produtos.

O material recolhido na Usina de Reciclagem da Pampulha foi peneirado em peneira comum de pedreiro, separado e levado ao moinho de bolas para apurar o pó. O processo de moagem do agregado B e do agregado A dura aproximadamente 30 minutos. Em seguida, estes pós de RCC (A e B) passam pelo processo de peneiração, em peneiras de malha # (mesh) 100, 150, 200, 325 e 400, segundo as ABNT-NBR 7217/1987 e ABNT-NBR 6502/1995.

Os testes de Fluorescência de Raios-X – técnica não destrutiva que permite tanto a análise qualitativa (identificação dos elementos presentes na amostra), quanto quantitativa (para estabelecer a proporção de cada elemento) – foram feitos no CETEC-MG. Esses testes determinam, em última instância, a composição química das amostras tipos A e B, trituradas em moinho de bolas e classificadas por granulometria, pela peneira de malha # 100.

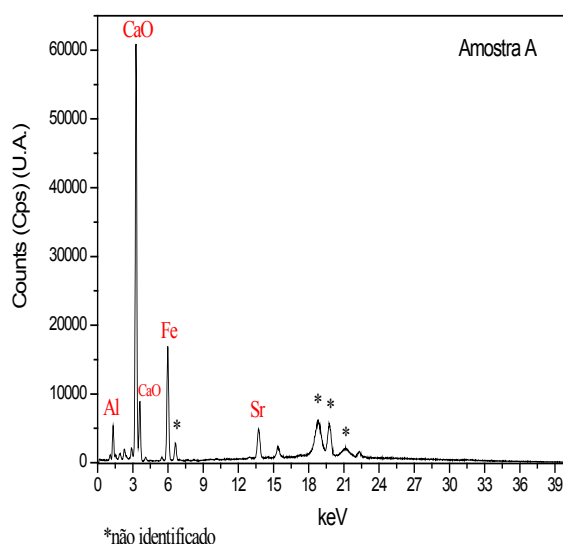
A Figura 1 permite visualizar os resultados semiquantitativos para a amostra do pó A, agregado A, proveniente de materiais cimentícios (massas de concreto, pedras e argamassas). Nessa amostra foi encontrado grande teor de CaO (Óxido de Cálcio) cerca de 60%, elemento predominante na composição do Cimento Portland e relacionado à característica da cal, responsável pela trabalhabilidade e durabilidade das argamassas. Os outros elementos encontrados – sílica ou SiO₂, e o sulfato ferroso – são também constituintes do Cimento Portland. Conforme a Associação Brasileira Cimento Portland

(ABCP), as matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento, são: calcário, argila, minério de ferro e gesso, constituídos de CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 .

No mesmo gráfico, pode-se perceber a semelhança entre a constituição química da amostra analisada (agregado A) e a da argamassa tradicional de cimento, e o grande teor de elementos, com moléculas ativas presentes como: CaO (53.071%); SiO_2 (13.097%) e de Fe_2O_3 (11.710%).

Para os resultados semiquantitativos da amostra A, utilizou-se da Fluorescência de Raios-X numa atmosfera de vácuo através do aparelho de EDX-800, de colimador de 10 mm, com o tempo cronometrado em 200s. Para os resultados semiquantitativos da amostra A acrescido de gesso resíduo, foi utilizada também a Fluorescência de Raios X numa atmosfera de vácuo através do aparelho de EDX-800, de colimador de 10 mm, com o tempo cronometrado em 200s.

Figura 1
Fluorescência de Raio-X.
Amostra do material A.
Fonte: CETEC (2009).



O gesso resíduo poderá ser um possível elemento aglomerante a ser associado às argamassas de interiores, misturado aos pós do agregado A e ou B, na tentativa de corrigir seu descarte. Conforme exigência da Superintendência de Limpeza Urbana – SLU – direcionada pela Cartilha de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para a Construção Civil (2005) e pelo CONAMA 307 (BRASIL, 2002), o gesso, as sacarias de cimento e argamassas, tintas e telhas de amianto são considerados de natureza tóxica, sendo recusados nas usinas de reciclagem de RCC e em lixões, por possuírem elementos químicos que reagem com chorume do lixo e outros materiais danosos aos lençóis freáticos e ao meio ambiente em geral.

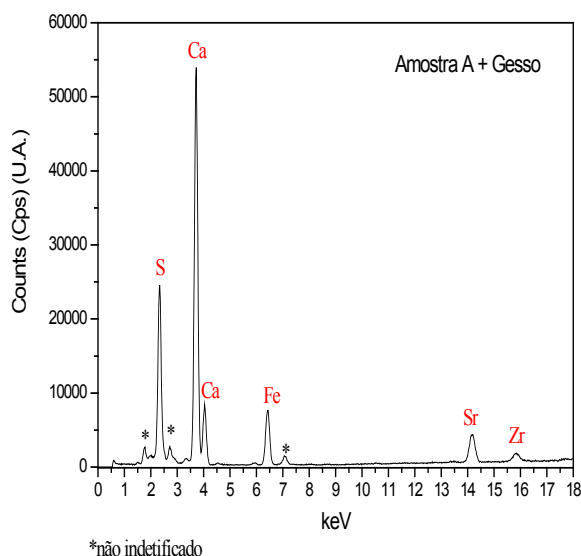
Também segundo a norma do CONAMA 307, 2002 Art 3º, o gesso é classificado como de “Classe C”, resíduos “para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação”.

A Figura 2 apresenta os resultados da análise do agregado A misturado ao gesso resíduo. Nesse caso, registraram-se elevados índice de CaO (Óxido de Cálcio) na amostra analisada, visto que essa substância está presente tanto no material agregado A, como no aglomerante utilizado, o gesso. Os demais elementos aparecem em pequenas proporções.

Figura 2

Fluorescência de Raio-X da amostra do material agregado reciclado A, com gesso resíduo.

Fonte: CETEC (2009).



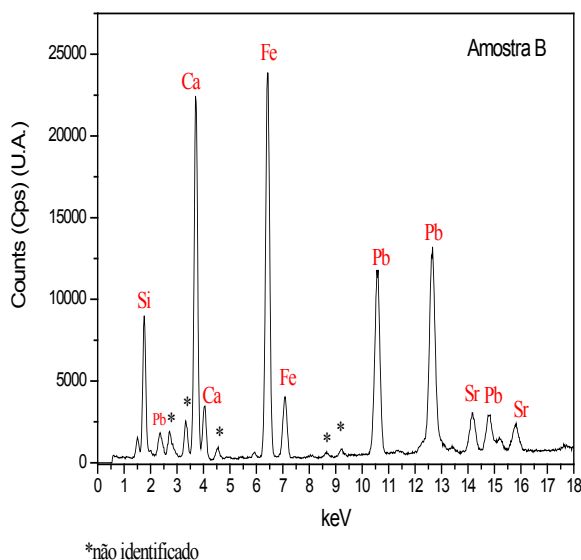
Para os resultados semiquantitativos da amostra de agregados reciclados B, utilizou-se a mesma Fluorescência de Raios X numa atmosfera de vácuo através do aparelho de EDX-800, de colimador de 10 mm, com o tempo cronometrado em 200s.

A Figura 3, por sua vez, apresenta os resultados da amostra do material agregado reciclado B, provenientes de material cerâmico, que, diferentemente da amostra de material agregado reciclado A, possuem na sua constituição maior concentração de SiO ou a sílica e de PbO (óxido de chumbo) além do Fe₂O₃ e do CaO. O elemento chumbo, considerado de alta toxicidade está presente nessa amostra como parte integrante do agregado, devido à composição cerâmica das telhas, que recebem o verniz como tratamento de impermeabilização, e, ainda, a presença de resíduos de várias tintas provenientes de argamassas de reboco, que utilizam o chumbo em sua constituição para a fixação da pigmentação.

Figura 3

Fluorescência de Raio-X da amostra do material B.

Fonte: CETEC (2009).



Estudo e análise do desenvolvimento das argamassas com agregados reciclados A

Baseados nas normas da ABNT – NBR7200/82 e NBR 13529/95, tomou-se como parâmetro os traços das argamassas tradicionais de revestimentos de reboco. De acordo com estas normas, a proporção foi de 01: 08 (nessa ordem, o cimento e areia). O cimento utilizado foi o da marca Campeão, CP III 32/ Lafarge, conforme a norma NBR-7215, que determina a resistência do Cimento Portland e da areia fina usada para reboco, de acordo com a norma NBR 7200/82.

Mediu-se a dureza da superfície por meio de testes *de riscamento*. Aqui cabe anotar que a ABNT não tem método de ensaios normativos para a determinação da dureza superficial de argamassas de revestimento. Segundo o *Revetest® Software User's Manual* (1995), o *ensaio de riscamento* ou, "*Scratch test*" foi desenvolvido para testar a capacidade que um revestimento possui de resistir a solicitações mecânicas de cisalhamento, na interface com o substrato, exercida por um penetrador em movimento relativo unidirecional. Assim, o teste de riscamento consiste em um ensaio que impõe a uma superfície um processo de falha, deslocando-se um penetrador com ponta de diamante, tipo Rockwell C, sobre um revestimento, com carga constante ou progressiva, provocando um risco. A carga crítica é associada a um evento de falha bem definido. Obtêm-se a carga crítica do movimento, durante o riscamento, quando o revestimento é destacado parcial ou totalmente do substrato.

Neste trabalho o CETEC-MG procurou uma correlação desta propriedade, avaliando o desempenho do revestimento em corpo-de-prova, fundamentado no teste de riscamento, em um corpo sólido fixo de maior massa que em contato com o corpo móvel de menor massa, percorrerá uma distância sob pressão que determinará a dureza da superfície do corpo fixo nas amostras de corpo-de-prova. Para o ensaio de riscamento nas amostras avaliadas neste trabalho, foi utilizando um penetrador do tipo cônico, com raio de ponta de 3 mm constituído de aço SAE 1020 Normalizado.

Neste novo teste, após a determinação do traço a ser utilizado nas massas, prepararam-se as amostras que foram aplicadas como testes às paredes externas da Usina de Prototipagem da Escola de Design da UEMG, monitorando-se seu comportamento, sua absorção de umidade e sua aderência ao substrato, frente às intempéries. Aleatoriamente, preparou-se 10 kg das misturas, quantidade padrão para cada amostra a ser avaliada. Na elaboração das argamassas usou-se como aglomerante a cal hidratada; o gesso de resíduo e o gesso in natura (industrializado) misturados ao agregado A; areia fina proveniente da usina de reciclagem, passada sobre peneira de pedreiro # (mesh) 8; e a porcentagem, como critério de parcelamento, de cada componente da mistura.

Definiram-se os grupos de amostras e as devidas proporções: Grupo I: Agregado A e Gesso resíduo; Grupo II: Agregado A e Gesso Virgem; Grupo III: Cal Hidratada e Agregado A; Grupo IV 2: Cimento, Cal Hidratada e Areia fina para reboco; Grupo V: Cimento, Cal Hidratada e Agregado A.

Nas amostras do grupo IV, baseou-se na norma da ABNT NBR 13529/95, tomando-se parâmetro, com traço 1: 2: 6, para as demais. Nas amostras do grupo V utilizou-se o agregado A, em substituição à areia fina de reboco, com o mesmo traço da definida pela NBR 13529/95 da argamassa tradicional.

Na aplicação da amostra na parede externa da Escola de Design, monitorou-se o comportamento das massas através da temperatura diária, o índice pluviométrico e a umidade relativa do ar, durante o período da sua aplicação (de janeiro/2010 até ao mês de novembro/2010) por meio dos dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Selecionou-se uma das misturas avaliadas no teste externo (V.2)

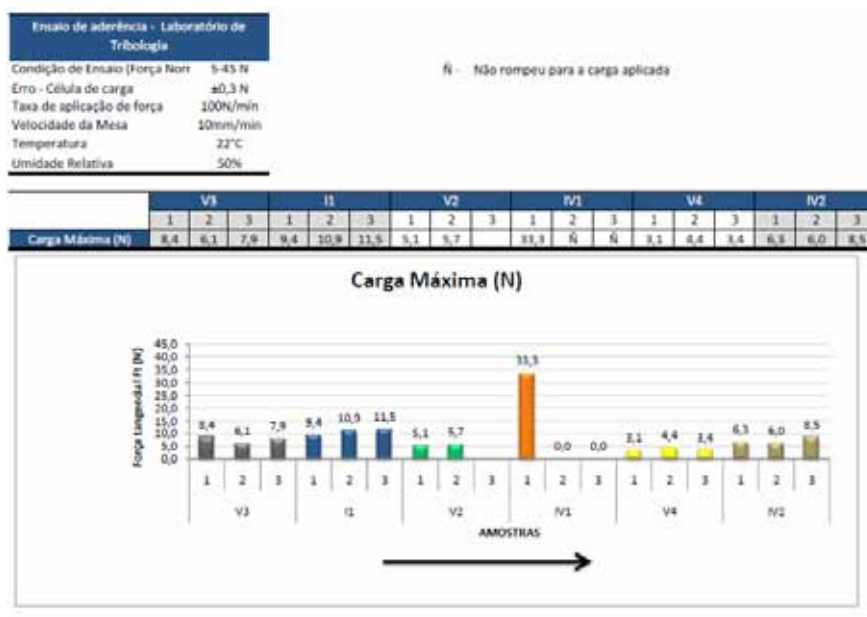
sem a adição da cal hidratada para as práticas de intervenções, utilizando-a como argamassa nos assentamentos dos blocos, chapisco e no emboço do substrato. Esta foi elaborada com a areia de agregado A, proveniente da usina de reciclagem de entulho, em substituição à areia tradicional da construção civil e cimento, com o traço de 1:7.

O resultado apresentado da argamassa, na função estabelecida, correspondeu às expectativas, no que se referem à qualidade do acabamento e resistência. Quanto à sua resposta, à técnica de manejo e aplicação empregada, esta apresentou uma pega mais rápida que as argamassas tradicionais, exigindo do profissional mais esforço e agilidade. Quanto ao acabamento de emboço e revestimento, este novo material exigiu deles mais experiência e agilidade. Cabe aqui salientar que as amostras das misturas expostas ao tempo, analisadas anteriormente, as que melhor responderam as intempéries passaram novamente por análises e testes tribológicos, em laboratório, agora em proporções diferentes. Foram verificadas suas propriedades e comportamentos mecânicos, conforme as normas da ABNT, visando encontrar soluções de menor índice de cimento, para as argamassas, por meio do teste de Ensaio de Aderência, teste Tribológico que envolve a investigação científica de todos os tipos de fricção e desgaste que um material pode sofrer. Conforme está mostrado na Figura 4, a seguir.

Figura 4

Teste tribológico, ensaio de aderência, resultado das amostras avaliadas em laboratório.

Fonte: Faustino (2010).



Estudo de argamassas pigmentadas com agregado reciclado A

Neste trabalho, realizaram-se, ainda, outras avaliações para a utilização prática das argamassas produzidas. Assim, foram acrescentados às argamassas escolhidas (V.2 e V.3, com cal hidratada) pigmentos de cores (vermelha e amarela) para testar sua utilização como revestimento de substrato de eco blocos de concreto (10x20x40) – confeccionados com os agregados miúdos A e cimento – estes empregados na construção dos móveis de alvenaria.

Escolheu-se trabalhar as argamassas, com os seguintes traços, descritos a seguir, acrescidos de pigmentos, diretamente sobre o substrato sem acabamento. Como parâmetro de cálculo das amostragens preparadas, utilizou-se 125g de pigmentos de pós Xadrez, para cada 10 000g da mistura, obtendo-se com isto a tonalidade desejada.

- Cimento 10%, Cal Hidratada 20%, Agregado A 70% e 125g de pigmento amarelo.
- Cimento 10%, Cal Hidratada 25%, Agregado A65%, 250g de pigmentos vermelho e 125g de pigmento azul.

Os resultados obtidos, de um modo em geral foram satisfatórios tanto no que se referem à *tonalidade* quanto à trabalhabilidade das argamassas, sob condições de temperatura amena (por volta de 27 C°) e de período de umidade relativa acima de 55%. Procurou-se obter uma mistura homogênea e com maior teor de água na mesma, mantendo-a bem úmida, molhando o substrato e procurando um acabamento menos espesso. Escolheu-se maior granulometria para a mistura, a fim de se obter um acabamento mais rústico.

Em alguns pontos houve o aparecimento de micro fissuras, patologias associadas, neste trabalho, à falta de habilidade técnica com a mistura, devido à rápida pega apresentada pelo material avaliado. Outra causa do aparecimento de micro fissuras pode estar associada à maior espessura da argamassa aplicada, aparecendo em alguns pontos em que houve tentativa de compensar as imperfeições do prumo, melhorando a qualidade do acabamento das paredes usadas como substrato.

Quanto à aderência das argamassas aos substratos, os resultados também foram satisfatórios, obtendo-se bons resultados tanto nas argamassas aplicadas diretamente sobre os blocos de concreto, sem acabamentos, quanto nas paredes que receberam o emboço.

Nas Figuras 5 (a) e 5 (b), pode-se acompanhar os resultados obtidos das argamassas pigmentadas, como acabamento rústico de paredes com texturas tipo grafiato.

Figura 5

(a): Paredes que receberam acabamentos de texturas, feitas com as argamassas pigmentadas nas cores vermelho e amarelo.

(b): Micro fissuras, patologias apresentadas, nas mesmas.

Fonte: Elaboração da própria autora.



Estudo e desenvolvimento das argamassas com agregados reciclados B

Outros estudos para revestimentos de paredes foram feitos, desta vez, utilizando nas misturas agregados reciclados B, proveniente do material cerâmico, argamassas de cimento e terra. Este material foi cedido pela SLU e recolhido na Usina de Reciclagem da BR-040, em Belo Horizonte.

Da mesma forma que com os agregados reciclados A, tomou-se como base de parâmetro para os traços das argamassas tradicionais de revestimentos de reboco, as normas da ABNT – NBR7200/82 e NBR 13529/95. De acordo com estas normas, a proporção de cimento e areia, respectivamente, é de 01:08. O cimento utilizado foi da marca Campeão, CP III 32/ Lafarge, conforme a norma NBR-7215, que determina a resistência do Cimento Portland e da areia fina usada para reboco, de acordo com a norma NBR 7200/82.

O objetivo do estudo foi avaliar a resistência e a trabalhabilidade da argamassa para revestimentos de paredes externas e internas, a partir da mistura de partes de agregados reciclados B e areia fina lavada, com uma redução do aglomerante cimento e a associação da cal hidratada buscando maior estabilidade na mistura.

Para as paredes externas optou-se por utilizar uma mistura de agregados reciclados B, cal hidratada e cimento, nesta ordem e proporção (8:1,5:0,5) aplicada sobre alvenaria de tijolos cerâmicos chapiscados.

Para revestimentos de paredes internas foram feitos dois estudos de argamassas. O primeiro tendo como básico o agregado reciclado B associados à mistura: areia fina lavada na mesma proporção que o agregado B e aglomerante cimento (nesta mesma ordem com traço 4:4:1). No segundo estudo, utilizou-se a mesma mistura anterior, associando a ela, cal hidratada (traço 4:4:1:1). **É importante ressaltar que o agregado reciclado B, proveniente da usina de reciclagem de entulhos, passou pelo processo de peneiração comum, utilizando peneiras de pedreiro de # (mesh) 3, 5 e 8, conforme o acabamento desejado.**

As Figuras 6 (a) e 6 (b) argamassas externas; Figuras 6 (c) e 6 (d) argamassas de revestimento interna ilustram a aplicação das respectivas argamassas de revestimento.

Figuras 6 (a) e 6 (b)

Aplicação da argamassas externa com agregado reciclado B, cal hidratada e cimento em pequena proporção;

Fonte: Elaboração da própria autora.



Figuras 6 (c) e 6 (d)

Argamassas aplicadas no interior de uma residência, com agregado reciclado B e areia fina na mesma proporção, associada à cal hidratada e cimento na mistura

Fonte: Elaboração da própria autora.



A técnica aplicada pelo profissional pedreiro neste estudo não foi muito diferente da forma empregada com os agregados convencionais, somente exigindo dele maior cuidado quanto à espessura do revestimento e em manter a mistura mais úmida que a convencional, visando melhorar sua trabalhabilidade no período de pega, isto é, do estado fresco ao estado de endurecimento.

Devido ao período do ano na ocasião do trabalho, de boa nebulosidade e umidade relativa alta (70% de umidade relativa e temperatura em torno de 26°C), os revestimentos externos e internos, em questão, não apresentaram patologias de fissuras significativas, seu comportamento foi muito satisfatório.

Pinto (1998) atribui às concentrações de moléculas ativas (não inertes) dos aglomerantes, ainda presentes nos agregados reciclados, assim como a presença de resíduos cerâmicos com características pozolânicas e a porosidade de suas partículas, o fato do bom desempenho das argamassas provenientes destas misturas.

Estudo das argamassas pigmentadas com agregados reciclados B

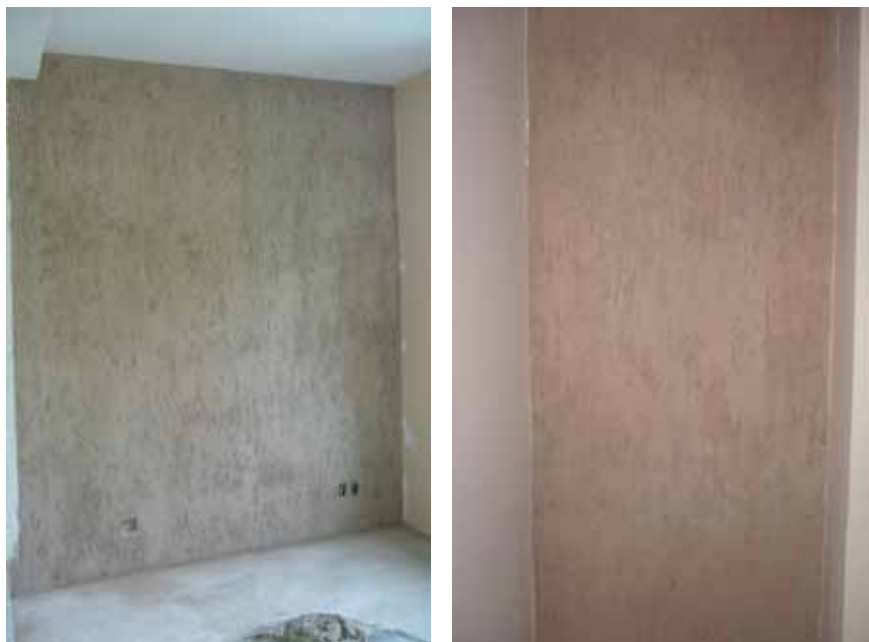
Dando continuidade ao trabalho com as argamassas de agregados reciclados B foram associados às mesmas pigmentações a fim de apresentarem-se como acabamento decorativo rústico de paredes em ambientes internos. As Figuras 7 (a) e 7 (b) ilustram os ambientes internos de uma residência que receberam acabamentos do tipo grafiato, conseguido através da técnica de aplicação de movimentos com a desempenadeira sempre na vertical, e da maior granulometria dos agregados reciclados na mistura.

Cabe aqui lembrar que para o traço da argamassa pigmentada foi utilizado agregado reciclado B com a granulometria mais grossa, peneiras de # (mesh) 8, para obter acabamento desejado apresentado nas Figuras 7 a seguir.

Figuras 7 (a) e 7 (b)

Paredes que receberam acabamento de texturas com a técnica do tipo grafiato feito com pigmentos nos tons rosados misturados à argamassas de agregados reciclados B.

Fonte: Elaboração da própria autora.



No preparo das misturas foram utilizados 20.000g de material como parâmetro de cálculo da quantidade as argamassas pigmentadas para a cobertura homogênea de toda área da parede. As argamassas foram aplicadas diretamente sobre paredes emboçadas e previamente umedecidas.

Foi preparado o seguinte traço, para a quantidade de 20.000g do material, acrescido de pigmentos:

- Agregado reciclado B 70%, cal hidratada 20%, cimento 10% e pigmento 300g¹.

As Figuras 8 (a) e 8 (b) ilustram os estudos das proporções dos pigmentos para misturá-los às argamassas aplicadas nas paredes dos ambientes internos, como revestimentos rústicos do tipo grafiato. Procedeu-se o estudo da pigmentação misturando no godê (embalagem de ovos) pequenas proporções de pós, até se obter a tonalidade desejada. Depois de escolhidas as tonalidades desejadas, usou-se um copo graduado, em gramas para farinhas, como medidor a fim de preparar concentrações corretas para o traço.

1. Foram utilizados 150g de pigmentos para cada 10.000g da mistura do material como parâmetro de cálculo para pigmentar as argamassas. Foram usados pós da marca Xadrez nos tons: azul, vermelho, preto e ocre em proporções diferentes, obtendo-se as tonalidades desejadas.

Figura 8 (a)

Estudo das tonalidades dos pós para a pigmentação das argamassas;

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 8 (b)

Recipiente de medida utilizado para medir as proporções de cada tonalidade dos pós, considerando o tipo de graduação para farinhas.

Fonte: Elaboração da própria autora.



Considerações Finais

Em primeiro lugar, o trabalho contribuiu para a identificação da constituição química dos RCC na região norte de Belo Horizonte. Constatou-se que ali o agregado A possui grande concentração dos elementos ativos, CaO, SiO₂, Fe₂O₃ presentes no aglomerante cimento; assim, se utilizado em substituição à areia comum, em argamassas, este material ajudará a diminuir consideravelmente a quantidade de cimento e sílica (areia) a ser empregada nas misturas. Na constituição do material agregado B constatou-se a presença de PbO (óxido de chumbo), considerado tóxico, e normalmente empregado como parte integrante de tintas, na fixação de pigmentação. Baseando-se neste fato, partiu-se da hipótese de que o pó do agregado B poderia ser explorado como pigmento de argamassas e das tintas naturais, constituindo um adjuvante em acabamentos de paredes na construção civil.

Podem-se destacar dois aspectos nesses resultados: o ecológico/ambiental e econômico. No primeiro, trata-se de se reutilizar os agregados reciclados A e B e o gesso de resíduos – materiais descartados pela construção civil que impactam o meio ambiente. No segundo aspecto, o econômico, deve-se assinalar o baixo custo do produto, o que o torna viável economicamente, pela redução do consumo do aglomerante cimento, além de promover o retorno do gesso descartado ao ciclo produtivo, que até então não possuía aplicabilidade além da indústria cimentícia.

Observou-se, ainda, no curso dos experimentos que as amostras com os agregados reciclados A aplicadas sem umedecer o substrato e as de espessura superior a 150 mm apresentaram patologia de fissuras devido à absorção de água da massa pelo substrato. Trata-se de patologia facilmente corrigível, se for observada a quantidade de água da mistura, as condições de evaporação do lugar e a sucção do substrato. A cal hidratada, também, foi um adjuvante neste estudo, melhorando o poder de retenção de água da argamassa, minimizando a patologia, por seu elevado poder retentor de umidade e pela capacidade adsorptiva de seus cristais, como também por sua elevada superfície específica.

Quanto aos resultados alcançados dos experimentos a partir da mistura de agregados reciclados B, as argamassas apresentaram trabalhabilidade superior em relação às das misturas com o agregado reciclado A. Houve boa aderência ao substrato, não apresentaram fissuras relativas ao seu estado fresco e nem ao seu estado de endurecimento. Seu comportamento foi satisfatório e homogêneo, tanto para os revestimentos de acabamentos externos quanto para os internos, com acabamentos pigmentados ou não.

O resultado superior observado entre as argamassas com agregados A e B, deve-se ao melhoramento das técnicas de aplicação, às correções quanto à umidade do substrato e das misturas aplicadas sobre os mesmos, além do acabamento das alvenarias estarem devidamente aprumadas cujas camadas aplicadas não ultrapassaram 150 mm de espessura.

Aqui cabe lembrar que o objetivo principal desses estudos, de base mais técnica, foi gerar materiais que pudessem ser utilizados como instrumento de revitalização de moradias carentes na Vila Paquetá em Belo Horizonte, o que foi, de fato, logrado, oferecendo a oportunidade de experimentar na prática os resultados obtidos. O importante é observar que, acercando-se da questão da sustentabilidade em suas diversas dimensões, pôde-se combinar aqui uma investigação de base tecnológica com possibilidade de uma futura patente.

O trabalho exposto foi apresentado como objeto de pesquisa da descrição e análise desse processo sobre as formas contemporâneas de gestão pública, em que se trabalhou sempre na perspectiva da participação popular e da obtenção de parcerias público-privadas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 7200**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento para execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 13528**: Revestimentos de parede e tetos de argamassas inorgânicas. Determinação de resistência à tração – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. **NBR 13749**: Revestimentos de parede e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. **NBR 15114**: Resíduos da Construção Civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projetos, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. CONAMA, 2002. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_307.pdf>. Acesso em: out. 2008.

_____. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Diário Oficial da União** – Imprensa Nacional, ano CXLVII nº147. Brasília, DF, 3 de agosto de 2010. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/lei12305.pdf>>. Acessado em: Jul. 2011.

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**, Wiley, New York, 1991.

CASSA, J. C. S. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: entulho bom**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.; il.

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. CETEC-MG. **Testes de Fluorescência de Raios-X**. Belo Horizonte, 2009.

FAUSTINO, F. X. **Teste tribológico, ensaio de aderência, resultado das amostras avaliadas em laboratório**. Belo Horizonte: CETEC-MG, 2010.

FIUZA, Sandra Machado. **Gestão Urbana Sustentável**. Belo Horizonte (MG). Painel I, In: V SEMINÁRIO EDUCAÇÃO AMBIENTAL: A cidade sustentável. Escola de Design: Universidade do Estado de Minas Gerais; Centro Mineiro de Referência em Resíduo, 2009.

GOMES, A. O. **Propriedades das Argamassas de Revestimento de Fachadas**. DCTM da Escola Politécnica da UFBA, Salvador, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações Meteorológica-Capital**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/sonabra/dspDadosCodigo.php?QTUyMQ>>. Acessado em: abr. 2010.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. 113 f.

REVETEST. **Software User's Manual**, Versão 2.0, CSEM Instruments SA, Suíça, 1995.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PINTO, T. P. **Manual de uso dos resíduos de construção reciclados**. São Paulo: I & T, 1998.

_____. **Entulho de construção: problema urbano que pode gerar soluções**. Construção, São Paulo, 1992. n 2325, p. 11-12. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção / CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.; il.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. 1989.

ROMERO, T. C. M. T. (org.). **Nivelando as informações para gestão integrada de resíduos sólidos**. Vitória – ES: Oficina editora, 2006. Disponível em: <http://www.bandedsonline.com.br/menuazul/estudos/documentos/analise_situacional.pdf>. Acessado em: out. de 2008.