

OBTENÇÃO DE ARGAMASSAS COM AGREGADOS RECICLADOS DE GESSO E CERÂMICA VERMELHA PARA USO EM REVESTIMENTO

André Prati Fávaro - andrepfavaro@gmail.com

Diogo Heidji Sartori Anzai - diogo.h.anzai@gmail.com

Giovanna Benante de Paula - giovannabenante@hotmail.com

Larissa Bussi de Barros - larissabb96@hotmail.com

Larissa da Silva Pais - larissapais10@hotmail.com

Renato Meneghetti Peres (Orientador) - renato.peres@mackenzie.br

RESUMO

Uma grande preocupação dos tempos atuais é a preservação do meio ambiente bem como a redução do consumo da matéria prima natural e da geração de resíduos. A indústria da construção civil é responsável por gerar grande parte dos resíduos sólidos, porém tem a capacidade de absorver quase a totalidade dos resíduos gerados. A Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, determinou que todo gerador é responsável pelo gerenciamento destes resíduos. Prevendo isto este trabalho procura contribuir para que os resíduos sólidos de construção civil deixem de ser depositados em locais inapropriados e passe a ser visto como material alternativo para agregados em argamassas de revestimento. Para tanto será estudado a argamassa referência, a argamassa com 20% de agregado reciclado de cerâmica vermelha e 4% de agregado reciclado de gesso. Para que a argamassa possa cumprir adequadamente as suas funções foram analisadas a consistência, a trabalhabilidade, a plasticidade, a retenção de água, o teor de ar incorporado e resistência mecânica e resistência à aderência. As argamassas contendo agregado reciclado de cerâmica vermelha tiveram aumento de resistência mecânica em relação a argamassa padrão. Ainda que viáveis, são necessários mais estudos para total confiabilidade no uso do agregado reciclado.

Palavras chave: Resíduos sólidos; Resíduos de Construção Civil; Argamassa de Revestimento; Cerâmica Vermelha; Gesso

ABSTRACT

A great concern in the current world is to preserve the environment as well as reducing the consumption of raw material while also generating less waste. The civilian construction industry is responsible for producing the majority of solid residues, though it has the capacity to absorb almost every piece of residue it creates. According to the 307 resolution of the Environment's National Council, it has been determined that all generators are responsible for managing their residues. Having this in mind, this project seeks to contribute so that solid residues from civil construction stop being disposed of in inappropriate places and start to be seen as an alternative source of material to aggregates for mortar coating. For this purpose, we will study the reference mortar, the mortar with 20% of recycled aggregate of red ceramic ,

and the mortar with 4% of recycled aggregate of plaster . For the mortar to be able to fulfill its purpose there has to be a careful analysis of its consistency, water retention capability, workability, plasticity, built-in air content, and mechanical resistance.

Key words: Solid residues; Civil construction; solid residues; Coating Mortar; Red Ceramics; Plaster.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, sendo responsável por um consumo em torno de metade dos recursos naturais utilizados. A utilização desses recursos naturais se dá, principalmente, na produção de materiais cimentícios e no beneficiamento de agregados, pedra britada e areia, visando a produção de argamassas e concretos e, conseqüentemente, as edificações (MALTA; SILVA; GONÇALVES, 2013).

A reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Brasil iniciou-se em 1991 na cidade de Itatinga (estado de São Paulo), com a instalação da primeira usina, com capacidade de reciclagem de 100 toneladas por dia, sendo o material reciclado inicialmente utilizado como base na pavimentação de ruas e estradas. Voltado para esta necessidade não somente ambiental como social e econômica, devido ao grande impacto ambiental que esses resíduos sólidos estão causando, estudos têm ampliado a sua utilização em argamassas e concretos, cujos agregados naturais têm sido substituídos por agregados reciclados ou pela combinação de ambos. Os RCC's quando beneficiados, caracterizados e testados podem ser incorporados no mercado como agregados reciclados para uso na construção civil, que traz benefícios econômicos, ambientais e sociais (GOMES; et al., 2010).

Ainda que importante, esse assunto tem despertando maiores interesses na academia do que nos canteiros de obras. No entanto, o aproveitamento de resíduos no canteiro de obras apresenta inúmeras vantagens como redução de custos, redução do volume de resíduos a descartar, redução do consumo de materiais extraídos diretamente da natureza, redução do número de caçambas retiradas da obra, obra mais limpa, redução dos acidentes de trabalho, maior produtividade e atendendo aos requisitos ambientais em programas com PBQP-H, que visa organizar o setor da construção civil em torno de duas questões principais: a melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva, *Quali-Hab* que como finalidade garantir a qualidade das habitações construídas pelo Estado de São Paulo por meio da CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano), e ISO 14.000 que é a identificação de aspectos e impactos ambientais e a elaboração para reduzir esses impactos, quanto aos passivos ambientais (LAPA, 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas de argamassas, utilizando em sua constituição agregados reciclados de cerâmica vermelha e gesso, caracterizando o produto obtido e comparando suas propriedades com a argamassa, além disso, foi possível analisar a viabilidade econômica e técnica do uso da argamassa reciclada para a redução dos custos diretos e indiretos em construção civil.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os RCC's representam um grave problema em muitas cidades brasileiras. A disposição irregular destes resíduos pode gerar problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública. Representam ainda, um problema que sobrecarrega os sistemas de limpeza pública municipais, visto que, no Brasil, os RCC podem representar de 50% a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos (IPEA, 2012).

Em 2002, a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), alterada pela Resolução 431/11 (CONAMA, 2011), determinou que o todo gerador é o responsável pelo gerenciamento desses resíduos. Esta determinação representou um avanço legal e técnico, estabelecendo responsabilidades aos geradores, tais como a segregação dos resíduos em diferentes classes e o seu encaminhamento para reciclagem e disposição final adequada.

A Resolução 307, define os Resíduos da Construção Civil como aqueles 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 (CONAMA, 2002). Esta Resolução deu ainda, importantes passos no sentido de disciplinar os impactos causados na indústria da construção, ao estabelecer critérios, diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Civil.

A Resolução 307/2002 é considerada o principal marco regulatório para a gestão dos RCC e dispõe sobre a responsabilidades dos municípios em implementarem seus planos de gerenciamento integrado de RCC, bem com diretrizes, critérios e procedimentos para o manejo adequado destes resíduos (IPEA, 2012). De modo geral, os níveis tecnológicos da região e da construtora influenciam diretamente no volume de resíduos gerados, pois levam em consideração a qualidade dos materiais e componentes, a qualificação da mão-de-obra,

existência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle do processo construtivo (CABRAL; MOREIRA, 2011).

O sistema de gestão de resíduos sólidos visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e programar ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos (NAGALLI, 2014). Portanto, todo programa de gerenciamento deve primar pela não geração de resíduos e, num segundo momento, pela minimização de sua geração. Contudo ainda existindo a geração destes deve-se reutilizar, reciclar e tratar para em última instancia a destinação final aconteça. Com a problemática da disposição final de grandes volumes de RCD somada à escassez de recursos naturais em algumas regiões brasileiras, vários estudos estão sendo desenvolvidos para analisar formas de reuso e reciclagem do material (CABRAL; MOREIRA, 2011).

2.2 SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade é uma questão mundial que vem cada vez mais sendo discutida por conta da conscientização dos limites de recursos naturais existentes e por quanto tempo esses recursos ainda existirão para as gerações futuras (BAPTISTA; ROMANEL, 2013)

No Relatório de Brundtland (1987), chamado de Nosso Futuro Comum, o conceito de sustentabilidade está relacionado à busca da satisfação das necessidades atuais sem que se comprometa a capacidade das próximas gerações. Esse relatório envolve a busca pelo equilíbrio econômico, social e ambiental também chamado de *triple bottom line*, que alia a boas práticas de governança, agregando positivamente valores à empresa.

Para John (2010) o principal desafio no dia a dia é achar um meio de equilíbrio entre proteção ambiental, justiça social e viabilidade econômica. Aplicar o conceito de desenvolvimento sustentável é buscar em cada atividade formas de diminuir o consumo e respectivamente o impacto ambiental., como por exemplo, substituir as matérias-primas naturais pelos materiais reciclados, para reduzir o consumo sobre a natureza e o volume de resíduos nos aterros.

Silva (2008) expõe seu conceito de desenvolvimento sustentável como um processo de transformação que engloba de forma simultanea as dimensões: espacial, social, ambiental, cultural e econômica. Tal conceituação demonstra que as ações da humanidade não devem interferir nos ciclos naturais da terra para não ocorrer danos irreversíveis ligados ao meio ambiente.

Desta forma, a construção civil é um setor que merece muita atenção no âmbito da sustentabilidade, por ser uma das atividades que mais causam impacto no meio ambiente, sendo que as matérias primas para execução da mesma, englobam diversos materiais como madeira, areia, pedra, água, minerais, extraídos da natureza. Como forma de diminuir o consumo de recursos naturais e conseqüentemente o impacto ambiental, foram criados diversos certificados para as construções que atendessem os padrões e níveis de sustentabilidade exigidos pelo mesmo.

A Construção Civil também vem se apropriando deste conceito de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, quer seja por aspectos legais, quer pela competitividade. Rohan, França (2013) expõem dados sobre o chamado desenvolvimento sustentável na construção civil, que por meio de uma publicação chamada *Sustainable Development Innovation Briefs* de março de 2012.

O consumo de recursos naturais vem aumentando com o desenvolvimento econômico e o grande crescimento populacional, podendo chegar a 80 t/hab/ano. Segundo estudo deste autor, entre 55% e 75% dos materiais extraídos não são comercializáveis, sendo eles resíduos de mineração e emissões de poluentes. Contudo não é possível continuar aumentando o consumo de matérias-primas e a geração de mais resíduos sendo que a fonte não é infinita. (JOHN, 2010)

2.3 RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE

A sustentabilidade é uma questão mundial que vem cada vez mais sendo discutida por conta da conscientização dos limites de recursos naturais existentes e por quanto tempo esses recursos ainda existirão para as gerações futuras (BAPTISTA; ROMANEL, 2013)

A reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) contribui para a extensão da vida útil dos aterros, limpeza da cidade, represas e terrenos baldios, especialmente em grandes cidades, onde a construção civil é intensa e há carência de área para deposição. A reciclagem de RCD culmina também vantagens econômicas para as cidades em que é implantada. Além da diminuição dos custos de gerenciamento do resíduo, o custo do produto reciclado é bem menor que o agregado natural (LEITE, 2001).

Os agregados reciclados, além de apresentarem menor custo de produção com relação ao dos agregados naturais, ainda promovem um ganho ambiental, uma vez que se deixa de extrair matéria-prima natural e dá-se um destino final a este tipo de resíduo. No entanto, o

grande empecilho para sua reutilização, é cultural, uma vez que há desconfiança de construtores e cliente (LEITE, 2001).

O mercado da construção civil apresenta-se, como uma das melhores alternativas para reaproveitar materiais reciclados, pois o grande volume de novas construções necessita de elevada quantidade e diversidade de materiais. A incorporação do RCD na produção de materiais e elementos construtivos reduz, significativamente, o consumo de energia e de agregados naturais, o que permitirá a redução do custo final das habitações (MALTA; SILVA; GONÇALVES, 2013).

2.4 ARGAMASSA, CERÂMICA VERMELHA E GESSO

As argamassas podem ser classificadas com relação a vários critérios, quanto a forma de endurecimento e resistência à umidade, quanto a quantidade de aglomerantes, quanto ao volume de pasta e quanto ao seu emprego (PCZIECZEK, 2017). As argamassas de revestimentos são empregadas em revestimentos de alvenarias em paredes, muros ou de estruturas de concreto armado. Assim, os revestimentos de argamassa, para cumprir adequadamente as suas funções, devem possuir características e propriedades que sejam compatíveis com as condições a que estarão expostos.

Para a argamassa no estado plástico, devem ser avaliadas algumas propriedades importantes que interferem na qualidade final da argamassa, que são: a consistência, a trabalhabilidade, a plasticidade, a retenção de água, o teor de ar incorporado, a massa específica e a adesão inicial. Já as argamassas no estado endurecido, a fim de garantir um bom desempenho ao longo da sua vida útil, é importante verificar a resistência mecânica, a durabilidade, a retração, a capacidade de absorver deformações e a aderência ao substrato (PCZIECZEK, 2017).

Sabe-se que os agregados reciclados apresentam determinadas características que influenciam nos parâmetros de dosagem das argamassas. Logo, é de suma importância desenvolver estudos específicos para garantir a utilização de forma adequada (MALTA; SILVA; GONÇALVEZ, 2013).

No estudo de Bavaresco (2001) o comportamento das argamassas com agregado de entulho reciclado foram comparadas com argamassas de referências, produzidas com areia encontrada na região da grande Florianópolis SC, nos traços 1:1:6 e 1:2:9 (cimento: cal: agregado). Os resultados obtidos demonstram que o entulho pode substituir com certa vantagem as areias naturais. No ensaio de resistência à compressão as argamassas produzidas com

agregado reciclado do entulho, proveniente de material cerâmico tiveram resistências superiores às demais argamassas. No ensaio de aderência as argamassas, produzidas com agregado reciclado de entulho, apresentaram resistências maiores que as produzidas com areia natural e a ruptura aconteceu na interface argamassa/substrato.

Outro trabalho que avalia propriedades físicas e mecânicas de argamassas com substituições parciais e totais do agregado convencional por resíduos da construção civil oriundos de uma construção em estrutura de concreto armado e paredes de blocos cerâmicos. As argamassas de revestimentos de paredes e tetos foram ensaiadas quanto ao desempenho mecânico à compressão e aderência. Resultados mostraram que misturas com inserção total ou parcial de agregados reciclados tiveram desempenho superior às convencionais usadas na obra. Em argamassa com substituição de 100% dos agregados naturais por reciclados os valores de resistência à compressão aumentaram 62,5%. Para argamassa confeccionada no canteiro de obras preparada utilizando-se o moinho/argamassadeira, com substituição de 64,3% dos agregados naturais por reciclados, os valores de resistência à compressão aumentaram 155% (LAPA, 2011).

Quanto aos materiais cerâmicos, eles são compostos entre os elementos metálicos e não metálicos (óxidos, nitretos e carbetos). Dentro da vasta classificação, os mais comuns são cerâmicos compostos por minerais argilosos, cimento e vidro (CALLISTER JR, 2002). A Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM) define Cerâmicas Vermelhas como materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno. As lajotas muitas vezes são enquadradas neste grupo, porém o mais correto é em Materiais de Revestimento.

A argila é o insumo principal da indústria cerâmica, tem em seu valor enquanto matéria prima na sua plasticidade, no seu teor de umidade, dureza ao secar e rigidez quando sintetizado (HASEN, 2016).

Assim, os benefícios trazidos pela adição da cerâmica vermelha, resíduo com reação pozolânica, está relacionado com a diminuição da porosidade e conseqüentemente permeabilidade. Dois efeitos podem ser constatados quanto à reação pozolânica. O primeiro refere-se ao refinamento do tamanho dos poros, onde a formação dos silicatos de cálcio hidratados e de outros materiais secundários ao redor das partículas de pozolana tende a preencher os vazios da estrutura com um material microporoso. O segundo efeito está relacionado com o refinamento do tamanho do grão, contribuindo assim para impermeabilização da estrutura (SILVA; CABRAL; PINTO, 2016).

Quanto ao gesso, é produzido através do aquecimento da gipsita, um minério de cálcio, é bastante utilizado em obras de arte e decoração nos tempos antigos. (PERES et al., 2001; DOMÍNGUEZ E SANTOS, 2001).

As principais aplicações do gesso, no Brasil, entre gesso para construção civil e gesso industrial, são: pré-moldado, revestimento, moldes cerâmicos. (SINDUSGESSO, 2001). E portas corta fogo, isolamento acústico, paredes divisórias, indústria de vidro, giz, confecção de moldes dentários, bandagens de alta resistência, entre outros. (REGUEIRO E LOMBARDERO, 1997).

Os RCD costumam ser descartados em locais inadequados (terrenos baldios, aterros sanitários, taludes, margens de rios, avenidas), o que gera resultados negativos na qualidade de vida em áreas urbanas, pois causam problemas entupimento e assoreamento das margens dos rios, bueiros, galerias que cortam as grandes cidades, causando prejuízos financeiros, além do impacto ambiental. Os entulhos oriundos das construções na área urbana provocam desperdício considerável de materiais, como também custos de remoção e tratamento. Diante disso, o poder público e as entidades empresariais procuram uma forma de regulamentar e promover o processamento e a reutilização destes materiais. (ALVES, 2007).

O gesso na forma de resíduo apresenta uma mistura de diferentes agentes de contaminação contraídos durante as fases de construção, aplicação e gestão de canteiros de obras, o que exige o descarte de acordo com as normas estabelecidas pelos órgãos responsáveis. O armazenamento dos resíduos de gesso nos canteiros de obras juntamente com demais materiais utilizados, inclusive matéria orgânica, ocasionam contaminação e compromete a sua reciclagem. A separação e a estocagem corretas influenciam na qualidade dos resíduos e na sua reutilização. Ao serem armazenados separadamente dos outros resíduos, as características químicas da gipsita são recuperadas, permitindo a reutilização do material limpo no processo de produção. (OLIVEIRA, 2016).

Essas afirmações confirmam as considerações de Canut (2006) sobre a separação de resíduos de gesso para reaproveitamento, sendo necessário a separação dos resíduos de demolição e reforma contendo gesso antes da sua reciclagem, tornando necessária a elaboração de um plano de gerenciamento e separação dos resíduos. A falta de procedimentos adequados pode introduzir a presença de agentes contaminantes no material reciclado, podendo inviabilizar sua reutilização.

A reciclagem dos resíduos de gesso compreende etapas que vão desde a gestão do canteiro de obras até a comercialização. Os principais cuidados na gestão desses resíduos são a demolição seletiva, separá-lo e protegê-lo no canteiro de obras contra a umidade, possibilitando

sua reciclagem. A coleta dos resíduos exige a parceria com transportadores preparados para esse tipo de serviço. (MUNHOZ e RENÓFIO, 2006).

O grande desperdício e a necessidade crescente de conscientização sobre importância da reciclagem como uma forma de preservação dos recursos naturais e do meio ambiente é que se estabelecem perspectivas de emprego de material proveniente da reutilização dos resíduos de gesso na construção civil. (BARDELLA, 2011).

3. MÉTODO

Para desenvolvimento da pesquisa optou-se por trabalhar de forma exploratória e descritiva. Deste modo o trabalho consiste em buscar respostas sobre a utilização de agregados oriundos dos RCC para a formulação de argamassa, reintroduzindo os resíduos gerados pela construção no processo produtivo. Para elaboração das composições, foram obtidos resíduos de cerâmica vermelha da empresa Itaquareia e gesso da empresa Tenda Negócios

Os materiais utilizados na produção da argamassa neste trabalho foram cimento Portland, cal, areia, cerâmica vermelha, gesso e água.

O cimento selecionado foi o CP-II F, por conter adições de outros materiais em sua mistura, por exemplo o filer, que confere a este cimento um menor calor de hidratação, ou seja, libera menos calor quando em contato com a água. Para a contribuição de uma melhor hidratação do cimento a cal também melhora a trabalhabilidade e capacidade de absorver as deformações. No estudo foi utilizada a CH III Itaú que é composta de hidróxidos de cálcio e magnésio. A água foi utilizada para regular a consistência da mistura, fazendo adições até a obtenção da trabalhabilidade desejada.

A areia entra na composição da argamassa como agregado miúdo, obtido através da empresa Votorantim, tem por objetivo aumentar a trabalhabilidade da argamassa. O resíduo de Cerâmica vermelha foi obtido pelo processo de britagem no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Os resíduos de cerâmica vermelha foram obtidos a partir de telhas e tijolos que durante o manuseio em suas atividades iniciais acabaram sendo danificados impedindo o uso, portanto não havia a mistura de outros resíduos em sua composição. O gesso utilizado entrará na composição da argamassa como agregado miúdo. Os resíduos de gesso vieram de acabamento de apartamentos residenciais, portanto em sua composição havia feno que foi removido manualmente após a britagem do material.

Quanto a seleção do resíduo a ser reciclado, foram separados em dois grupos: 1. Resíduo de cerâmica vermelha e 2. Resíduo de gesso. Os agregados foram direcionados para o laboratório de Engenharia Civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie onde foram

triturados em um britador de mandíbulas com boca 90x120mm com motor 3cv 220v trifásico, da marca Solotest, Após o material passar pelo britador, o produto britado foi peneirado e o material retido na peneira ABNT 4,8mm foi desprezado, obtendo-se assim os agregados de CV e gesso a serem utilizados.

O desenvolvimento prático do trabalho estruturou-se a partir da comparação dos resultados obtidos com um traço padrão 1:1:6 (Cimento: Cal: Areia), com composições alterando introduzindo quantidades variadas de resíduos de cerâmica vermelha e gesso, conforme a Tabela 1.

Cerâmica vermelha	Gesso	Areia
20%	0%	80%
0%	4%	96%
20%	4%	76%
0%	0%	100%

Tabela 1. Composição dos agregados

O estudo da composição granulométrica dos agregados foi realizado de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987) – Agregados – Determinação da composição granulométrica, que prescreve o método para análise granulométrica de agregados para concreto e argamassa. Para a determinação da massa específica foi pesado para cada agregado 1000 g de amostra. Em uma proveta adiciona-se 1200 ml de água, considerando este como o volume inicial, em seguida adiciona a amostra no recipiente obtendo então pela leitura da proveta o volume total. Fazendo a diferença de valores entre volume inicial de água e volume final, obtemos o volume do agregado.

Para a determinação da massa unitária do agregado utilizou-se a NBR 7251 (ABNT, 2006), que segundo ela, é definida, pelo quociente da massa do agregado no recipiente de acordo com o estabelecimento da norma e o volume do recipiente. Para o ensaio foi necessário um recipiente com o volume conhecido. Este recipiente foi pesado e em seguida preenchido com o agregado, de modo que não ocorresse segregação das partículas devido a batidas no recipiente que pudessem acontecer no decorrer do ensaio

As argamassas foram preparadas com o traço descrito por Bavaresco (2001), argamassa normal utilizada em obras, cujo traço utilizado foi de 1: 1: 6 (Cimento: cal: areia), o traço destina-se ao assentamento de alvenarias com unidades de média resistência. A análise das argamassas no estado fresco foi realizada com base em algumas propriedades que interferem na sua qualidade final. Foi analisado a densidade e teor de água incorporado e o índice de

consistência. As argamassas no estado endurecido foram avaliadas através dos ensaios de porosidade, ultrassonografia, análise térmica, densidade no estado endurecido, resistência à compressão e resistência de aderência a tração.

O efeito dos diferentes agregados foi avaliado a partir da caracterização do material, onde se avaliou suas propriedades mecânicas de resistência à compressão em intervalos de 7, 14 e 28 dias após a moldagem, porosidade, aderência e plasticidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para elaboração das misturas, utilizou-se o cimento Portland CP-II-F-32 da empresa Votorantim, cuja propriedades informadas pelo fabricante são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Características físicas CP-II-F-32

Tipos de ensaio	Resultados	NBR
Massa Unitária (g/cm ³)	1,2	NBR 6474
Massa Específica (g/cm ³)	3,2	NBR 23
Finura na peneira #200(%)	<12	NBR 11579
Resistência. À compressão 7 dias (Mpa)	>20	NBR 7215
Resistência à compressão 28 dias (Mpa)	>32	NBR 7215

Fonte: Votorantim cimentos, 2016

A cal CH-III utilizada foi produzida pela Votorantim Cimentos e seus dados de caracterização efetuados pelo fabricante são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Características físicas da CH III

Tipos de ensaio	Resultados	NBR
Massa Unitária (g/cm ³)	0,75	NBR 6474
Massa Específica (g/cm ³)	2,4	NBR 23
Finura na peneira #200(%)	12	NBR 9288
Finura na peneira #30(%)	0,0	NBR 9289
Umidade (%)	0,0	

Fonte: Votorantim Cimentos, 2016

Através do ensaio granulométrico foram determinados os agregados reciclados de cerâmica vermelha e gesso, utilizado como agregado miúdo na produção das argamassas contém dimensão máxima dos grãos e módulo de finura respectivamente: 25 mm, 4,47; 9,5mm e 4,21.

Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) agregado miúdo com módulo de finura inferior a 2,40 é classificado como agregado fino, para agregados com módulo de finura entre 2,40 e

3,30 são considerados como agregado médio, entre 3,30 e 3,90 são considerados grossos e maiores que 3,90 muito grossos. Neste caso o resíduo de CV e gesso é muito grosso por ter módulo de finura superior a 3,90 sendo respectivamente 4,47 e 4,21. A tabela 2 apresenta um resumo das características de cada agregado utilizado nos ensaios.

CARACTERÍSTICA	AGREGADO		
	NATURAL	CV	GESSO
Diâmetro máximo	4,8	25	9,5
Diâmetro mínimo	0,15	0,15	0,15
Módulo de finura	2	4,67	4,21
Caracterização	Areia Média	Areia Grossa	Areia Grossa

Tabela 2. Resumo das características dos agregados

As curvas granulométricas dos agregados, depois de triturados e peneirados, para obter as frações passantes na peneira ABNT 4,8mm, a qual foi utilizada no trabalho podem ser observados no gráfico 1 e 2. No gráfico 1 as curvas são compostas com as porcentagens retidas acumuladas do resíduo de gesso e o agregado natural, e as zonas utilizáveis em limite superior e inferior e no gráfico 2 pode-se observar a curva granulométrica do resíduo de cerâmica vermelha, que foi feito pelo procedimento de agregado graúdo por conter grãos muito grandes que iriam interferir no cálculo do módulo de finura.

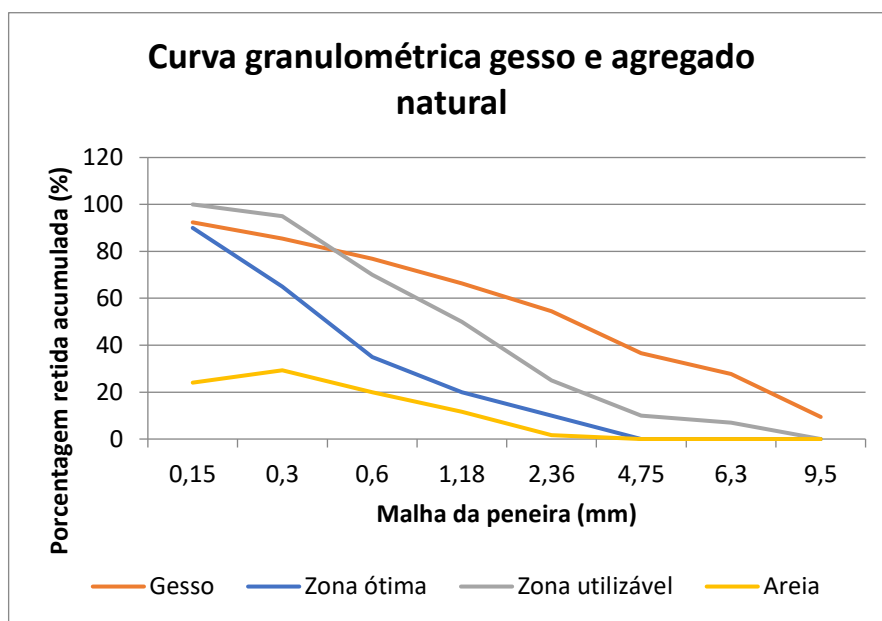


Gráfico 1. Curva granulométrica do gesso e agregado natural

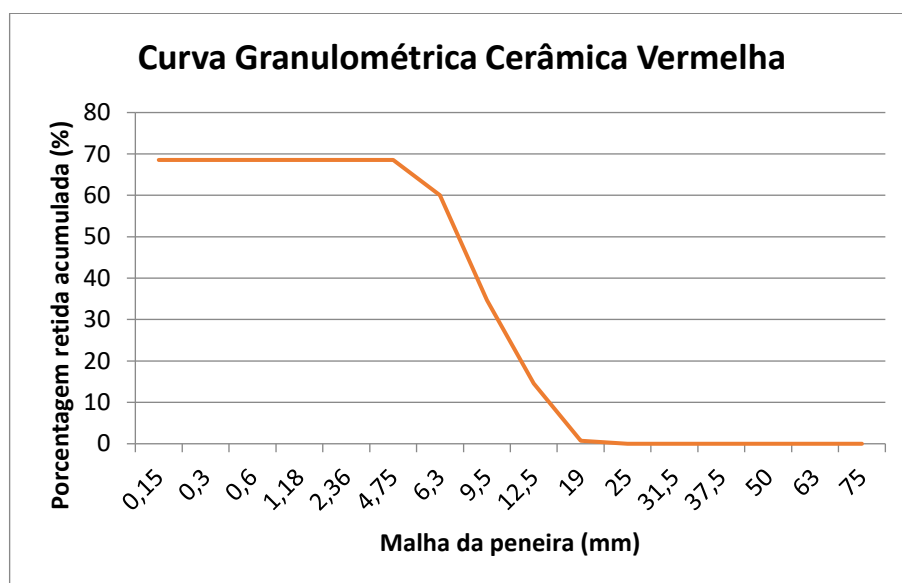


Gráfico 2. Curva granulométrica da cerâmica vermelha

A massa específica foi encontrada segundo o método simplificado da proveta e a massa unitária aparente, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2006), resultando para a cerâmica vermelha $2,17 \text{ g/cm}^3$ e $1,01 \text{ g/cm}^3$ e para o gesso $2,00 \text{ g/cm}^3$ e $0,64 \text{ g/cm}^3$. A tabela 3 apresenta as características físicas dos agregados reciclados e do agregado natural utilizado na argamassa.

Agregado	Tipos de ensaio	Resultados	NBR
CV	Massa Específica (g/cm^3)	2,17	método simplificado
	Massa Unitária (g/cm^3)	1,01	NBR 7215
GESSO	Massa Específica (g/cm^3)	2,00	método simplificado
	Massa Unitária (g/cm^3)	0,64	NBR 7215
AREIA	Massa Específica (g/cm^3)	2,6	método simplificado
	Massa Unitária (g/cm^3)	1,63	NBR 7215

Tabela 3. Característica física dos agregados miúdos

Conforme a tabela 3 observa-se que os valores encontrados para as massas específica dos agregados reciclados ficaram em torno de 20% abaixo a massa específica do agregado natural. Segundo Bazuco (1999), isso se deve ao fato de geralmente os resíduos reciclados serem mais leves que os agregados naturais. A menor massa unitária obtida foi a do agregado de gesso, o qual é mais leve que os demais e também possui uma quantidade maior de finos.

Os resultados referentes aos ensaios realizados nas argamassas no estado fresco estão apresentados na Tabela 3 e correspondem a consistência, a massa específica e o teor de ar incorporado em cada traço das argamassas conferidas. A consistência é um indicador da trabalhabilidade, servindo de parâmetro para determinar a quantidade de água necessária a

argamassa, a fim de que a mistura alcance a trabalhabilidade desejável, esta foi determinada através do ensaio de mesa de consistência (*flowtable*). Neste trabalho, foi adotado consistência de 280 ± 10 mm. Os valores encontrados expostos na tabela 4, serviram de base para a determinação de água a ser utilizada nos traços tanto de referência, quanto nos traços contendo os agregados reciclados. O traço com adição dos resíduos de CV e gesso tiveram um aumento na relação água/cimento, em razão da influência de finura do agregado.

Argamassa	Relação a/c	Índice de consistência (mm)	Massa Específica (g/cm ³)	Teor de ar incorporado (%)
PADRÃO	1,87	284,73	1,51	1
CV	1,87	278,67	1,71	1
GESSO	1,87	287,70	1,46	1
CV + GESSO	2,10	278,06	1,50	1

Tabela 4. Propriedades das argamassas no estado fresco

Verificou-se que as argamassas contendo adições de gesso tiveram uma redução na massa específica em relação a argamassa padrão. Este fato se deve em função da baixa massa unitária e da massa específica do resíduo. As argamassas tiveram suas massas específicas entre 1,46 e 1,71 g/cm³ sendo classificadas como argamassas normais, podendo, portanto, por estes resultados, serem utilizadas em aplicações convencionais.

A tabela 4 mostra ainda que não houve variação do teor de ar incorporado na argamassa em relação a quantidade de agregado de CV e gesso substituída pela areia. Neste caso, as argamassas estudadas tiveram 1% de teor de ar incorporado, não acarretando problemas referentes à resistência de aderência à tração.

As propriedades analisadas no estado endurecido foram resistência a compressão, porosidade, análise térmica e resistência de aderência a tração os quais serão discutidos a seguir. A resistência a compressão foi determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 1995). Os valores médios obtidos para cada argamassa podem ser observados na Tabela 5.

0	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
PADRÃO	1,72	2,02	2,62
CV	3,48	5,07	8,64
GESSO	0,89	1,01	2,61
CV + GESSO	1,29	2,88	4,68

Tabela 5. Resistência a compressão

De acordo com a tabela 5 pode-se observar que a argamassa produzida com 20% de resíduo de CV a resistência a compressão aos 7 dias é aproximadamente 40% maior que a resistência alcançada aos 28 dias pela argamassa padrão. Outra observação verificada é que a argamassa contendo resíduo de gesso teve uma resistência a compressão significativamente baixa aos 7 dias e aos 28 dias elevou a sua resistência próxima à da argamassa padrão.

O gráfico 3 mostra a evolução da resistência a compressão das argamassas produzida. Pode-se observar que a resistência alcançada pela CV foi bem superior as alcançadas pelas argamassas produzidas com os demais agregados. Observa-se também que a argamassa contendo adição dos resíduos de CV e gesso teve um aumento na resistência de aproximadamente 78% aos 28 dias.

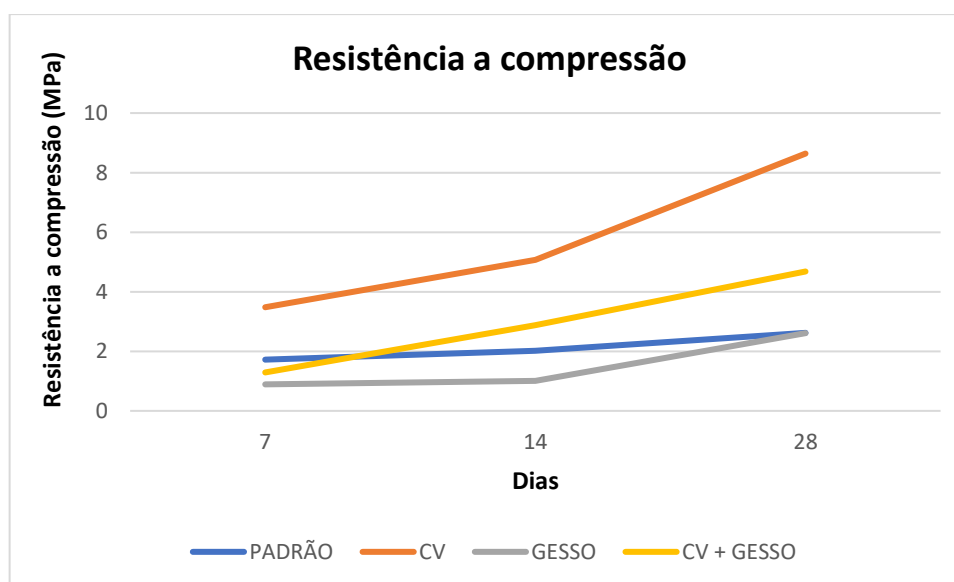


Gráfico 3. Evolução da resistência a compressão

O gráfico 3 mostra ainda que, além das argamassas produzidas com o resíduo reciclado de CV apresentarem maior resistência a compressão, apresentam uma tendência em continuar ganhando resistência após os 28 dias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados apresentados é possível verificar que o material reciclado de cerâmica vermelha tem grande potencial de reutilização como substituição do agregado natural devido a sua superioridade quanto a resistência e compressão, assim, este resíduo pode ter um destino mais nobre, do que ser simplesmente descartado em locais nem sempre adequados, comprometendo o meio ambiente. Os resultados desta pesquisa ressaltam as

potencialidades que o agregado reciclado possui, quando utilizado como material alternativo para a própria fonte geradora.

Através dos ensaios de granulometria realizados, o agregado reciclado e triturado pode ser classificado como areia grossa, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) o que possibilita sua utilização como agregado miúdo, para a produção de argamassas de assentamento e revestimento.

Para a confecção das argamassas a partir do traço 1:1:6 (usual em obras), foi determinada a massa unitária de cada agregado que compõe a argamassa e através dos resultados observou-se que a massa unitária do agregado de material cerâmico é aproximadamente 38% menor que o agregado reciclado e agregado de gesso 39% menor que o agregado natural.

A resistência da argamassa contendo resíduo de CV apresentou-se 3,29 vezes maior que a da argamassa padrão, isto ocorre devido ao fato de ser um material pozolânico, proveniente de argila calcinada. Como argamassas produzidas com agregado reciclado costumam consumir mais cimento, isso acaba aumentando o custo, porém estas poderiam ser mais baratas se diminuísse a quantidade de cimento, o que levaria a queda da resistência, porém a resistência das argamassas com CV é maior que a resistência da argamassa com agregado natural não comprometendo a sua utilização. Entretanto os resultados inferiores ao padrão obtidos pelas argamassas contendo resíduo de gesso podem ser explicados pelas reações entre os aluminatos do cimento e o sulfato do gesso, juntos a presença de água gera entrigita, um composto que ocupa volume maior ao dos reagentes criando tensões expansivas que levam a resultados inferiores. Verificou-se que as argamassas contendo adições de gesso tiveram uma redução na massa específica em relação a argamassa padrão. Este fato se deve em função da baixa massa unitária e da massa específica dos resíduos.

As argamassas produzidas com CV também apresentaram os melhores resultados quanto a resistência a compressão e resistência a aderência. A argamassa contendo CV e gesso tiveram resultados inferiores a argamassas contendo apenas resíduo de CV, porém ainda obtiveram resultados superiores a argamassa padrão. Já a argamassa contendo apenas gesso teve uma queda na resistência a compressão nada significativa, porém quando comparado a resistência à aderência, não obtivemos resultados concretos pois a argamassa não aderiu a parede, levando a conclusão de que o gesso interfere na aderência da argamassa.

Os ensaios realizados na pesquisa demonstram que, de um modo geral, as propriedades das argamassas produzidas com agregado reciclado, não diferem muito das argamassas

produzidas com agregado natural, exceto quanto a resistência a compressão, nas argamassas contendo CV, que apresentaram resistência superior.

Ao final da pesquisa é possível verificar que os resíduos sólidos de construção civil não devem ser vistos e tratados como lixo, mas sim como material com potencial de agregado alternativo para a produção de argamassas e com qualidades iguais ou superiores a argamassa produzida com agregado natural.

Em um mundo onde os recursos são finitos e com o crescimento constante da população, o uso racional, bem como, a diminuição dos desperdícios e o reaproveitamento dos materiais é imprescindível para a manutenção e preservação das reservas naturais. Os estudos que visam diminuir o uso dos recursos naturais e reutilizar os resíduos gerados por qualquer atividade industrial não podem parar, as gerações futuras agradecerão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland- determinação da resistência a compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR NM 248: **Agregados- Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7217: **Agregados- Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 7251: **Agregado em estado solto- Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência a tração na flexão e compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

BAPTISTA, J. V. J ; ROMANEL, C. **Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras**. Artigo, Revista Brasileira de Gestão Urbana. 2013.

BARDELLA, P.S. **Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 235p. 2011.

BAVARESCO, C. R. **Utilização de Entulho Reciclado para Produção de Argamassas**. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 125p. 2001.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 128p. 1999

CABRAL, A. E. B; MOREIRA, K. M. V. 2011. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Fortaleza, CE. 2011.

CALLISTER JR, W. D.; **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed. LTC: Rio de Janeiro, 2002.

CANUT, M. M. C. **Estudo da Viabilidade do Uso do Resíduo Fosfogesso como Material de Construção**. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 154p. 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº307 de 5 de julho de 2002. Diário Oficial da União nº 136, Brasília, p. 95-96, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n. 431, de 24 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 maio 2011.

DOMÍNGUEZ, L.V. ; SANTOS, A.G. **Manual del Yeso. Madrid: Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY)**. 267 p. 2001

GOMES, P. C. C.; Et Al. **Obtenção de Argamassas com Reciclados Produzidos na Obra para uso em Revestimento**. Encontro Nacional de Tecnologias do ambiente Construído, 13. 2010.

HANSEN, D. M. **Avaliação das propriedades pozolânicas de resíduos de cerâmica vermelha para emprego em material cimentício suplementar**. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS. 140p. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Brasília: IPEA, 2012.

JOHN, V. M. **Desafio da construção sustentável**. Realização CAIXA. Páginas e Letras – Editora e Gráfica. São Paulo, SP. 204p. 2010.

LAPA, J. S. **Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra**. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 132p. 2011.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 270p. 2001.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. **Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduos de construção e demolição**. Artigo. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (Gesta), v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

MUNHOZ, F. C.; RENÓFIO, A. **Uso da Gipsita na Construção Civil e Adequação para a P+L**. XIII SIMPEP. Bauru, SP. 2006.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil**. 1 ed. Signer Ltda: São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, P. **Utilização de resíduos do gesso da construção civil na produção de novos materiais**. – Revista On-line IPOG - Edição nº 11 Vol. 01/ 2016. Goiânia, GO. 2016

PCZIECZEK, ADRIANE. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassas utilizando cinza volante e resíduo de borracha de pneus inservíveis**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, SC. 147 p. 2017.

REGUEIRO, M. Y G-B; LOMBARDE, M. B. **Innovaciones y avances en el sector de las rocas y minerales industriales**. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Espanha, Madrid. p. 67-68. 1997

ROHAN, U, FRANÇA, S. L. Braga – **Avaliação do desempenho ambiental na indústria naval**: estudo de caso de estaleiro instalado no Rio de Janeiro. Artigo. X Congresso Nacional de Excelência em Gestão - CNEG 2013 - TEMA: Sociedade, eficiência energética e sustentabilidade organizacional. Rio de Janeiro, RJ. 2013.

SINDUSGESSO. **Vantagens do gesso na construção civil**. 2013. Disponível em: <https://www.sindusgesso.org.br/vantagens-do-gesso-na-construcao-civil/>. Acesso em 15 de Abr de 2019.

SILVA, A. R.; CABRAL, K. C.; PINTO, E. N. de M. G.l. **Substituição Parcial do Cimento Portland Por Resíduo de Cerâmica Vermelha em Argamassa**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Artigo. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, RN. 2016.

SILVA, C. **Desenvolvimento Sustentável. Um modelo analítico integrado e adaptativo**. Vozes: Brasília, 2008.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Cimento CP II-E-32- Votorantim**. Disponível em https://www.aecweb.com.br/prod/e/cimento-cp-ii-e-32-votorantim-_10576_9781. Acesso em 15 de Abr de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Presbiteriana Mackenzie, seu corpo docente, direção e administração por todo o trabalho para que fosse possível a nossa formação. Ao professor Renato Meneghetti Peres e a toda a equipe do Laboratório de Materiais de Construção por todo empenho dedicado à realização deste trabalho. Agradecemos também aos professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie, por nos proporcionar conhecimento para nossa

formação acadêmica e profissional. As empresas que foram solícitas na doação dos materiais reciclados.

Aos nossos familiares e amigos, pela paciência, amor e por acreditar em nossa capacidade, e para todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte desta jornada acadêmica, o nosso muito obrigado.