

## ESTUDO DE CASO: APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CORONEL FABRICIANO, MINAS GERAIS

Marluce Teixeira Andrade Queiroz<sup>1</sup>

Carolina Andrade Queiroz<sup>2</sup>

Millor Godoy Sabará<sup>3</sup>

Mônica Maria Diniz Leão<sup>4</sup>

Camila Costa Amorin<sup>5</sup>

**RESUMO:** Nesse estudo investigou-se a aplicabilidade do Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD) proveniente de empresa situada no município de Coronel Fabriciano, Minas Gerais, visando à confecção de artefatos cimentos. Foram implementados experimentos, substituindo-se a brita por RCD. O traço foi definido com base nos ensaios físico-químicos relativos à massa específica, absorção de água, teor de sólidos voláteis, matéria orgânica, lixiviação ácida e composição química. A comparação dos resultados apontou que é viável a reutilização do RCD e explicitou a necessidade da especificação do traço objetivando a resistência aos esforços axiais frente à sua destinação final. Alertou-se para a necessidade da inclusão de aditivos específicos para aumentar a durabilidade frente à lixiviação ácida e possível disponibilização de metais pesados. A utilização do RCD implicará em economia ambiental, representando uma ação importante para o desenvolvimento sustentável. No entanto, a sua reciclagem demanda monitoramento sistemático, garantindo-se a qualidade dos produtos, segurança e preservação dos recursos naturais.

**Palavras-chave:** Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD). Impactos Ambientais. Reuso. Concreto.

---

<sup>1</sup> Engenheira Eletricista pela PUC-MG, Mestre em Engenharia pelo Unileste-MG, Especialista em Engenharia de Segurança pela PUC-MG, Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Univale, Engenheira de Segurança na Prefeitura Municipal de Ipatinga, Doutorado em andamento na Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. E-mail: [marluce.queiroz@bol.com.br](mailto:marluce.queiroz@bol.com.br).

<sup>2</sup> Engenheira de Alimentos pela UFV, Especialista em Engenharia de Segurança pelo Unileste, Brasil. E-mail: [carolanq@yahoo.com.br](mailto:carolanq@yahoo.com.br).

<sup>3</sup> Doutor, Professor Titular na Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG, Coordenador do Laboratório em Limnologia, Brasil. E-mail: [mgsabara@uol.com.br](mailto:mgsabara@uol.com.br).

<sup>4</sup> Doutora, Professora Associada da Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Brasil. E-mail: [monica@ufmg.com.br](mailto:monica@ufmg.com.br).

<sup>5</sup> Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. E-mail: [camila@ufmg.com.br](mailto:camila@ufmg.com.br).

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é reconhecida como uma das atividades importantes para o desenvolvimento econômico e social, sendo responsável por mais de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) ao nível nacional. E, por outro lado, comporta-se, ainda, como grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos (PABLOS; SICHERI, 2010).

A quantidade expressiva dos rejeitos e o seu descarte inadequado repercutem desfavoravelmente na qualidade da água, do ar e do solo. Isto impõe a busca de soluções rápidas e eficazes para a sua gestão adequada, por meio da elaboração de programas específicos, que visem à economia ambiental associada à manutenção da qualidade dos produtos (PABLOS et al., 2012).

A reutilização ou reciclagem do resíduo é apontada como uma das alternativas para minoração do problema. Não se trata de matéria nova, tendo iniciado na Europa logo após a segunda guerra mundial. No entanto, encontra-se, no Brasil, muito atrasada, apesar da escassez de áreas destinadas aos aterros nas grandes regiões metropolitanas (MEDEIROS et al., 2013).

As políticas públicas têm buscando imprimir maior rapidez no desenvolvimento dessa questão. Destaca-se a Resolução n°. 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que definiu responsabilidades e deveres do poder público municipal e das empresas em relação aos rejeitos produzidos pela construção civil.

Dentre as diversas competências impostas pela legislação ambiental, destacam-se o licenciamento de áreas para disposição dos rejeitos, fiscalização do processo produtivo e a implantação do plano integrado municipal de gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD) sendo possível a reutilização na confecção de blocos de concreto (REANNI E MACHADO, 2011).

Sabe-se que para a produção do concreto são utilizados como matéria-prima os agregados graúdos e miúdos (pedras britadas, areia e pedregulhos), aglomerantes (cimento ou cal), água e aditivos (corantes ou fibras). Quimicamente os óxidos encontrados no RCD são constituídos, preferencialmente, de alumina, óxidos de cálcio, magnésio e sílica, correspondendo à composição básica dos agregados, tornando viável a sua utilização em misturas de concretos (PIAIA et al., 2013).

Neste contexto, o RCD tem sido aproveitado pelas indústrias cimenteiras, em substituição total ou parcial dos agregados naturais. Até pouco tempo, os agregados eram considerados apenas como material inerte e de enchimento, distribuídos pelo meio da pasta de

cimento. Mas hoje, se tem a inversão dessa visão, considerando o agregado não só do ponto de vista econômico, mas também da durabilidade e desempenho estrutural. Todavia, Pablos et al. (2012) alertam quanto ao risco do reaproveitamento do RCD sem uma avaliação criteriosa das suas propriedades e composição. Os pesquisadores reforçam que os agregados na realidade não são materiais totalmente inertes, e suas propriedades, têm muita influência sobre as propriedades finais adquiridas pelo cimento.

Além disso, a presença de algumas substâncias consideradas como impurezas são substâncias reativas, como por exemplo, amianto, betume, gesso, matéria orgânica, polímeros, sílica amorfa, dentre outras, e podem prejudicar o desempenho técnico estrutural dos materiais produzidos com o RCD (ZIMMERMAN et al., 2014). Outro aspecto prioritário é a segurança das populações em função dos contaminantes.

Rocha et al. (2013) alertam que a reutilização de um resíduo se avalia não somente do ponto de vista dos parâmetros técnicos necessários ao fim que se destina, mas também da perspectiva do possível dano ao meio ambiente que possa causar. A presença de contaminantes deve ser investigada a fim de prevenir que poluentes potencialmente perigosos se tornem biodisponíveis, agravando os problemas ambientais (ZIMMERMANN et al., 2014). Especificamente, em relação ao município de Coronel Fabriciano, Minas Gerais verificou-se que a situação do lixo urbano era preocupante. O referido material era encontrado com uma produção média de 45 toneladas por dia (IBGE, 2013). Sendo detectadas, *in loco*, situações tais como, esquinas abandonadas ou terrenos baldios da periferia ou marginais da cidade servindo para o despejo dos resíduos domiciliares. Mymrin et al. (2014) afirmam que o RCD corresponde entre 41 a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Sendo assim, corroborando aquelas estatísticas constatou-se que o município de Coronel Fabriciano apresentava um descarte de RCD que oscilava entre 18,45 a 31,5 toneladas/dia em média (<http://www.fabriciano.mg.gov.br>).

Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade do RCD recolhido por uma empresa do ramo da construção civil sediada na referida municipalidade. A proposta incluía a perspectiva da substituição parcial ou total do agregado natural visando à produção de artefatos de cimento repercutindo em ganhos sociais e ambientais relacionados com o crescimento das oportunidades para empregabilidade e preservação de matérias-primas.

Logo, tornou-se fundamental, um estudo das propriedades do RCD, através de ensaios e métodos apropriados. Tais informações se constituíram em base fundamental para a seleção de suas possíveis aplicações. Rodrigues et al. (2014) reforçam que existe a possibilidade dos artefatos de cimento ser produzidos com uma grande variabilidade das fontes de fornecimento

de matérias-primas desde que haja rigoroso sistema de controle quanto às etapas operacionais e especificações da qualidade do produto final.

O presente trabalho estudou a formulação de compósito utilizando o RCD em substituição parcial da brita gnaisse na geração de produtos com aplicabilidade na construção civil. Sendo assim, foram realizados diversos ensaios físico-químicos, tais como, absorção da água, composição química, massa específica, lixiviação, teor de matéria orgânica e dos sólidos voláteis.

Além disso, foram implementados ensaios de resistência à compressão em corpos de prova de cimento utilizando como insumo brita e RCD se estabelecendo comparações e ponderações quanto à destinação final daqueles artefatos. Vale destacar que o aproveitamento do entulho da construção civil se constitui em solução importante para problemas, tais como, encargos financeiros pertinentes à desobstrução de córregos e vias públicas, contribuindo para a preservação ambiental e urbanização (BERRÍOS-GODOY, 2013). Além disso, o uso do RCD contribui para a redução das distorções ambientais, tais como, efeito estufa e chuva ácida.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Agregado Natural**

O agregado natural (brita) corresponde ao produto da moagem e mistura de diversos tipos de rocha. Em geral em sua composição agrega 85% de granito e gnaisse, 10% de calcário e dolomita e 5% de basalto e diabase. A importância industrial do agregado natural (brita) se justifica pelas amplas possibilidades de sua utilização sendo considerado essencial na manutenção do fluxo regular de diversos segmentos econômicos. Dentre suas aplicações, pode-se citar a confecção de bloquetes de cimento para a pavimentação, meio-fio, e outros artefatos. Entretanto, todas essas aplicações se encontram atreladas à suas características físico-químicas. Sendo assim, a brita só pode ser substituída por material com propriedades similares e em condições controladas. Nessa perspectiva, diversos estudos têm sido implementados buscando avaliar a validade do uso do RCD em substituição total ou parcial do agregado natural (MONTAGNA et al., 2014).

### **2.2 Resíduo da Construção e Demolição**

A Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece que seja resíduos reutilizáveis ou recicláveis, os provenientes de:

- i) construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- ii) construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- iii) processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

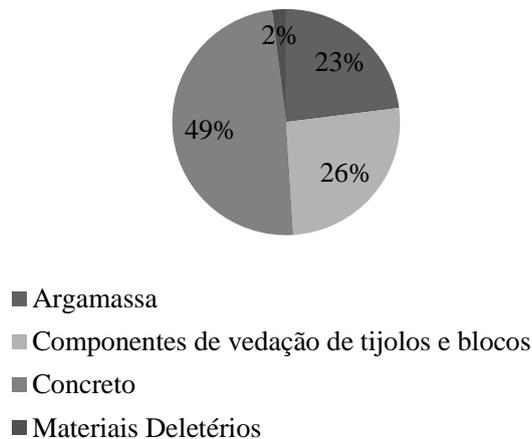
Em outras palavras, o RCD é definido como entulho, sobras, ou rejeitos constituídos, por todo o material mineral, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, e outros materiais oriundos do desperdício do processo construção e demolição prediais (CONAMA n.º 307, 2002).

Em consonância com a referida legislação ambiental o RCD deverá receber destinação adequada. Preferencialmente, sistematizada com vistas a sua reutilização ou reciclagem na forma de agregados. Diante da impossibilidade de tal ação, muitas vezes, motivada por ausência de recursos tecnológicos e/ou financeiros, o RCD é encaminhado para áreas de aterro de resíduos da construção civil, devendo a sua disposição ocorrer de modo a permitir a sua reutilização ou reciclagem futura.

Além disso, conforme preconizado na legislação ambiental deve ser estabelecido o Programa Municipal de Gerenciamento do RCD (PMG – RCD) elaborado, implementado e coordenado pelo próprio município, estabelecendo os parâmetros elementares e procedimentos acertados para o exercício das responsabilidades dos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local (CONAMA n.º 307, 2002).

Mymrin et al. (2014) afirma que o entulho que sai dos canteiros de obras brasileiros é composto basicamente de 23% de argamassa, 26% com componentes de vedação de tijolos e blocos, 49% de concreto e 2% de outros materiais deletérios (Figura 1). Dentre os materiais deletérios mais comuns estão os metais pesados, plásticos, papel e amianto.

Figura 1 – Composição do RCD



Fonte: Adaptado pelos autores com base em Mymrin *et al.* (2014)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Origem do RCD

O material utilizado, RCD, era proveniente de um aterro industrial localizado em Coronel Fabriciano, Minas Gerais que atendia as atividades realizadas na Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) formada pelos municípios de Coronel Fabriciano, Ipatinga, Santana do Paraíso e Timóteo cujo aporte oscilava entre 180 e 316 toneladas/ano mostrando relação direta com a grande aglomeração urbana em torno de 477.669 conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (<http://www.ibge.gov.br>), Acesso:24/06/2014).

#### 3.2 Técnicas de amostragem do RCD e da brita

Na obtenção e preparação de amostras representativas do RCD tomou-se por base a NBR 10.004 (ABNT, 2004) e a NBR 10.007 (ABNT, 2004) e para a brita a NBR 7.225 (ABNT, 1993). Destaca-se que o RCD foi submetido à separação manual, sendo feita à retirada de materiais, tais como, metais, gesso, madeira, dentre outros, conforme o disposto na Resolução CONAMA n.º 307/2002.

#### 3.3 Granulometria

O RCD e a brita foram submetidos ao processo de britagem e classificação. As referidas operações garantiram que a brita atingisse a faixa granulométrica varia de 11 a 22mm e módulo de finura 7,58 (Tabela 1). Por outro lado, o RCD processado atingiu a faixa

granulométrica oscilando entre 9,5 a 19mm e módulo de finura um pouco menor igual a 6,69 (Tabela 1).

Tabela 1 – Granulometria e Módulo de Finura da brita e do RCD

Parâmetros	Brita	RCD
Faixa Granulométrica (mm)	11,0 - 22,0	9,5 -19,0
Módulo de Finura (mm)	7,58	6,69

Nesse estudo, essa etapa demandou empenho e muito controle. Vale destacar, que a velocidade das reações de hidratação na formação dos blocos de cimento mostra relação direta com a superfície de contato relacionada com os parâmetros ajustados (MANFROI et al., 2014).

### 3.4 Ensaios físico-químicos

Os ensaios físico-químicos foram realizados em quadruplicata com dez repetições para cada um deles, utilizando-se amostras de RCD e de brita com fins comparativos, que foram submetidas análise quali-quantitativa instrumental por Fluorescência de Raios-X (FRX). Foram, também, mensurados os parâmetros de densidade, absorção de água, teor de sólidos voláteis e matéria orgânica seguindo o método sugerido por Negrão et al. (2010). Para o teste de lixiviação observou-se a sistematização proposta por Ludving et al. (2011).

Além disso, foram produzidos corpos de prova de cimento com sistema de capeamento colado com mistura de enxofre curados submersos, traço 1,76:3,06:0,62 (cimento:areia:brita:água) e 1,76:2,03:2,03:0,67 (cimento:areia:brita:RCD:água), que foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão na idade igual a vinte e oito dias, conforme os parâmetros da NBR 12655/2006, NBR 5738/2008 e NBR 5739/2007b, com resultados expressos em toneladas força (tf), com precisão de 10 quilogramas força (kgf). Todos os procedimentos foram realizados nos laboratórios do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (UNILESTE – MG) que contava com equipamentos calibrados e profissionais qualificados para o seu manuseio. O período de estudo abrangeu os meses de Fevereiro/2011 até Julho/2012.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Composição Química

As análises das composições químicas do RCD e da brita gnaisse (brita), através do método de FRX, mostraram que existia uma predominância de óxidos de alumínio ( $Al_2O_3$ ), cálcio (CaO), ferro ( $Fe_2O_3$ ), magnésio (MgO) e silício ( $SiO_2$ ) nos dois materiais (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição percentual da brita e do RCD

Material	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO	%MgO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>
Brita ( $\delta \pm 0,027$ )	14,3	2,1	0,2	2,1	71,4
RCD ( $\delta \pm 0,042$ )	9,2	14,9	0,6	14,9	59,3

No RCD a origem do CaO e do MgO se relaciona ao aglomerante (pasta endurecida de cimento e cal) presente em componentes construtivos, sendo este fator determinante para a elevação dos teores destes óxidos em comparação com a brita gnaisse (Tabela 2).

As diferenças observadas não descartavam a possibilidade de utilização do RCD. Existem diversos tipos de cimento, que são indicados para compor argamassas e concretos de acordo com as necessidades de cada caso. Além disso, podem-se modificar as características dos concretos, aumentando ou diminuindo a quantidade de água e cimento, e dos agregados (areia, pedra britada, cascalho, etc.). É possível usar ainda aditivos químicos, a fim de reduzir certas influências ou aumentar o efeito de outras, quando desejado ou necessário (ABCP, 2014).

A dosagem dos componentes do concreto e da argamassa é conhecida também por “traço”. Portanto, é importante encontrar a dosagem ideal a partir do tipo de cimento e agregados escolhidos para estabelecer uma composição que dê o melhor resultado com o menor custo. A dosagem deve obedecer a métodos racionais, comprovados na prática, e que respeitem as normas técnicas vigentes (ABCP, 2014).

A elevação do teor da cal no RCD mostrou-se como indicador favorável em relação à possibilidade de substituição total ou parcial da brita (Tabela 2). O cimento utilizado como aglomerante em estruturas de concreto é constituído principalmente por silicatos hidráulicos de cálcio (SANTOS et al., 2014). A cal agrega características importantes à argamassa, na fase inicial (estado fresco) propicia maior plasticidade melhorando a trabalhabilidade e produtividade na execução do revestimento contribuindo também para impedir o ganho excessivo da água pela base. Outro aspecto importante se relaciona com o fato de que no estado endurecido incrementa a capacidade de absorver deformações devido à retração do módulo de elasticidade gerando menor variação dimensional, carbonatando lentamente e tamponando eventuais fissuras ocorridas no endurecimento da argamassa mista constituindo-se em fator favorável ao incremento da resistência à compressão do produto final (QUARCIONI et al., 2009).

Outro aspecto importante se relaciona com os teores mensurados de sílica (SiO<sub>2</sub>) e alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que foram menores que os identificados na brita. As origens das espécies nos agregados de RCD reciclados estão associadas aos diversos tipos de silicatos, provenientes

das partículas mistas de pasta de cimento endurecida e de agregados naturais, de rochas, de cerâmica vermelha ou de cerâmica branca. Justificando-se assim, encontrarem-se quantidades menores (Tabela 2). Esse aspecto não se constitui em fator impeditivo quanto à probabilidade de produção de argamassas de cimento.

Bicalho et al. (2013) estudando agentes ligantes em concretos refratários identificou que essa condição possibilitou a produção de estruturas com características intermediárias, ou seja, com porosidade menor em função da redução no teor de sílica coloidal e menor nível de empacotamento associado possível mente à redução da concentração da alumina que em conjunto produziram estruturas com resistência mecânica apropriada para atender esforços intermediários. Os pesquisadores destacaram que as baixas temperaturas de secagem (>350°C) favoreceram o mecanismo de gelificação da alumina e aumentou da área para ancoramento da rede tridimensional incrementando as forças de coesão.

Destaca-se que foram também identificados teores de metais pesados, tais como, o cobre, chumbo, cromo e zinco que foram maiores no RCD. No entanto, esses resultados não contrariavam as disposições CONAMA n.º 307/2002.

Outro quesito avaliado referiu-se ao teor de matéria orgânica e de sólidos voláteis. A matéria orgânica pode ser considerada como um contaminante do agregado reciclado, o que pode prejudicar a qualidade dos produtos a serem confeccionados. Os sólidos voláteis estão associados a compostos inorgânicos tais como o nitrogênio amoniacal, sulfatos e carbonatos (MYMRIM et al., 2014).

Na Tabela 3 estão indicados os valores de teores de matéria orgânica e de sólidos voláteis da brita e do RCD. Observou-se, que o RCD apresentou uma concentração maior em relação aqueles quesitos denotando elevação no teor dos compostos inorgânicos tais como o nitrogênio amoniacal, sulfatos e carbonatos. Esse dado explicitou as exigências do controle de qualidade no uso do agregado reciclado.

**Tabela 3 – Teor de Matéria Orgânica e dos Sólidos Voláteis na brita e no RCD**

<b>Material</b>	<b>Matéria Orgânica e Sólidos Voláteis (%)</b>
Brita	12,756 ( $\delta = 0,0289$ )
Resíduo	17,682 ( $\delta = 0,0392$ )

Em geral a matéria orgânica encontrada em agregados consiste de produtos da decomposição de matéria vegetal e aparecem na forma de húmus e argila orgânica e podem interferir nas reações químicas de hidratação (STRECKER; COSTA, 2014).

## 4.2 Parâmetros Físico-Químicos

Em relação à massa específica, constatou-se que o RCD apresentava uma densidade menor que o agregado natural, denotando tratar-se de material mais poroso (Tabela 4).

Tabela 4 – Massa específica da brita gnaisse e do RCD

Material	Massa específica (g.mL <sup>-1</sup> )
Brita	2,856 ( $\delta = 0,0326$ )
RCD	2,577 ( $\delta = 0,0356$ )

Em materiais porosos, ou seja, com vazios isolados, a densidade real apresenta significativa diminuição. Cota et al. (2012) afirmam que este padrão é geralmente identificado no RCD produzido pelas mais diversas empresas. Esta característica implica em menor resistência à compressão e maior desgaste em função dos processos de abrasão. No entanto, os materiais de baixa densidade quando cimentados apresentam, em geral, diminuição da porosidade. Este fato favorece a sua aplicabilidade, mediante a adoção de técnicas apropriadas (BONDIOLLI et al., 2014).

Bondioli et al. (2014) reforçam que deverão ser utilizados procedimentos para compensar a diferença entre a densidade do agregado natural e do RCD, através da dosagem adequada dos concretos evitando discrepâncias volumétricas quando forem utilizados agregados naturais ou agregados reciclados.

Nacif et al. (2013) observam que para se manter as relações volumétricas sempre constantes, além das diferenças relativas à massa específica do RCD e do agregado natural, deve-se considerar a taxa de absorção de água de cada um daqueles materiais.

A mensuração daquele indicador é imprescindível, pois a partir daí se reconhece o percentual de água que deve ser suprido na brita e agregado reciclado, minutos antes das concretagens, para que não ocorram problemas como redução na relação água/cimento, no abatimento e moldabilidade das misturas devido à falta de água (MEDEIROS et al., 2014).

Verificou-se que o RCD apresentava taxa de absorção de água maior em comparação com a brita gnaisse (Tabela 5). A alta taxa de absorção apresentada pelo agregado reciclado se relacionava possivelmente com a sua porosidade que possibilitou a incorporação da água em seu retículo cristalino condição que interfere negativamente na resistência ao impacto, a resistência mecânica, a resistência ao gelo, a resistência (DAGUANO et al., 2013).

Tabela 5 – Absorção de água da brita gnaisse e do RCD

Material	Absorção de água (%)
Brita	7,812 ( $\delta = 2,51\%$ )
RCD	8,493 ( $\delta = 2,8751\%$ )

Novamente os resultados denotaram que na produção dos artefatos de cimento há necessidade de promover mudanças em função do uso da brita ou do RCD. As taxas de absorção de água deverão ser compensadas observando-se a Norma Brasileira n.º 15.116/04 (NBR 15.116/04). Dentre os vários requisitos especificados na referida legislação, se destaca a necessidade quanto ao estabelecimento do tempo mínimo de contato entre a água e o agregado para aperfeiçoar os resultados da produção, esta operação é conhecida como etapa de pré-molhagem. A ausência deste tipo de controle repercute negativamente também na aderência entre o agregado e a pasta, diminuindo a sua resistência mecânica (TAVARES et al., 2014).

A alta permeabilidade do resíduo denotava uma maior vulnerabilidade ao ataque dos fatores extrínsecos. A resistência dos concretos a processos destrutivos iniciados por reações químicas envolve, geralmente, interações químicas entre os agentes agressivos presentes no meio externo e os constituintes da pasta de cimento. Teoricamente, qualquer meio com pH menor que 12,5, pode ser qualificado como agressivo, porque a redução da alcalinidade do fluido dos poros levaria, no final, a uma desestabilização dos produtos cimentícios de hidratação (JOICHEM et. al, 2014).

Na degradação por ataque químico do concreto, por vezes chamada corrosão do concreto, os processos químicos ocorrem principalmente na porção da pasta hidratada de cimento e na superfície de alguns agregados, causando dissolução ou expansão de alguns dos seus componentes (TONET; GORNINSKI, 2013).

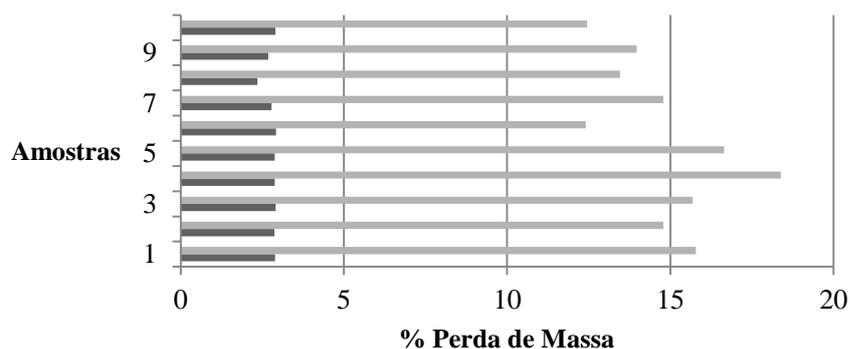
A velocidade e intensidade de degradação, considerando-se aspectos do meio agressivo, são fortemente dependentes, da espécie e concentração da solução ácida, do tipo de contato com o concreto, se estacionário ou em fluxo renovável, e da temperatura. À medida que a elevação da temperatura corresponde à solubilização dos sais de cálcio formados e a renovação (fluxo) da solução agressiva, mais rápido e mais intenso é o processo de degradação. Dentre os ácidos minerais, classificam-se como mais agressivos ao concreto, o clorídrico, o sulfúrico, o nítrico e o fosfórico (GASTALDINI et al.,2014).

Reis et al. (2014) reforçam que os principais agentes da corrosão são: a água, o oxigênio e os cloretos colocando em destaque a deterioração promovida pelas soluções de ácido clorídrico. Nessa premissa foi implementado o teste de lixiviação ácida monitorado pelos métodos gravimétrico e cinético com a brita gnaisse e RCD nas mesmas condições. Nos ensaios gravimétricos foram pesados aproximadamente 5g das amostras de agregado convencional (brita gnaisse) e agregado reciclado (RCD) em balança analítica antes e depois

da exposição ao ácido. O tempo de permanência na solução de ácido clorídrico (HCl) foi classificado como curto, aproximadamente 20 dias.

As cinéticas de degradação foram obtidas por 10 (dez) medidas, chamadas ciclos e permanecendo expostas em soluções com pH 4 em temperatura ambiente. A concentração de Hidrogeniônica  $[H_3O^+]$  foi ajustada visando simular a exposição às chuvas ácidas que são aquelas que apresentam pH inferior a 5,0 em contraposição ao pH natural que se situa em 5,6. Vale destacar que a região de estudo que o intenso conglomerado industrial da região de estudo oportuniza a ocorrência de eventos de chuvas ácidas. Verificou-se que o RCD se mostrou mais vulnerável ao ataque por águas residuárias ácidas quando comparado à brita gnaisse. Constatou-se que a perda de massa no RCD oscilou entre 18,756% e 12,413% enquanto a brita gnaisse variou entre 2,918% até 2,875% nas mesmas condições experimentais (Figura 2).

Figura 2 – Perda de massa do RCD e brita por ataque ácido à temperatura ambiente

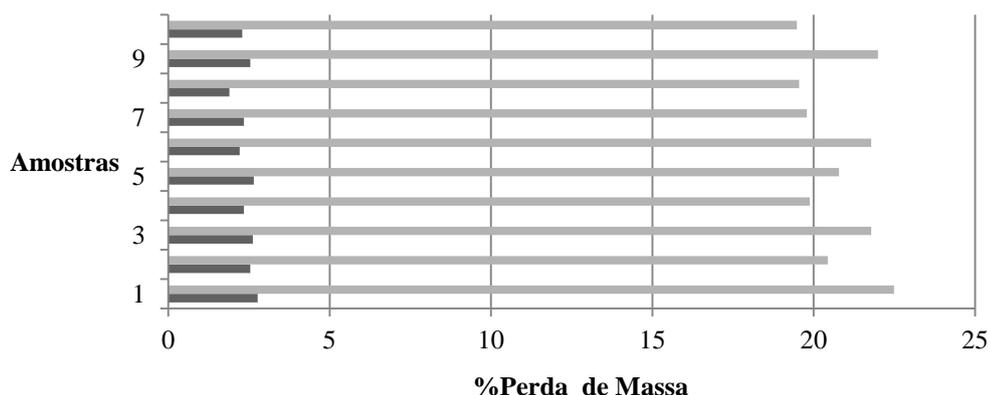


Os resultados indicaram que a composição química e porosidade do RCD contribuíram para o desgaste mais pronunciado em todos os ciclos da degradação química. Dentre os fatores contributivos podem ser citados o elevado teor de cal (Tabela 2) que repercute, geralmente, em menor compactação da estrutura, atribuída ao aumento na coordenação do silício em presença do íon alcalino (STRECKER; COSTA, 2014).

Além disso, nesse estudo avaliou-se a perda de massa em temperatura de 35°C. Vale destacar que na região de estudo a citada temperatura é frequentemente alcançada contribuindo para exacerbação das condições de degradação das estruturas de concreto (BONDIOLLI et al., 2014).

Verificou-se que a elevação da temperatura favoreceu o desenvolvimento do fenômeno químico, intensificando a perda de massa. Este comportamento atingiu 100% das amostras RCD que apresentaram perda de massa entre 22,489% e 19,475% (Figura 3).

Figura 3 – Perda de massa por ataque ácido do RCD e brita à 35°C



Novamente, os resultados reforçaram a necessidade quanto ao rigoroso controle de qualidade na produção dos artefatos finais. Bondioli et al. (2014) pontuam que a variação de temperatura de modo geral não corresponde ao surgimento de tensões nas temperaturas normais de exposição justificada pela similaridade dos coeficientes de dilatação, sendo  $1,2 \times 10^{-5} \text{m/m}^\circ\text{C}$  para o aço e  $1,0 \times 10^{-5} \text{m/m}^\circ\text{C}$  para o concreto. No entanto, quando as temperaturas se elevam, os coeficientes têm comportamentos diferentes, sendo que o do aço pode chegar a 30 vezes superior ao do concreto, produzindo tensões relevantes, que podem provocar o destacamento da camada de cobertura das armaduras (PASTOUKHOV et al., 2014). Assim, tendo em vista a utilização do RCD para a fabricação de blocos de concreto, deverão ser adotados métodos e/ou recursos para minimizar a ação destes agentes.

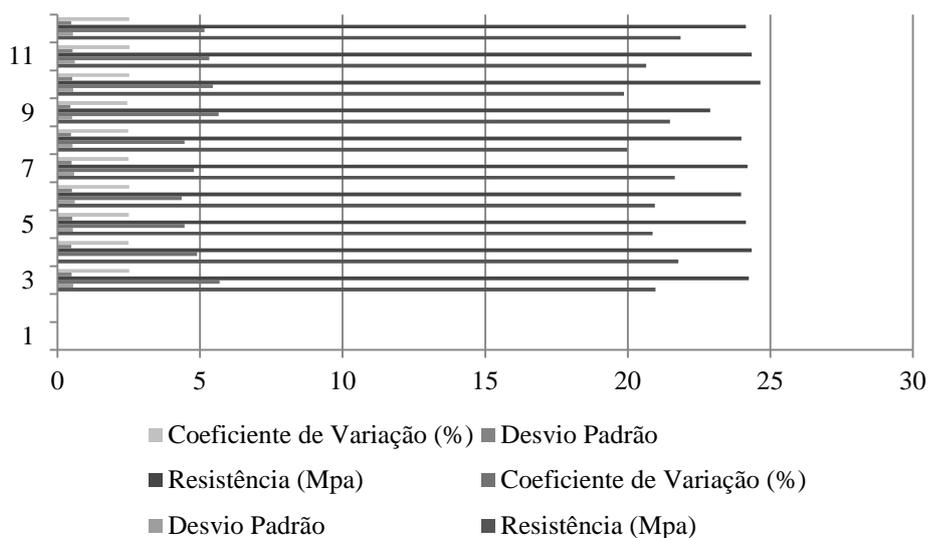
Outro fator considerado indispensável é que embora o RCD apresente em sua composição vários materiais, isoladamente, reconhecidos pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como resíduos sólidos inertes (rochas, tijolos, vidros, alguns plásticos, etc.), vale ainda lembrar, a heterogeneidade do entulho. Tal situação retrata dependência das suas características com a obra de origem que podem mudá-lo de faixa de classificação, ou seja, uma obra pode fornecer um entulho inerte e outra pode apresentar elementos que o tornem não-inerte ou até mesmo perigoso, como por exemplo, a presença de chumbo que, pode acarretar sérios agravos à saúde humana (PABLOS; SICHIERI, 2010).

Sendo assim, o aproveitamento do RCD deve ser considerado, porém sempre pautado pela segurança ambiental. Mostra-se importante considerar que, em pelo menos 2% da constituição do RCD (Figura 1), encontram-se os mais diversos materiais. Incluindo-se aí, as substâncias deletérias, tais como, os metais pesados (chumbo, cromo, níquel, etc.). Os efeitos adversos incorporam a contaminação do solo, e dos aquíferos, através da acidez da água de chuva e da capacidade de solubilização do resíduo (COLLODETTI et al., 2014).

### 4.3 Resistência à Compressão

De Azeredo *et al.* (2014) afirmam que a resistência à compressão é a propriedade físico-química mais valorada por engenheiros e projetistas na área da construção civil. Nesse estudo, os resultados pertinentes aos esforços axiais permitiram confrontar os artefatos produzidos com a brita e com o RCD considerando o traço utilizado. A Figura 4 apresenta os valores médios alcançados nos corpos de prova testados agregando-se o desvio padrão ( $\delta$ ) e coeficiente de variação (%).

Figura 4 – Comparativo da resistência à compressão entre os corpos de prova



Com base nos resultados (Figura 4) constatou-se que o uso do RCD implicou em significativa redução da resistência à compressão dos corpos de prova testados, explicitando a necessidade de avaliação criteriosa quanto à sua aplicação. No entanto, se reforça a possibilidade de otimização em relação a esse quesito mediante o proporcionamento da mistura (cimento, água, brita, RCD), operação dos equipamentos empregados e eficiência do programa de controle de qualidade conforme observado por Medeiros et al. (2014). Mendes et al. (2012) asseveram que a massada manual e betoneiras em plena capacidade se apresentam como condições que sustentam o desempenho adequado na concretagem.

Da Silva et al. (2014) destacam ainda que o adensamento, fator água/cimento e condições de cura também se constituem em pré-requisitos essenciais. Destaca-se ainda que o Coeficiente de Variação (Figura 4) como uso do RCD foi mais elevado indicando agravamento da probabilidade de deformações e deslocamentos corroborando a premissa quanto à otimização do padrão de produção visando à segurança estrutural e ambiental através do uso de aditivos plastificantes visando à redução do fator a/c aumentando a trabalhabilidade conforme observado por Botassi e Calmon (2012).

## 5 CONCLUSÃO

A comparação entre o RCD e a brita gnaisse mostrou através das propriedades mensuradas (densidade, matéria orgânica e teor de sólidos voláteis, absorção de água e lixiviação) baixa variabilidade dos resultados. Este fato deveu-se à utilização de amostras adequadamente homogeneizadas, minimizando-se a heterogeneidade natural do RCD e do agregado natural (brita gnaisse). Certamente, a reciclagem daquele resíduo, oportuniza o desenvolvimento de ações sociais importantes, tais como a construção de moradias para as comunidades carentes da região de estudo e minoração dos impactos ambientais negativos da indústria da construção civil.

No entanto, a análise comparativa da resistência à compressão mostrou que o uso do RCD implicou em significativa redução aos esforços axiais nos corpos de prova testados. Entretanto, não se trata de uma condição determinística já que se sujeita as peculiaridades do modelo e dimensão amostral. Nessa premissa, apontou que o traço deve ser especificado em face à sua destinação final, levando-se em conta as incertezas inerentes e epistêmicas.

Entretanto, é imprescindível que se dê importância primária para o tratamento dos resíduos, desde o beneficiamento, passando pela caracterização, até a fase de utilização dos agregados no concreto. Explicitou-se a necessidade de avaliação de alguns parâmetros, tais como a identificação e avaliação da concentração dos metais pesados, que podem estar presentes em valores acima do permitido conforme a classificação Classe II A – não inerte, já que o teste de lixiviação indicou que o RCD é muito susceptível ao ataque químico de águas residuárias ácidas. Os ensaios complementares devem ser sistemáticos, de modo a permitir o uso seguro do RCD em relação ao potencial risco ao meio ambiente.

O momento atual exige a preservação dos recursos naturais, sendo a reciclagem de resíduos da construção e demolição uma das alternativas importantes para o desenvolvimento sustentável da construção civil. Reforça-se, no entanto, a necessidade de que sejam observadas medidas rigorosas na especificação, normalização e utilização daqueles materiais, permitindo as mais diversas aplicações, sem comprometer a saúde ambiental.

## **CASE STUDY: UTILIZATION OF WASTE IN THE CONSTRUCTION CORONEL FABRICIANO, MINAS GERAIS**

**ABSTRACT:** In this study we investigated the applicability of residue Civil Construction and Demolition (RCD) of a company located in the city of Coronel Fabriciano, Minas Gerais, aimed at making artifacts cements replacing the crushed gneiss. Experiments were implemented with gneiss and RCD gravel, on the density, water absorption, content of volatile organic matter and solids, acid leaching and chemical composition. The comparison of the results showed that it is feasible to reuse the RCD in making those artifacts cement in partial or total replacement of gneiss gravel, through the adoption of appropriate techniques to control production-aiming resistance to axial forces. Alert to the need for implementation of containment measures regarding the possible availability of heavy metals resulting from acid leaching. This strategy constitutes a preventive measure against any additional risks. The use of RCD will result in environmental economics, representing an important action for sustainable development. However, their recycling demands systematic monitoring, ensuring product quality, environmental safety and preservation of natural resources.

**Keywords:** Residue of Civil Construction and Demolition (RCD). Environmental Impacts. Reuse. Concrete.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Concreto:** com uma receita de bolo. In: Revista eletrônica: Alerta aos consumidores, outubro/2008. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/basico\\_sobre\\_cimento/concreto.shtml](http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/concreto.shtml)>. Acesso em: 14 fev. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.216:** Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 1982. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004:** Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.005:** Lixiviação de Resíduos. Rio de Janeiro, 1987. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.007:** Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro, 1987. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.116:** Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004e. 12p.

ANEPAC. **Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil.** Disponível: <<http://anepac.org.br/>>, Acesso: 23/06/2014.

BERRÍOS-GODOY, M. B. R. dificuldades para aplicar a lei da política nacional de resíduos sólidos no Brasil. **Caderno de Geografia (PUCMG. Impresso)**, v. 23, p. 47-51, 2013.

BONDIOLI, M. J.; SANTOS, C.; STRECKER, K. Oxidation behavior of LPS-SiC ceramics sintered with AlN/Y2O3 as additive. **International Journal of Refractory & Hard Metals**

(Cessou em 1988. Cont. 0958-0611 International Journal of Refractory Metals & Hard Materials), v. 42, p. 246-254, 2014.

BOTASSI, S.S.; SILVA FILHO; CALMON, J.L. Early Age Creep of Mass Concrete: Effects of Chemical and Mineral Admixtures. **ACI Materials Journal**, v. 109, p. 1-12, 2012.

CASTRO-GOMES, J.P.; JALALI, S.; TORGAL, F.P. Ligantes obtidos por ativação alcalina de lamas residuais das Minas da Panasqueira. Resistência ao desgaste e ao ataque de soluções ácidas. 2008. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/ctac/journal/n31/Pag%2067.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

COLLODETTI, G.; GLEIZE, P. J.P.; MONTEIRO, P. J. M. Exploring the potential of siloxane surface modified nano-SiO<sub>2</sub> to improve the Portland cement pastes hydration properties. **Construction & Building Materials**, v. 54, p. 99-105, 2014.

COTA, F.P.; ALVES, R.A.A. ; PANZERA, T.H.; STRECKER, K. ; CHRISTOFORO, A.L. ; BORGES, P.H.R. Physical properties and microstructure of ceramic polymer composites for restoration works. **Materials Science & Engineering. A, Structural Materials: properties, microstructure and processing**, v. 531, p. 28-34, 2012.

DAGUANO, J.K.M.F.; SANTOS, C.; STRECKER, K. . Bioactivity and cytotoxicity of glass and glass-ceramics based on the 3CaO P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>-MgO system. **Journal of Materials Science. Materials in Medicine**, v. 24, p. 2171-2180, 2013.

DA SILVA, W.R.L.; LUCENA, D.S. ; TEMBERK, P. ; PRUDÊNCIO, L.R. . Evaluation of the effect of concrete compositional changes and the use of ethyl-alcohol and biodegradable-oil-based release agents on the final surface appearance of self-compacting concrete precast elements. **Construction & Building Materials**, v. 52, p. 202-208, 2014.

DE AZEREDO, A.F.N.; STRUBLE, L.J.; CARNEIRO, A.M.P. Microstructural characteristics of lime-pozzolan pastes made from kaolin production wastes. **Materials and Structures**, v. 1, p. 1-12, 2014.

ESLAMI, M.; SAGHAFIAN, H.; GOLESTANI-FARD, F.; ROBIN, A. Effect of electro deposition conditions on the properties of Cu-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite coatings. **Applied Surface Science**, v. 300, p. 129-140, 2014.

GASTALDINI, A.L.G.; SILVA, M.P. ; ZAMBERLAN, F.B. ; MOSTARDEIRO NETO, C.Z. . Total shrinkage, chloride penetration, and compressive strength of concretes that contain clear-colored rice husk ash. **Construction & Building Materials**, v. 54, p. 369-377, 2014.

JOCHEM, L. F.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. The Influence of Fine Sand from Construction-Demolition Wastes (CDW) in the Mortar Properties. **Key Engineering Materials (Online)**, v. 600, p. 357-366, 2014.

LUDVIG, P.; CALIXTO, J.M.F.; LADEIRA, L.O. Tailoring the innate properties of portland cement: the application of carbon nanotubes. In: 7th Central European Congress on Concrete Engineering, 2011, Balatonfüred. **Proceedings...**, 2011.

MAINARDES, C.W.; KRAINER, J. A.; IAROSZINSKI NETO, A.; ROMANO, C. A. Análise do Impacto da Implantação de Sistemas ERP nas Características Organizacionais das Empresas de Construção Civil. **Ambiente Construído (Online)**, v. 13, p. 117, 2013.

MANFROI, E. P.; CHERIAF, M.; ROCHA, J. C. Pozzolanic Reaction Effects of Red Mud on Hygrothermal and Microstructural Properties of Cementitious Composites. **Key Engineering Materials (Online)**, v. 600, p. 319-328, 2014.

MEDEIROS, M. H. F.; GOBBI, A.; GROENWOLD, J. A.; HELENE, P. Previsão da vida útil de concreto armado de alta resistência com adição de metacaulim e sílica ativa em ambientes marinhos. **REM. Revista Escola de Minas (Impresso)**, v. 66, p. 59-65, 2013.

MEDEIROS, M. H. F.; KORMANN, A. C. N.; Oliveira, I. C.; FRÉZ, J. C.; FERREIRA, A. Influência da montagem de testemunhos de concreto nos resultados de resistência à compressão. **Concreto & Construção**, v. 73, p. 42-48, 2014.

MENDES, P.T.C.; MOREIRA, M.L.T.; PIMENTA, P.M. Reinforced concrete bridges: effects due to corrosion and concrete young modulus variation. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, p. 388-419, 2012.

MYMRIN, V.; MEYER, S.A.S.; ALEKSEEV, K.P.; PAWLOWSKY, U.; FERNANDES, L.H.; SCREMIM, C.B.; CATAI, R.E. Manufacture of a construction material using the physicochemical properties of ash and sludge wastes from MDF board production. **Construction & Building Materials**, v. 50, p. 184-189, 2014.

MONTAGNA, L.S.; CATTO, A.L.; ROSSINI, K.; FORTE, M.M.C.; RUTH M.C.S. Evaluation of the effect of organic pro-degradant concentration in polypropylene exposed to the natural ageing. AIP Conference, **Proceedings,...** (Online), v. 1593, p. 329-332, 2014.

NEGRÃO, J.H.J.O.; LEITÃO DE OLIVEIRA, C.A.; MAIA DE OLIVEIRA, F.M.; CACHIM, P.B. Glued Composite Timber-Concrete Beams. I: Interlayer Connection Specimen Tests. **Journal of Structural Engineering** (New York, N.Y.), v. 136, p. 1236-1245, 2010.

PABLOS, J. M.; SICHIERI, E. P. Study to reuse an industrial solid waste generated by foundry sands. **Journal of Materials Science and Engineering**, v. 4, p. 16-25, 2010. PUC-MINAS, Tempo e Clima.

PABLOS, J.M.; SICHIERI, E.P.; ZAGO, M.S.A. Study for Utilization of Industrial Solid Waste, Generated by the Discharge of Casting Sand Agglomeration with Clay and of Blast Furnace Slag, in Concrete Composition. **Key Engineering Materials (Online)**, v. 517, p. 611-616, 2012.

PASTOUKHOV, V.A.; BAPTISTA, C. A.R.P.; TEIXEIRA JR, H. S.; MANZOLI, P.R.P. . Optimization of Numerical Analyses for Maintenance of Fuselage Skins with Rectangular Repairs. **Advanced Materials Research (Online)**, v. 891-892, p. 615-620, 2014.

PIAIA, J.C.Z.; ROCHA, J.C.; CHERIAF, M.; MSTELIER, N.L. Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: Experimental results and numerical simulation. **Building and Environment**, v. 61, p. 18-26, 2013.

REANI, R.T.; MACHADO, R.P.P. A influência do meio no planejamento urbano: o caso de São José Dos Campos- SP. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-17, 2011.

RESOLUÇÃO DO CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA) n°. 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos**

**resíduos da construção civil.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 24 jun 2014.

REIS, J.M.L.; CARVALHO, A. R; COSTA MATTOS, H. S. Effects of displacement rate and temperature on the fracture properties of polymer mortars. **Construction & Building Materials**, v. 55, p. 1-4, 2014.

ROCHA, J.C.; PIAIA, J.C.Z; CHERIAF, M.; MUSTELIER, N.L. Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: Experimental results and numerical simulation. **Building and Environment**, v. 61, p. 18-26, 2013.

RODRIGUES, C.R.S.; FUCALE, S. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. **Ambiente Construído (Online)**, v. 14, p. 99-111, 2014.

SANTOS, C. ; RIBEIRO, S.; BORGES, S. T.; STRECKER, K. Characterization of rare earth oxide-rich glass applied to the glass-infiltration of a ceramic system. **Ceramics International**, v. 40, p. 1619-1625, 2014.

SICHERI, E.P.; PABLOS, J.M. **Materiais de Construção I: Aglomerantes Minerais, Agregados, Argamassas, Concretos, Dosagem.** 2. ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2005. v. 1. 271 p.

STRECKER, K.; COSTA, H. B. Formulation of Ceramic Glazes by Recycling Waste Glass. **Materials Science Forum (Online)**, v. 775-776, p. 635-641, 2014.

TAVARES, A.J.; BARBOSA, M.P.; BITTENCOURT, T.N.; LORRAIN, M. Bond steel-concrete: simulation analysis of the pull-out tests and APULOT using the program ATENA. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 7, p. 138-157, 2014.

TONET, K. G.; GORNINSKI, J. P. Polymer concrete with recycled PET: The influence of the addition of industrial waste on flammability. **Construction & Building Materials**, v. 40, p. 378-389, 2013.

ZIMMERMANN, M.V.G.; TURELLA, T.; SANTANA, R. M. C.; Zattera, Ademir J. The Influence of Wood Flour Particle Size and Content on the Rheological, Physical, Mechanical and Morphological Properties of EVA/Wood Cellular Composites. **Materials in Engineering** (Cessou em 1982. Cont. ISSN 0264-1275 Materials and Design), p. 660-666, 2014.

Originais recebidos em: 08/07/2014

Aceito para publicação em: 07/12/2014