

**ANÁLISE DE BLOCOS DE VEDAÇÃO FABRICADOS COM RCD COMO
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA SUSTENTÁVEL DE USO DE MATERIAL
RECICLADO E DE GERAÇÃO DE EMPREGO E RENDA**

Analysis of bricks manufactured with RCD alternatively technological sustainable use of
recycled materials and the generation of employment and income

Joice Giuliani Krás Borges¹
Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho²

Resumo: A fabricação de blocos de vedação empregando RCD (Resíduo de Construção e Demolição) como agregado é uma alternativa sustentável e economicamente viável de geração de emprego e renda, através da inserção de carroceiros no mercado de trabalho formal. Além disso, propicia a redução dos resíduos gerados em obras de construção e demolição, minimizando os impactos ambientais. Este artigo apresenta resultados decorrentes de um estudo cujo objetivo principal foi avaliar a adequação normativa de blocos fabricados com RCD, utilizando um sistema de cooperativa que emprega mão de obra capacitada a partir da população carente do Bairro Cristal, em Porto Alegre, através do trabalho da ONG Solidariedade. Uma parceria com o LEME (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais), da UFRGS, viabilizou a capacitação e o apoio técnico para a produção dos blocos. O próximo passo é verificar se é possível normatizar a fabricação do material e promover a certificação e a comercialização desses blocos, de forma a gerar uma alternativa de renda, com emprego de uma Tecnologia Social. Os resultados obtidos indicam que os blocos fabricados com o uso de RCD, após ajuste de traço, são potencialmente certificáveis, embora seja necessário melhorar aspectos relacionados à variabilidade de resistência e à absorção.

Palavras chave: RCD (Resíduo de Construção e Demolição). Blocos de concreto para vedação. Geração de emprego e renda.

Abstract: The manufacture of concrete blocks to seal using the RCD (Residual Construction and Demolition) as an aggregate and it is an alternative sustainable and economically viable for generating employment and income by inserting carters in the formal labor market. Moreover, it is an option for reducing the accumulation of waste generated by construction and demolition and can minimize environmental impacts. This paper presents the outcome of a study whose main objective was to evaluate the normative adequacy of blocks manufactured with RCD, using a system of cooperative which employs skilled labor from the poor people of the neighborhood Cristal in Porto Alegre, through the work of NGO Solidarity. Through a partnership with the LEME (Laboratory Tests and Structural Models) of UFRGS facilitated the qualification and technical support for the production of blocks. The next step is to verify if it is possible to regulate the manufacture of the material and promote the certification and marketing of these blocks to generate an alternative income, with employment of a Social Technology. The results indicate that the blocks manufactured using RCD after adjustments of line are potentially certifiable although it is necessary to improve aspects related to the variability of resistance and absorption.

Keywords: RCD (Residual Construction and Demolition). Concrete blocks to seal. Generation of employment and income.

¹ Arquiteta e Urbanista, pós-graduanda em Engenharia Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). E-mail: joicekras@hotmail.com.

² Engenheiro Civil (UFRGS), Doutor em Engenharia Civil (University Leeds). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, no Brasil, passa por uma fase de expansão em função dos programas habitacionais de interesse social, das obras de infraestrutura e das obras relacionadas aos megaeventos esportivos, tais como a Copa das Confederações de 2013, a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016. Esse aumento da atividade de construção acarreta, especialmente nas grandes cidades, um incremento na geração de entulho formado por restos de construções e materiais de descarte provenientes de demolições. O ônus decorrente da coleta, remoção e destinação final desses resíduos acaba por ser compartilhado por toda a sociedade, além de simbolizar perdas materiais e ambientais.

Dada a crescente valorização do conceito de sustentabilidade, existe uma preocupação com a redução do impacto ambiental e com a busca por soluções que reduzam os impactos negativos sobre o meio ambiente. O principal caminho é reduzir o consumo de recursos naturais e de energia na produção de concreto. No entanto, quando a eliminação dos resíduos é inevitável, por razões técnicas ou econômicas, busca-se, cada vez mais, desenvolver produtos biodegradáveis, recicláveis ou que possam ser aproveitados de alguma forma após o seu uso, como destaca, entre outros, Bigolin (2013). Essa é uma mudança cultural que está sendo consolidada e acelerada pela própria legislação. Desde a emissão da resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em 2002, os geradores públicos e privados são obrigados a desenvolver e implantar um plano de gestão de RCD, visando a sua reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente correta (CONAMA, 2002).

Em virtude desse quadro, a realização de pesquisas e trabalhos sobre reciclagem de materiais de construção tem ganhado força. Existem, atualmente, várias iniciativas que buscam estruturar e implantar planos de gerenciamento de Resíduo de Construção e Demolição³ em canteiros, e um crescente corpo de normas técnicas referentes ao tema está sendo gerado e publicado por Comitês Técnicos da ABNT (MIRANDA; ANGULO; CIRELLI, 2009). No caso dos RCD – compostos majoritariamente por restos e fragmentos de cascalho, brita, concreto e cimento, entre outros –, uma das possibilidades mais atraentes é a reutilização no próprio processo produtivo da construção, na forma de agregados. Isso é possível devido a, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), o RCD ser enquadrado na Classe II B – Resíduos Inertes. De fato, inúmeros autores, como Vyas e Pitroda (2013), relatam experiências de uso do material e ressaltam que essa é uma alternativa viável e interessante.

³ Doravante, RCD.

A Lei 12.305, que passou a vigorar em 02/08/2013 na cidade de Porto Alegre, tem o intuito de estimular a recuperação e o reuso dos resíduos sólidos urbanos. Antecipando a Lei, a ONG Solidariedade iniciou um projeto denominado CTSA – Centro de Transformação Sócio Ambiental –, que visa à produção de blocos de vedação, surgindo como uma alternativa na busca de soluções para o problema da destinação de resíduos. No entanto, segundo Thomas et al. (2013), existe uma grande dificuldade na comparação de dados obtidos da literatura, pois os estudos não usam métodos de ensaio padronizados. Existem grandes variações no tipo e composição dos materiais utilizados, além de grande variação nas relações água/aglomerante empregadas, nos métodos de dosagem e preparação. Por isso é necessário desenvolver estudos adicionais para cada fonte de agregado e uso pretendido. A utilização de RCD como agregado é um desses casos que carecem de estudos.

Deste modo, o presente estudo pretende auxiliar uma comunidade através do seu CTSA – Centro de Transformação Sócio Ambiental, com o apoio técnico do Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME), na produção de blocos de vedação fabricados com RCD. Pautando-se de Normas Técnicas específicas e com a mão de obra local, o objetivo é procurar alternativas de geração de emprego e renda para famílias de carroceiros, atividade que, devido à criação da Lei 10.531, de 2008 (que prevê a redução gradativa do número de veículos de tração animal e de veículos de Tração Humana), será gradativamente proibida na Região Metropolitana de Porto Alegre.

O presente trabalho tem por objetivo dar continuidade aos estudos para caracterização e certificação da produção de blocos de concreto com RCD em regime cooperativo, já em andamento no LEME. O foco particular do estudo consistiu em investigar a repetibilidade de resultados e o atendimento a critérios de norma, para estabelecer a viabilidade técnica de certificação dos blocos com o sistema de produção atual.

Em termos de estrutura do trabalho, inicialmente é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre estudos já realizados que abordam este tema. Na continuação, há exposição do método de pesquisa, em que, primeiramente, foi analisada a produção atual de blocos fabricados pela ONG Solidariedade. Na sequência, foi proposta uma produção controlada em série, visando estabelecer critérios, definir medidas e garantir qualidade do produto para ser comercializado no mercado da construção civil. Para tanto, foram realizados ensaios em laboratório. Por fim, foram analisados e apresentados resultados alcançados neste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O desafio da geração e o uso de RCD na construção civil

Os resíduos de construção são gerados em diferentes fases do empreendimento: fase de construção, fase de manutenção ou reformas e fase de demolição. A geração de resíduo durante a fase de construção é resultado das perdas nos processos construtivos. Parte dessa perda permanece agrupada nas construções, sob a forma de componentes superdimensionados (FORMOSO, 1993). Na maioria das vezes, esse resíduo é retirado da obra e disposto clandestinamente em locais como terrenos baldios, margens de rios e de ruas, gerando uma série de problemas ambientais e sociais, como a contaminação do solo por gesso, tintas e solvente, proliferação de insetos e outros vetores, colaborando para o agravamento de problemas de saúde pública (MENDES; OLIVEIRA, 2008). No nosso país, assim como em outros, as deposições ilegais de RCD ocorrem em função dos custos e distâncias que envolvem o transporte desse resíduo, especialmente em cidades de médio e grande porte (PINTO, 1999). No Brasil, a geração de RCD *per capita* foi estimada em 500kg/hab/ano, média em algumas cidades brasileiras (PINTO,1999).

Existe, portanto, a necessidade de se buscar alternativas para reduzir o acúmulo desses resíduos. É possível se começar pela melhoria da qualidade dos processos da construção civil, resultando na diminuição da perda de materiais ou, ainda, no beneficiamento e aproveitamento desse material em forma de agregado. Deve-se, também, aumentar o grau de conscientização ambiental no sentido de se minimizar os impactos causados pela urbanização indiscriminada e mal planejada das cidades e de se cobrar dos responsáveis uma legislação que atenda a todos e que, faça valer os direitos e deveres de cada pessoa envolvida nesse processo (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004). Vieira e Dal Molin (2004) afirmam ainda que uma das maiores dificuldades da aplicação de agregados reciclados é a sua grande variabilidade. Portanto, se faz necessário também conhecer o comportamento e as características dos concretos produzidos com esses agregados reciclados quando se variam os teores dos constituintes.

O aprofundamento das discussões a respeito do que fazer com o grande volume de entulho gerado pelo setor da construção civil, que muitas vezes é depositado inadequadamente nos locais não propícios para esse fim, vem, aos poucos, ocupando espaço nas discussões políticas. Este importante tema requer uma conscientização ambiental por parte da sociedade (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

Vyas e Pitroda (2013) descrevem as vantagens do uso do resíduo reciclado, relacionando-as com o ganho ambiental promovido pela diminuição dos resíduos urbanos: a economia de energia, pois o processo de reciclagem pode ser feito no próprio canteiro de obras; o custo, pois o agregado reciclados é mais barato do que agregado natural; a sustentabilidade, com a redução da quantidade de resíduos levados para o aterro sanitário, diminuindo também a quantidade de extração de recursos naturais das pedreiras. Os autores (VYAS; PITRODA, 2013) oponta também o ganho de mercado que pode se dar com a regularização do uso de materiais reciclados através de normas específicas.

Apesar do potencial comprovado em diversos estudos, várias preocupações e dificuldades ainda cercam o uso dos RCD, demandando pesquisas e ensaios adicionais. Uma das principais preocupações envolve a possível contaminação por gesso, material que pode ter comportamento expansivo. Ângulo (2005) relata que alguns levantamentos efetuados em diferentes pontos do Brasil indicaram que o RCD, no nosso país, é composto majoritariamente de restos de concreto, argamassa, fragmentos de blocos cerâmicos, pedaços de tijolos e telhas, porções de solo e gesso. A parte mineral representa aproximadamente 90% do total. Esforços de conscientização estão sendo efetuados em vários pontos de coleta para evitar a agregação de gesso e, eventualmente, de solo.

Outra dificuldade envolve a variabilidade de composição do resíduo. Para reduzir esse problema, se procura trabalhar com a moagem de volumes grandes, homogeneizados. Esse será um fator influente que pode ter impacto nos resultados da presente pesquisa. Adicionalmente, uma outra preocupação diz respeito à maior taxa de absorção dos agregados reciclados fabricados a partire de RCD, como registram Vyas e Pitroda (2013).

2.2. Breve revisão de experiências de produção de blocos de concreto com RCD

Dados os interesses da Cooperativa Centro de Transformação Sócio Ambiental (CTSA) e os trabalhos preliminares desenvolvidos no LEME, a atual pesquisa parte do princípio de que o RCD seria utilizado para fabricação de blocos de concreto. Visando subsidiar o trabalho, foi então efetuado um levantamento de pesquisas sobre o tema, cujo resultado é discutido a seguir.

De acordo com o levantamento realizado, baseado em grande parte no trabalho de Bigolin (2013), a partir de 2000 nota-se um incremento nas pesquisas sobre o uso de RCD, tanto no Brasil quanto no exterior (ANGULO, 2003; VYAS; PITRODA, 2013). Estudos foram, também, desenvolvidos sobre o uso de agregados reciclados em argamassas

(MIRANDA; ANGULO; CIRELLI, 2009), concretos pré-moldados (BUTLER, 2003, SOUZA, 2001, SIMONETTI et al., 2008, SOUTSOS; TANG; MILLARD, 2012) e concretos em geral (ALTHEMAN, 2002; ANGULO, 2005; LEITE, 2001).

Simonetti et al. (2008), depois de uma série de ensaios, concluiu que é possível substituir parcialmente os agregados naturais pelos reciclados de RCD na fabricação de blocos concretos empregados como elementos de alvenaria. Bigolin (2013) trabalhou para estabelecer os parâmetros para produção desse tipo de elemento.

Em relação à durabilidade, Viera (2004) afirma que é viável o emprego de agregados reciclados em concretos. Os resultados de sua pesquisa mostram que a substituição é viável até determinado percentual. Misturas com 100% de substituição de ambos os agregados ou com apenas substituição total do agregado graúdo reciclado podem prejudicar o desempenho do concreto em função da diminuição da resistência aos ataques de agentes agressivos.

O resultado da pesquisa realizada por Soutsos; Tang; Millard (2012) indicam que a proporção adequada de substituição para o uso do RCD na produção de concreto é de 60% para o agregado graúdo e 15% para o agregado miúdo. Seus melhores resultados foram observados em idade de 28 dias.

A pesquisa realizada por Thomas et. al (2013) também demonstra que, em idades mais avançadas, o concreto produzido com agregado reciclado com uma proporção de água/cimento mais baixa, apresenta uma resistência superior. Em termos de durabilidade, segundo Thomas et al. (2013) os concretos produzidos com agregados reciclados são piores devido à sua porosidade, estando relacionada com o índice de vazios. Para efeito de saturação, a densidade dos concretos produzidos com agregados reciclados é inferior a dos concretos produzidos com agregados naturais, apesar de apresentar-se mais eficaz com a redução na proporção de água/cimento (THOMAS et al., 2013).

A qualidade dos blocos é uma questão a ser considerada, pois se tornou uma das principais estratégias competitivas em diversos setores. Esse processo está intimamente ligado à produtividade, à melhoria de resultados de desempenho e ao aumento de lucros. Assim, há uma incessante busca do mercado pela melhoria de seus produtos (SANDES, 2008).

Segundo Leite (2001), a reciclagem, pode resultar na redução de custos e de volume de extração da matéria-prima, preservando os recursos naturais limitados, e também na minimização dos problemas com gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos nos municípios (LEITE, 2001). Sendo assim, a fabricação de blocos de vedação produzidos com o uso de RCD surge como uma alternativa tecnológica e sustentável de minimizar os impactos causados por esta problemática e possibilita a criação de emprego e renda.

2.3. Uso de RCD para geração de emprego e renda em Porto Alegre

Potencialmente, o resíduo de construção e demolição de Porto Alegre é uma fonte adequada de agregados reciclados. Como se pode observar na Figura 1, os resíduos depositados em aterros da zona sul de Porto Alegre, no início da década, continham elevada incidência de rocha natural (mais de 29%), além de parcelas consideráveis de argamassa, material cerâmico e concreto (LEITE, 2001). Ou seja, pode-se estimar que um agregado reciclado produzido a partir desse resíduo tenha baixa contaminação por gesso e uma absorção moderada, dada a quantidade de material cerâmico.

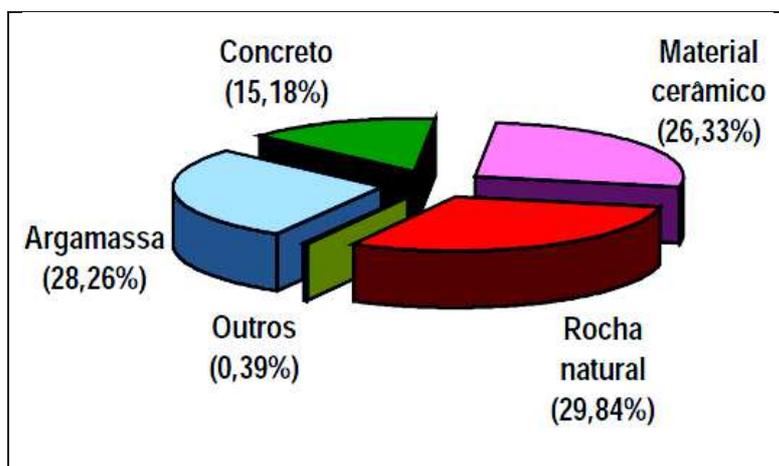


Figura 1: Distribuição da composição média dos resíduos de construção e demolição coletados no Aterro de Inertes da zona sul de Porto Alegre. **Fonte:** LEITE, 2001.

O setor da construção civil tem sido responsável pela geração de grande quantidade de resíduos sólidos dentro da malha urbana e pelo consumo excessivo de recursos naturais provenientes de fontes não renováveis. Os entulhos provenientes das construções das cidades brasileiras acarretam um grande custo com remoção e tratamento. Em contrapartida, a construção civil é um dos setores com maior potencial para absorver os resíduos de construção e demolição (SIMONETTI et al., 2008).

É possível haver circunstâncias locais que incentivem o uso de materiais reciclados. Liverpool, no Reino Unido, é um exemplo real que passa por um processo de recuperação, no qual a substituição de infraestrutura acontece porque os recursos naturais são limitados, os custos são altos e os regulamentos ambientais encorajam a reciclagem (SOUTSOS; TANG; MILLARD, 2012). A busca por soluções para minimizar os impactos ambientais da construção civil tem sido objeto de várias pesquisas, envolvendo desde a gestão dos resíduos às tecnologias para seu reaproveitamento (JOHNSON, 1993).

Em Porto Alegre, uma tentativa de reciclagem do RCD é realizada pela ONG Solidariedade, fundada pelos moradores do Bairro Cristal e resultado da organização popular.

O CTSA (Cooperativa Centro de Transformação Sócio Ambiental) é o principal projeto da ONG, tendo surgido com o objetivo de prospectar alternativas de geração de renda para as famílias de carroceiros. Essa atividade, devido à criação da Lei 10.531, de 2008, será gradativamente proibida na Região Metropolitana de Porto Alegre.

Dentre as alternativas analisadas no âmbito do projeto CTSA, a mais promissora envolve a produção de blocos de concreto com utilização de agregados reciclados de construção e demolição (BIGOLIN; DANILEVICZ; SOARES, 2013). Desta forma, será possível a inserção (de adolescentes) e a reinserção (de adultos) no mundo do trabalho, gerando renda e contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Busca-se também uma nova alternativa para a destinação dos resíduos urbanos, servindo, assim, como exemplo, podendo ser replicado em toda cidade de Porto Alegre e demais cidades (BIGOLIN, 2013). Considera-se que o aumento do número de construtoras que implantam a gestão de RCD em canteiro dependerá da implantação dos planos integrados de gerenciamento municipais, pois estes devem cobrar dos geradores a elaboração de projetos de gerenciamento de resíduos como condição para licenciamento das obras e dos comprovantes de destinação para a concessão do habite-se (MIRANDA; ANGULO; CIRELLI, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental deste trabalho foi constituído por duas etapas:

- a) Coleta e ensaio de amostras de blocos fabricados com base no processo fabril não controlado empregado, adotado, originalmente, pela ONG Solidariedade com base no empirismo.
- b) Coleta e ensaio de amostras de blocos produzidos após a definição de um traço padrão para a ONG Solidariedade.

A intenção do programa era caracterizar as duas situações, monitorando as possíveis melhorias nas propriedades do material após a intervenção para definição do traço. Adicionalmente, os resultados permitiram aferir a variabilidade de resultados.

3.1 Etapa I: caracterização da produção empírica

Na primeira etapa, solicitou-se que um conjunto de 54 blocos (14x19x39cm) fosse fabricado pela ONG Solidariedade, com o auxílio da mão de obra voluntária proveniente da população de baixa renda do bairro Cristal de Porto Alegre. Essa quantidade de blocos foi

definida para permitir que se fizessem todos os ensaios de caracterização pretendidos. A Figura 2 mostra esse conjunto de blocos.



Figura 2: Fabricação atual de 54 blocos de vedação.

Para obtenção do agregado de RCD a ser usado na fabricação dos blocos, resíduos provenientes de doações e coletas e armazenados pela ONG foram homogeneizados e triturados, com auxílio de um triturador de Mandíbula (Figura 3a). O material triturado foi dividido em duas granulometrias, uma denominada maior (AR1) e outra menor (AR2), com uso de peneira manual (Figura 3b). Em seguida, esses agregados foram levados até o laboratório LEME, onde foi realizado um ensaio de granulometria, obedecendo às normativas descritas na NBR NM 248 (ABNT, 2003).



Figura 3a: Triturador de Mandíbula.



Figura 3b: Peneira Manual.

O resultado do ensaio de caracterização granulométrica está apresentado na Figura 4. Verifica-se que as duas frações produzidas, em termos de enquadramento à norma, constituem agregados miúdos, com frações concentradas abaixo de 4,8 mm. Visualmente, um deles tem aparência de areia média-grossa (Figuras 5a), enquanto o outro é mais similar a uma areia fina-pulverulenta (Figura 5b).

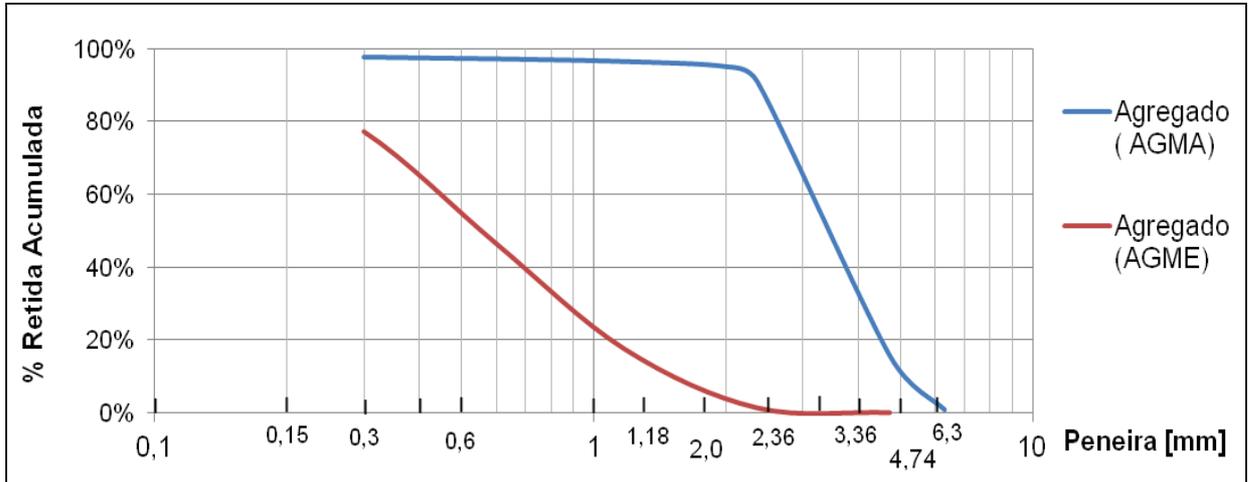


Figura 4: Granulometria do RCD.



Figura 5(a): RCD miúdo (AR1)



Figura 5(b): RCD miúdo parcela mais fina (AR2)

Para fabricação dos blocos, foi permitido que os responsáveis ajustassem o traço de acordo com sua experiência empírica. Os traços foram registrados e estão mostrados na Tabela 1.

Traço (%)	(RCD) AR2	(RCD) AR1
1:7	4,5	2,5
1:6	4,0	2,0
1:5	3,0	2,0

Tabela 1: Proporção de AGME e AGMA para cada traço.

Foi utilizado cimento CPIV⁴ e não foi adotado nenhum tipo de controle na produção dos blocos, nem foi controlado o tempo de cura. Não se teve controle da quantidade exata de água utilizada, nem se fixou o tempo de mistura. Dessa forma, evitou-se qualquer tipo de interferência, pois o objetivo era caracterizar a produção sem controle. Ainda assim, a observação e os testes do primeiro lote de blocos fabricados permitiram a obtenção de subsídios para a proposição de um traço padrão, que foi fixado na segunda etapa do estudo, quando se efetuou uma nova moldagem com maior nível de controle.

3.1.1 Fabricação controlada em série

Na segunda etapa do estudo, foram fabricados, na ONG Solidariedade e com o auxílio da mão de obra voluntária da população do bairro Cristal de Porto Alegre, 21 blocos (14x19x39cm), conforme descrições nas Figuras 6a e 6b, e 21 corpos de prova cilíndricos (10x20cm).

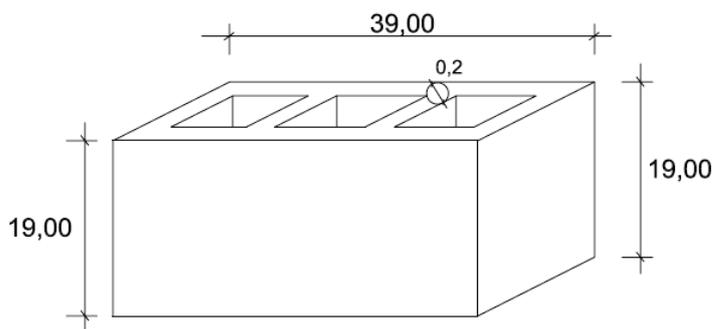


Figura 6(a): Geometria do bloco.



Figura 6(b): Geometria do bloco.

Nessa etapa, cumpriram-se os procedimentos descritos na NBR 5738 (ABNT, 2003) e utilizou-se o RCD em 100% de substituição do agregado natural. Fixou-se o traço em 1:5 (cimento: agregado) em massa, sendo a massa de agregado constituída de 60% de agregado RCD maior (tipo areia média-grossa) e 40% de agregado RCD menor (tipo areia fina). Essa proporção foi escolhida com base nos estudos anteriores desenvolvidos com auxílio de LEME e nos resultados da primeira etapa.

Na segunda etapa, buscou-se padronizar o processo produtivo, sendo controladas as quantidades de agregado, de água e de cimento (empregados em massa), conforme descrito abaixo, na Tabela 2. Primeiramente, os RCD (secos) foram colocados na betoneira de eixo vertical. Após, colocou-se o cimento CP V ARI MAX*, misturando-se por aproximadamente

⁴Cimento CP V ARI MAX, marca Brennand, Lote 0407005212. Data de Fabricação: Junho de 2013.

4 minutos. Adicionou-se água lentamente até completar o tempo de 6 minutos e verificar-se uma mistura homogênea. O mesmo processo se repetiu nas três betonadas realizadas.

Betonada	Tempo (min)	RCD (AGME) (kg)	RCD (AGMA) (kg)	Água (kg)	Cimento (kg)	a/c
1	8,25	68,16	36,19	17,19	22,2	0,77
2	8,11	68,12	36,24	17,96	22,3	0,81
3	6,12	67,97	36,22	16,79	22,3	0,75

Tabela 2: Quantidade de materiais utilizados para fabricação em série.

O processo de cura foi realizado na própria ONG Solidariedade, sendo os corpos de prova armazenados em local coberto e tapados com lona plástica. No quinto dia, quando já tinham resistência suficiente para o manejo, foram transportados para o LEME, onde ficaram aguardando a realização dos ensaios.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado nas idades de 7, 14 e 28 dias. Utilizou-se uma máquina de prensa da marca Shimadzu, resistente a 2000KN. Verificou-se conformidade de dimensões dos blocos (Tabela 4) e utilizaram-se os procedimentos descritos na NBR 5739 (ABNT, 2007). O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado aos 28 dias e se consagrou em três dias.

Os três blocos e os três corpos de prova cilíndricos submetidos ao ensaio permaneceram na estufa sob a temperatura de 110°C durante 24h. Depois de retirados, foram pesados em uma balança hidrostática de precisão, para obtenção de massa (m1). Após resfriados naturalmente, permaneceram em ciclo de imersão na água por 24h sob a temperatura de 23°C para a saturação. Posteriormente, foram pesados a cada duas horas e registradas leituras para obtenção de massa (m2) (Tabela 3). Desta forma avaliou-se a quantidade de água absorvida (a%) pelos blocos e corpos de prova cilíndricos através da equação 01.

$$a\% = \frac{m2 - m1}{m1} \times 100$$

Equação 1: Absorção de água.

Os requisitos referentes a exigências normativas para os ensaios são os que se referem a blocos de concreto sem função estrutural. Entre as normas a serem consideradas neste levantamento de requisitos, está a NBR 12118 (ABNT, 2013).

Bloco	Idade	Massa 1 (kg)	Massa 2 (kg)
1	28	8,81	10,15
2	28	10,40	11,84
3	28	9,11	10,27
CP Cilíndrico	Idade	Massa 1 (kg)	Massa 2 (kg)
1	28	2,37	2,74
2	28	2,44	2,87
3	28	2,24	2,64

Tabela 3: Leituras de obtenções de massa no ensaio de absorção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Etapa I

Do total de 54 blocos fabricados na primeira etapa da pesquisa de produção atual, 20 chegaram ao laboratório LEME sem condições de serem testados, pois quebraram no manuseio, significando perda de 37%. De acordo com o gráfico da Figura 7, é possível notar que, dos 34 blocos rompidos para teste de resistência à compressão, 38% ficaram acima de 2,5MPa na média total e acima de 2,0MPa na média individual.

Nota-se que, mesmo com um teor de substituição maior de agregado por cimento, o traço 1:7 (cimento: agregado) em massa demonstrou melhor desempenho do que o de 1:6 (cimento: agregado) em massa. Isso pode ter ocorrido devido à falta de controle de produção. O traço de melhor desempenho alcançado na análise de resultados trata-se do traço 1:5 (cimento: agregado) em massa, que possui três quantias de AGMA para duas quantias iguais de AGME. A fabricação controlada em série, que será descrita a seguir, fixará este traço padrão para as amostras a serem testadas em blocos e corpos de prova cilíndricos.

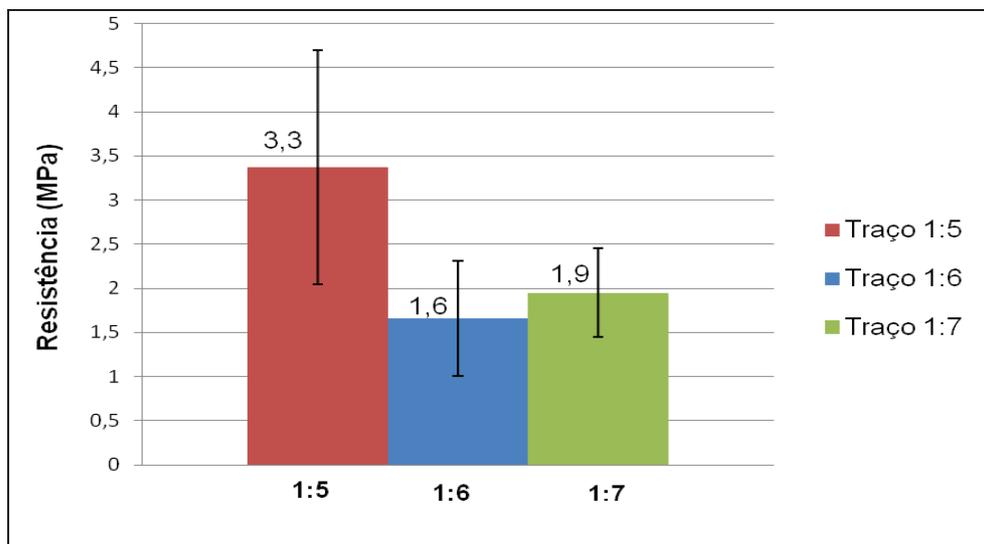


Figura 7: Resistência à compressão dos blocos em função do efeito do teor de substituição do agregado reciclado (1:5, 1:6, 1:7), (cimento: agregado) em massa.

4.2 Etapa II

Na segunda etapa de produção controlada em série, foram ensaiados 18 blocos de vedação e 18 corpos de prova cilíndricos. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir

4.2.1 Dimensões

Inicialmente, verificou-se a conformidade de dimensões dos blocos com precisão de 0,5 mm e espessura mínima de paredes de 16 mm, atendendo às condições normativas. Os resultados estão apresentados na tabela 4.

Descrição	Largura	Altura	Comprimento
(Blocos de 15 cm nominais) M-15	14	19	39

Tabela 4: Conformidade de dimensões dos blocos de vedação.

4.2.2 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão axial simples foi realizado conforme as normas NBR 12118 (ABNT, 2013) e NBR 5739 (ABNT, 2007). As Figuras 8a e 8b mostram alguns corpos de prova durante o ensaio.



Figura 8a: Ensaio de resistência à compressão simples em blocos de vedação.



Figura 8b: Ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos.

A Figura 9 explana a variação da resistência à compressão com a idade de cura para os blocos de vedação submetidos ao ensaio. A Figura 10 faz a mesma demonstração em relação aos corpos de prova cilíndricos. O melhor desempenho da atuação conjunta dos agregados na

fabricação dos blocos e nos corpos de prova cilíndricos se deu aos 14 dias de cura, observando-se uma queda aos 28 dias. O ganho aos 14 dias de cura foi significativo: um aumento da resistência de 44% em relação ao de menor valor entre os blocos produzidos. Observou-se também que o melhor desempenho se deu na betonada 2, processo que recebeu maior quantidade de água, podendo ser a causa dessa melhora de propriedade.

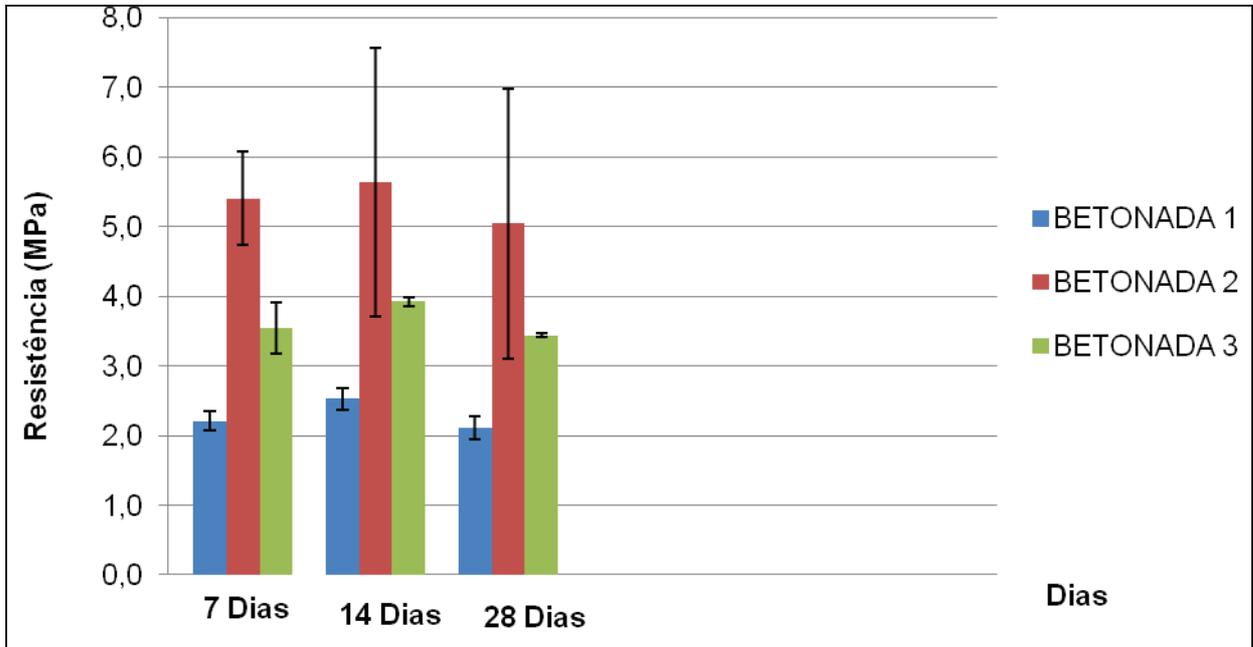


Figura 9: Resistência à compressão simples em blocos de vedação em função das diferentes idades de cura 7, 14 e 28 dias.

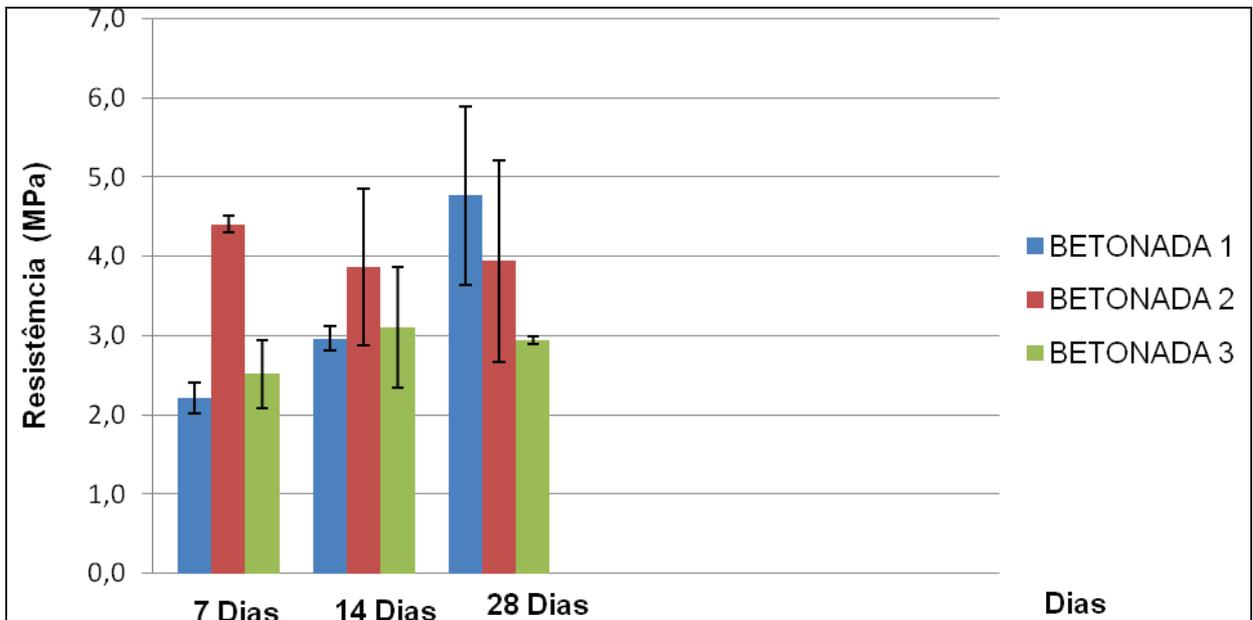


Figura 10: Resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos em função das diferentes idades de cura 7, 14 e 28 dias.

4.2.3 Absorção de água

Por meio da determinação do ingresso de água por absorção, observa-se que os três blocos e os três corpos de prova cilíndricos avaliados mostraram capacidade de absorver grande quantidade de água. A absorção dos blocos fabricados com RCD é maior do que a dos fabricados com agregados naturais, podendo interferir na resistência do material produzido com esse agregado, pois aumenta sua porosidade e com isso o índice de vazios no estado endurecido. Segundo estudos já realizados, uma das formas de compensar a interferência no estado fresco seria realizar uma compensação da absorção do agregado por meio de pré-molhagem do agregado reciclado, o que, neste processo investigatório, não foi realizado.

O resultado do ensaio realizado na pesquisa de BIGOLIN (2013) com o mesmo agregado RCD estudado, ou seja, CTSA, demonstra que as amostras submetidas ao ensaio de absorção ficaram inferiores ao limite de 17% estabelecidos pela NBR 15.116 (ABNT, 2004), para agregados reciclados mistos. O aumento significativo de absorção verificado em algumas amostras é sensível, mas tolerável, pois, quanto menor o material, maior a absorção de água (LEITE, 2001).

A quantidade de água absorvida (a%) pelos blocos e pelos corpos de prova cilíndricos submetidos ao ensaio demonstrou que os blocos satisfazem os limites estabelecidos pela norma. O mesmo não se aplica aos corpos de prova cilíndricos, pois dois deles ficaram acima dos limites normativos, conforme descrito na Tabela 5. Esta elevada taxa de absorção verificada pode ter ocorrido em função de algum erro de adensamento do material nas formas cilíndricas.

Betoneira*	Bloco	Absorção de água (%)	Limite especificado na NBR 15116, (ABNT, 2004) (%)
1	1	15,2	<17,00
2	2	13,9	
3	3	12,7	
	CP Cilíndrico		
1	1	15,7	
2	2	17,5	
3	3	17,9	

Tabela 5: Quantidade de água absorvida (a%) nos blocos e corpos de prova cilíndricos submetidos ao ensaio.

Os resultados obtidos através do ensaio de absorção de água por imersão nos blocos de vedação explanam o peso dos blocos em função do tempo (Figura 11). Foram registrados até

que, em duas pesagens sucessivas, não se notassem diferença de massa superior a 5% em relação ao maior valor. A Figura 12 demonstra os resultados em relação aos corpos de prova cilíndricos produzidos com o mesmo material reciclado.

Os resultados mostram uma semelhança das taxas de absorção entre as amostras ensaiadas. Todas apresentaram resultados inferiores aos limites estabelecidos pela NBR 15.116 (ABNT, 2004).

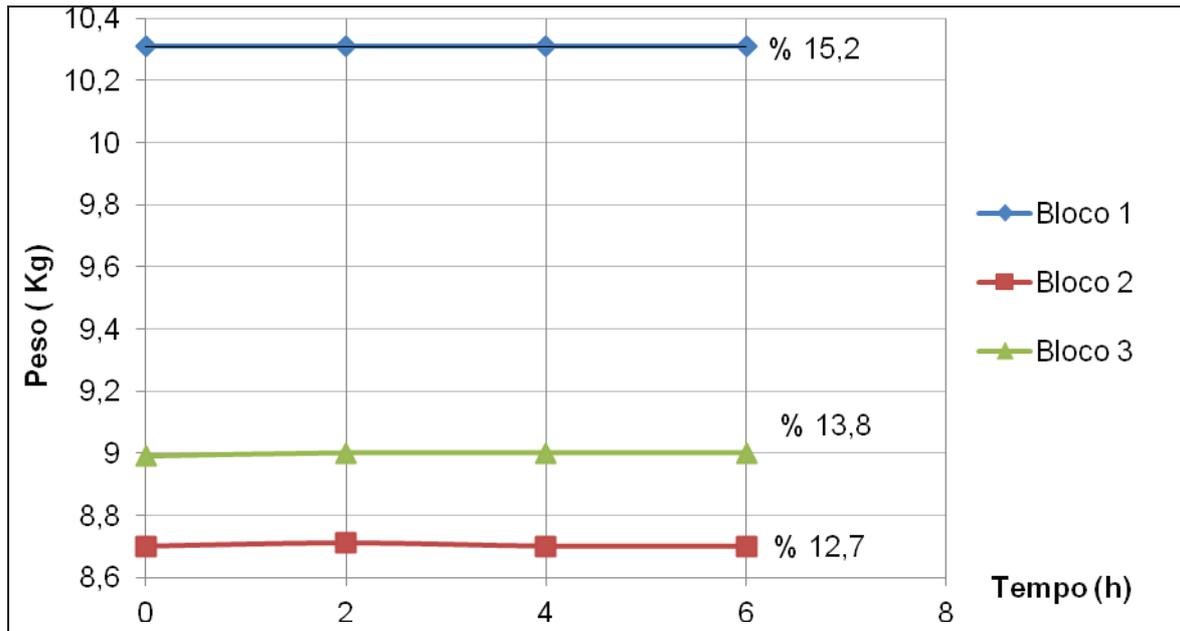


Figura 11: Ensaio de absorção de água (%) nos blocos de vedação.

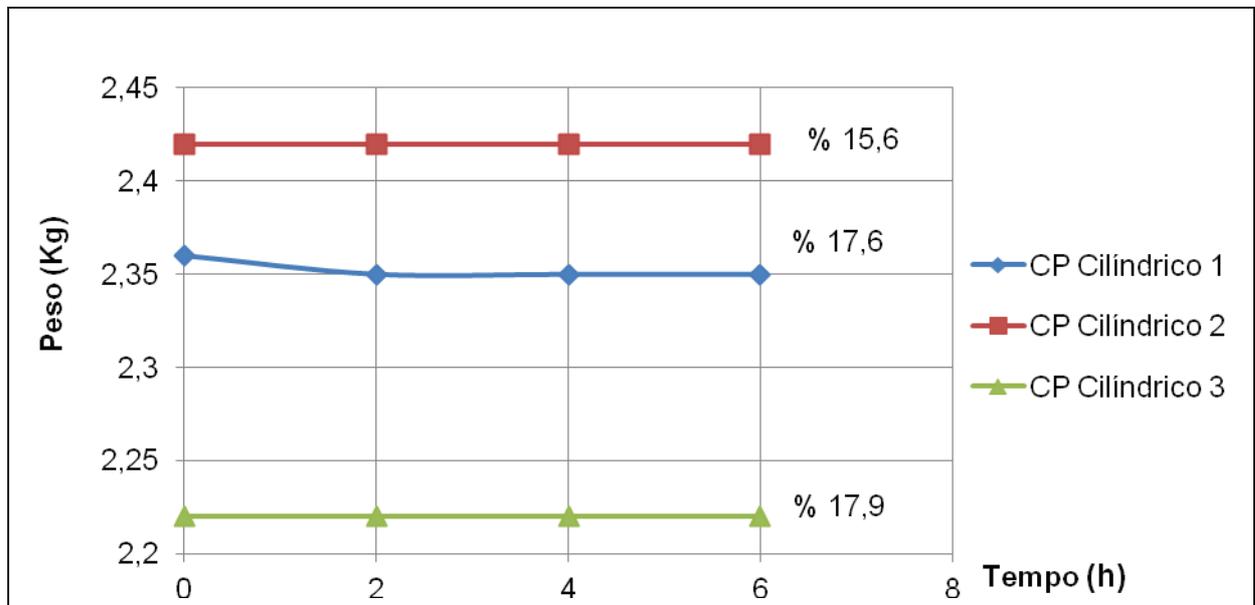


Figura 12: Ensaio de absorção de água (%) nos corpos de prova cilíndricos.

Um bloco, quando produzido com quantidade de água insuficiente para o perfeito adensamento, apresenta uma superfície porosa, sujeita a absorver água com mais facilidade. O

resultado mostra que os blocos fabricados na primeira betonagem, apresentaram maior capacidade de absorver água, já o corpo de prova cilíndrico de maior absorção de água foi o da terceira betonagem. Essas divergências entre valores podem ser resultado de erro no processo produtivo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho indicou que o uso do RCD como agregado na produção de blocos sem função estrutural, em proporções convenientemente dosadas, pode ser satisfatório, desde que sejam tomadas medidas corretas na fabricação e normatização desses materiais. O uso do RCD pode servir também como alternativa para a minimização dos impactos ambientais e contribuir com a comunidade, através da geração de emprego e renda para famílias de carroceiros. Sob o ponto de vista da durabilidade, de acordo com os ensaios de resistência à compressão axiais simples realizados, é possível afirmar que se pode utilizar o agregado reciclado em concretos para produção de blocos sem função estrutural e, após ajuste de traço, são potencialmente certificáveis para o uso na construção civil.

Em alguns casos, houve redução da resistência e em outros houve aumento dessa propriedade, ambos testados com substituição de 100% de agregado natural por RCD. O ganho de resistência ocorreu na mistura em que houve um acréscimo de água em massa e esta relação não pode ser negligenciadas, pois deverá ser o ponto de partida para a produção da cooperativa.

Ficou evidenciada a falta de controle de produção e dosagem dos materiais, o que pode ter contribuído para os resultados da primeira etapa do trabalho (produção atual) não fossem satisfatórios. Em regime cooperativo, como existe o envolvimento de diversas pessoas no processo de produção, a fabricação de blocos deve obedecer criteriosamente as dosagem dos materiais e atender às normas. Desta forma, é possível evitar erros que possam comprometer as propriedades de resistência deste produto.

Indica-se avaliar a influência da granulometria nas propriedades dos blocos e o consumo do cimento através da ACV (Avaliação do Ciclo de vida), levando em conta a emissão de CO₂ das indústrias cimentícias e também promover estratégias que ajudem a elevar a taxa de crescimento econômico sustentável.

No Brasil, o problema maior incide em transpor as barreiras (legais, regulamentares, de educação, tecnológicas, econômicas) com a inserção, no mercado, de um novo produto

contendo resíduo. Essa não é tarefa fácil, especialmente para um setor considerado conservador, como é o caso da construção Civil.

Sendo assim, pode-se concluir, que embora seja necessário melhorar aspectos relacionados à variabilidade de resistência e à absorção, o próximo passo será investigar se é possível enquadrar este produto na norma para que se possa certificá-los e comercializa-los mercado da construção Civil.

REFERÊNCIAS

- ALTHEMAN, D. **Avaliação da Durabilidade de Concretos Confeccionados com Entulho de Construção Civil**. 2002. 102 f. Relatório (Iniciação Científica) – Universidade de Campinas. São Paulo, 2002.
- ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos**. São Paulo, 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18112005-155825/pt-br.php>>. Acesso em 09/04/2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Emenda 1:2008 – Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR NM 248**: Agregado- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 10004**: resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – método de ensaios. Rio de Janeiro, 2013.
- BIGOLIN, Morgane. **Indicadores de desempenho para blocos de concreto**: Uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD. 2013. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- BIGOLIN, Morgane; DANILEVICZ, Ângela de Moura Ferreira; SOARES, Márcia Elisa. **Modelo para levantamento de requisitos para o desenvolvimento de um produto mais sustentável para a construção civil**. 3º Encontro Nacional Sobre Reaproveitamento de Resíduos na Construção Civil – ENARC 2013. São Leopoldo, 2013.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº. 431**. São Paulo. 2011.
- BRASIL. Lei nº **10.531**, de 10 de setembro de 2008. Institui, no Município de Porto Alegre, o Programa de Redução Gradativa do Número de Veículos de Tração Animal e de Veículos de Tração Humana e dá outras providências. Disponível em <http://www.camarapoa.rs.gov.br/biblioteca/integrais/Lei_10531.htm>. Acesso em 13/03/2013.

BRASIL. Lei nº **12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 13/03/2013.

BUTLER, A. M. **Concretos com agregados graúdos de concreto** – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. 2003. 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº. 307**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. São Paulo. 2002. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 23/04/2013.

FORMOSO, Carlos Torres. **Metodologias para o desenvolvimento de sistemas especialistas para planejamento em construção**. Produção. Porto Alegre, RS. Vol. 3, n. 1, p.5-13, maio 1993. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/29185>>. Acesso em 02/04/2013.

JOHNSON, S. Greener Buildings: Environmental Impact of Property. MacMillan, Basingstoke: 1993.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Porto Alegre, 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>>. Acesso em 20/03/2013.

MENDES, Osmar; OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga de. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da resolução 307 do CONAMA**. Goiânia, 2008. Disponível em <http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/GERENCIAMENTO%20DE%20RES%20C3%84DUOS%20DA%20CONSTRU%20C3%87%20C3%83O%20CIVIL%20E%20DEMOLI%20C3%87%20C3%83O%20-%20ESTUDO%20DE%20CASO%20DA%20RESOL____.pdf>. Acesso em 22/03/2013.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Roseback; ÂNGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Élcio Duduchi. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009. Disponível em <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/7183>>. Acesso em 18/03/2013.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado) --Escola Politécnica, Universidade de São Paulo -- USP. São Paulo, 1999. Disponível em <<http://rmdaveiga.files.wordpress.com/2011/01/tese-tarcisio.pdf>>. Acesso em 22/03/2013.

SANDES, Valmara de Souza. Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana, 2008. Disponível em <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/VALMARA%20DE%20SOUZA%20SANDES.pdf>>. Acesso em 24/04/2013.

SIMONETTI, F. C. et al. **Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregadas na fabricação de blocos.** p. 21–23. 2008.

SOUTSOS, Marios; TANG, Kangkang; MILLARD, Stephen G. **The use of recycled demolition aggregate in precast concrete products – Phase /III: Concrete pavement flags.** Construction and Building Materials, v. 6, n. 11, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812004370>>. Acesso em 13/03/2013.

SOUZA, J. G. G. **Contribuição ao Estudo da Relação entre Propriedades e Proporcionamento de Blocos de Concreto:** aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Brasília, 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de Brasília. Brasília, 2001.

THOMAS, C. et al. **Durability of recycled aggregate concrete.** Construction and Building Materials, 40, pp. 1054-1065, 2013. Disponível em <http://www.researchgate.net/publication/257948902_Durability_of_recycled_aggregate_concrete/file/60b7d526ec6be5fed7.pdf>. Acesso em 17/03/2013.

VIEIRA, Geilma Lima; DAL MOLIN, Denise Carpena Coutinho. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, 2004. Disponível em <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3575>>. Acesso em 04/03/2013.

VYAS, Chetna M; PITRODA, Jayeshkumar. **Fly Ash and Recycled Coarse Aggregate in Concrete:** New Era for Construction Industries - A Literature Review. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Volume 4, Issue5, May 2013. Disponível em <<http://www.ijettjournal.org/volume-4/issue-5/IJETT-V4I5P92.pdf>>. Acesso em 13/03/2013.