

Monografia

**"AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS PARA CONCRETO ARMADO:
ALTERNATIVAS PARA O MERCADO BRASILEIRO "**

Autora: Suéllen Mota Marques Costa

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Guerra Gumieri

Julho/2014

SUÉLLEN MOTA MARQUES COSTA

**"AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS PARA CONCRETO ARMADO:
ALTERNATIVAS PARA O MERCADO BRASILEIRO"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia da UFMG

Ênfase: Gestão e Avaliações nas Construções

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Guerra Gumieri

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2014

“As pessoas querem o ideal, rejeitam o que é bom e tem que se contentar com o péssimo.”
Edésio Fernandes

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Raquel e Vilson, pelos valores que formaram meu caráter, base de toda minha conduta, seja profissional seja pessoal. O valor que sempre deram ao conhecimento serviu como modelo para minha vida.

Agradeço a minha irmã, Suzane, que me incentivou a não desistir frente às dificuldades.

Agradeço à UFMG, que com sua vasta equipe de colaboradores, contribui para que milhares de alunos possam enxergar o mundo de outras formas, promovendo a liberdade.

Não poderia deixar de mencionar os colegas da pós-graduação, funcionários da secretaria e professores, que sempre estiveram abertos para compartilhar experiências, criando um ambiente agradável e propício para a aprendizagem.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Adriana, que confiou em mim, aceitando colaborar com este trabalho e fornecendo o suporte que eu tanto precisava.

Por fim, agradeço à Deus, pela maravilhosa oportunidade de conhecer e de criar, ações essas que me trazem felicidade.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Breve histórico da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) no Brasil	5
3.2 Breve histórico das normas nacionais e estrangeiras sobre agregados reciclados para concretos	7
3.3 Propriedades dos concreto com agregados reciclados	9
3.3.1 Características gerais	9
3.3.2 Absorção de água e retração por secagem	10
3.3.3 Trabalhabilidade	12
3.3.4 Resistência à compressão	13
3.3.5 Resistência à tração	17
3.3.6 Resistência à flexão	18
3.3.7 Módulo de elasticidade	19
3.3.8 Durabilidade	20
3.4 Como melhorar as propriedades do concreto com agregados reciclados	21
3.4.1 Beneficiamento dos agregados graúdos reciclados	21
3.4.2 Teores de substituição de agregados naturais por reciclados	22
3.4.3 Uso de superplastificantes e de cinzas volantes	23
3.4.2 Adição de vidro moído e de tensoativos	26
4. ANÁLISE CRÍTICA: APLICAÇÕES NO BRASIL	29

4.1 Estratégias para implantação no Brasil.....	30
5. CONCLUSÃO	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resistência à compressão de concretos com agregados reciclados - 28 dias	15
Figura 2: Comparações entre resistências de concretos com agregados reciclados ...	16
Figura 3: Resistência à tração de concretos com AGR	18
Figura 4: módulo de elasticidade de concretos com agregados graúdos reciclados.....	19
Figura 5: Retração por secagem de concretos reciclados com e sem cinzas volantes aos 28 dias.....	25
Figura 6: Permeabilidade a íons cloreto de concretos reciclados com e sem cinzas volantes aos 28 dias.....	26
Figura 7: Resistência à compressão de concretos com AGR, com e sem vidro moído... ..	27
Figura 8: Permeabilidade a cloretos de concretos com AGR, com e sem vidro moído.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Retração por secagem de concretos com agregados graúdos reciclados.	11
Tabela 2: Resistência à compressão (MPa) e resistência à compressão relativa conforme idade do concreto.	14
Tabela 3: Comparação das resistências a compressão para concretos reciclados obtidos por MALESEV et al (2012) e por DAL MOLIN e VIEIRA (2004).	15
Tabela 4: Resistência à tração de concretos com AGR ao 28 dias em MPa.	17
Tabela 5: Resistência à compressão de concretos reciclados com e sem cinzas volantes.....	24

LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS

a/c = água/cimento

AGR = agregado graúdo reciclado

AMR = agregado miúdo reciclado

MPa = Mega Pascal

NBR = Norma Brasileira Registrada

Pa = 1.000.000 N/m²

RCD = resíduos de construção e demolição

RESUMO

Este trabalho analisa a viabilidade de utilização de agregados graúdos reciclados de concreto de demolição para fins estruturais na construção civil brasileira. Na primeira parte, apresenta-se um panorama da gestão de resíduos no Brasil, bem como as normas nacionais e estrangeiras existentes sobre a reciclagem de agregados. Em um segundo momento, mostram-se os resultados das pesquisas mais relevantes sobre o tema. Por fim, as informações são analisadas com foco na construção civil brasileira. A utilização de agregado graúdo reciclado de concreto de demolição pode ser viável quando combinado a outros materiais tais como superplastificantes e vidro moído. Tais adições compensam a diferença de desempenho do material reciclado em relação ao agregado graúdo de rocha natural. Todavia, incentivar pesquisas nessa área é fundamental, uma vez que há poucas publicações que consideram o contexto brasileiro.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, verifica-se a escassez de locais para deposição de resíduos em vários países, sejam eles de resíduos de construção e demolição ou de outros tipos. O crescimento da população urbana, requer áreas cada vez maiores para lavoura, pecuária e urbanização, o que aumenta o preço da terra. Consequentemente, utilizar grandes áreas como aterro sanitário é cada vez mais difícil.

Essa falta de espaço para deposição de resíduos pode ser verificada em nível internacional, como aconteceu com o Brasil em 2009. Segundo LANG (2009), em novembro daquele ano chegaram ao Brasil 1.477 toneladas de resíduos sólidos diversos que foram repatriados à Europa. Na ocasião, o Ministro do Meio Ambiente, Carlos Minc, declarou que “O Brasil não será lata de lixo do planeta. Teremos um papel de protagonista nesta questão, exigindo mudanças nesse tipo de comportamento por parte dos países ricos.”. Atualmente, fala-se em tráfico de lixo dos países desenvolvidos para os subdesenvolvidos, dada a escassez de espaço e o descaso com a questão ambiental.

Contudo, a falta de espaço também pode ser percebida em países em desenvolvimento, conforme acontece com as cidades brasileiras Belo Horizonte e Sabará. Segundo a PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2014), o aterro sanitário da cidade foi fechado em 2007, sendo que os resíduos produzidos nesse município são depositados em Sabará.

Do total de resíduos sólidos urbanos produzidos em determinado município, a proporção de resíduos de construção e demolição pode ser elevada. CABRAL e MOREIRA (2011) apresentam relações entre os resíduos de construção e demolição e o total de resíduos sólidos urbanos gerados em seis cidades brasileiras. A menor relação encontrada foi de 34% e a maior, 62%. Em Belo

Horizonte, apenas o entulho encaminhado para reciclagem chegou a 103.500 toneladas em 2012 (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2014).

Outro ponto a ser considerado é que as técnicas construtivas adotadas no Brasil não favorecem a desmontagem dos subsistemas construtivos e, conseqüentemente, o reaproveitamento de componentes. Por exemplo, é raro encontrar no país edificações construídas com painéis e estruturas desmontáveis ou facilmente adaptáveis a novos usos. Logo, são frequentes as demolições de edificações no todo ou em parte, sendo que grande quantidade de componentes é convertida em resíduo.

Além do problema causado pela escassez de espaço para deposição de resíduos, convém atentar para o consumo intenso de recursos naturais. O consumo de materiais naturais é elevado e varia em função das taxas de crescimento econômico, conforme alerta a Agência Européia do Ambiente.

“A economia européia assenta num elevado nível de consumo de recursos. Esses recursos incluem matérias-primas (tais como metais, minerais para construção ou madeira), energia e solos. As principais forças motoras do consumo de recursos na Europa são o crescimento econômico, os desenvolvimentos tecnológicos e a alteração dos padrões de produção e consumo.” (AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE, 2014).

Segundo o Relatório Planeta Vivo, publicado pela Organização Não-Governamental WWF (2010), a necessidade de consumo mundial de recursos naturais ultrapassou a capacidade do planeta.

“A Pegada Ecológica - um dos indicadores utilizados no Relatório - demonstra que a nossa demanda por recursos naturais duplicou desde 1966 e que utilizamos o equivalente a um planeta e meio para sustentar nossas atividades. Se continuarmos a viver além da capacidade do planeta, até 2030 precisaremos de uma capacidade produtiva equivalente a dois planetas para satisfazer os níveis anuais da nossa demanda.” (WWF, 2010).

A WWF (2010) também aponta os países desenvolvidos como os principais responsáveis por esse elevado consumo de recursos naturais. Isto é, se países

em desenvolvimento como o Brasil replicassem esse padrão de consumo, a questão ambiental agravaria-se. Portanto, é preciso pensar em formas de reduzir o consumo de recursos naturais em escala mundial, através de novos padrões de produção e consumo.

Dentro dos recursos naturais consumidos, têm destaque os destinados à indústria de materiais de construção. Há cerca de dez anos atrás, o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000) já alertava para essa questão, ao afirmar que cerca de 60% dos recursos naturais extraídos eram convertidos em materiais de construção.

Atualmente, no Brasil, o Ministério do Meio Ambiente destaca o papel da construção civil no consumo de recursos naturais.

“Reconhecidamente, o setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. O Conselho Internacional da Construção – CIB aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais.”
(MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014)

É importante buscar formas de reduzir a produção de resíduos, bem como diminuir o consumo de recursos naturais. Uma das alternativas possíveis é a reciclagem. Na construção civil brasileira uma das opções é a reciclagem de agregados graúdos a partir do concreto de demolição, com vistas à utilização em concreto armado. Consequentemente, diminuiria-se o consumo de agregado graúdo de rocha natural consideravelmente, uma vez que o concreto armado é o principal material estrutural utilizado no Brasil. Além disso, o volume de resíduos encaminhados aos aterros sanitários sofreria redução. Portanto, o uso de agregado graúdo reciclado em peças de concreto estrutural traria vantagens ambientais consideráveis, uma vez que diminuiria tanto o volume a ser descartado em aterros quanto o consumo de recursos naturais.

2. OBJETIVO

O objetivo desta monografia é lançar bases para a elaboração de trabalhos mais aprofundados sobre os agregados graúdos reciclados de concreto de demolição no Brasil. A maioria das pesquisas encontradas foram produzidas no exterior, portanto é necessário verificar se os resultados encontrados pelos pesquisadores estrangeiros também seriam válidos para a realidade brasileira.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Breve histórico da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) no Brasil

Segundo ANGULO *et al* (2009), as primeiras pesquisas científicas sobre o uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) surgiram no Brasil no final dos anos oitenta e início dos anos noventa. Dentre elas, merece destaque a pesquisa de Zordan em 1997, a cerca do uso de RCD em concretos. As primeiras usinas de reciclagem foram instaladas em São Paulo, Londrina e Belo Horizonte no decorrer dos anos noventa.

No início do século 21, as pesquisas intensificaram e surgiu a Câmara Ambiental da Construção, que discutia a normatização da reciclagem dos RCD no Brasil. A Câmara contava com importantes agentes do mercado, do poder público e do meio acadêmico, como o Sindicato das Indústrias da Construção de São Paulo (Sinduscon-SP), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) e a Universidade de São Paulo (USP). (ANGULO *et al*, 2009).

Em 2002, surgiu a Resolução CONAMA 307, que tinha como objetivo estabelecer parâmetros para a gestão de resíduos, visando a redução dos impactos ambientais. Posteriormente, o documento foi alterado pelas Resoluções Nº 348/04, Nº 431/11 e nº 448/12 (BRASIL, 2014). Essa legislação conferiu certas responsabilidades aos geradores de resíduos, conforme pode-se ver abaixo.

“Art. 4º Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (nova redação dada pela Resolução 448/12).” (BRASIL, 2014)

A Resolução CONAMA 307, de 2002, parece ter surtido efeitos positivos no mercado, pois atualmente, a gestão de resíduos é divulgada por várias construtoras de grande porte do país. VELOSO (2014) divulga a gestão de

resíduos de uma das maiores construtoras do segmento residencial no Brasil. Outra construtora de grande porte disponibiliza em seu sítio informações sobre seu programa de gestão de resíduos e reciclagem em canteiro (CYRELA, 2014).

Em 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou normas que tratavam de questões referentes aos resíduos de construção e demolição, conforme descrito a seguir.

- NBR 15114:2004, Resíduos sólidos de construção civil – Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- NBR 15115:2004, Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.
- NBR 15116:2004, Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Apesar das normas brasileiras constituírem importante estímulo à gestão de resíduos no Brasil, o uso de agregados graúdos reciclados em peças estruturais não é contemplada nelas. Ainda hoje, não existem normas nacionais que versem sobre tal uso para os agregados graúdos reciclados. Convém notar que, no Brasil, considera-se concreto estrutural aquele que possui resistência característica à compressão mínima de 20MPa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Atualmente, a discussão sobre a gestão de resíduos é estimulada pelos Sindicatos da Construção Civil (Sinduscon), revistas técnicas, universidades brasileiras, etc. Por exemplo, o Sinduscon-MG divulgou em seu sítio o 2º Encontro Nacional de Gestão de Resíduos e Sustentabilidade na Construção. No sítio do Sinduscon-MG também é possível encontrar cursos sobre o tema, como o oferecido pelo SEBRAE em 2013 (SINDUSCON-MG, 2014).

Portanto, é possível perceber o interesse do meio técnico, científico e empresarial pelo tema gestão de resíduos. Tal conjunção de interesses sinaliza uma demanda por inovações, sendo a gestão de resíduos uma boa oportunidade de pesquisa.

3.2 Breve histórico das normas nacionais e estrangeiras sobre agregados reciclados para concretos

Em 1951, surgiu na Alemanha a norma DIN 4163, sobre a utilização de resíduos de alvenaria para a produção de concreto. O documento estipulava alguns parâmetros como resistência, densidade e módulo de deformação para os concretos produzidos. (LEITE, 2001).

Em 1977, surgiu no Japão, uma especificação para uso de agregado reciclado a partir de concreto. Tal especificação foi realizada pela *Building Contractors Society of Japan* (BCSJ) e foi denominada *Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete* (HANSEN, 1986). No documento, foram definidos limites para as propriedades físicas e parâmetros de dosagem. O documento previa uma redução de cerca de 60% da resistência de projeto em relação à de dosagem, como fator de segurança. Atualmente, a especificação japonesa é considerada conservadora, porém foi um passo importante no sentido de incentivar a reciclagem de agregados de concreto. (LEITE, 2001)

Em 1993, o Comitê Técnico RILEM 121-DRG (*The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures*) apresentou uma proposta para utilização de agregados graúdos reciclados. O documento definiu que, em caso de mistura de agregados reciclados e naturais para a fabricação de concreto, os agregados naturais deveriam constituir 80% do total. O Comitê Técnico RILEM 121 estabeleceu também critérios de cálculo de projeto estrutural. (LEITE, 2001).

Em 1995, a Dinamarca publicou uma emenda através da Associação Dinarquesa de Concreto que estipulava parâmetros ao uso de agregado reciclado. Definiu-se como agregado reciclado o material processado, oriundo de demolição que contivesse 95% de concreto, alvenaria e revestimento cerâmico. Foi permitido o uso de concreto reciclado para fins estruturais, porém apenas em ambientes de baixa agressividade, como fundações enterradas. (LEITE, 2001).

Em 1998, surgiu na Alemanha o novo Código Alemão “Concreto com agregado reciclado de concreto”, que permitia apenas o uso de agregado graúdo e miúdo proveniente de concreto. Tal código previa o uso de superplastificantes para compensar a alta absorção de água dos agregados reciclados. Os agregados reciclados deveriam atender às exigências para agregados naturais, bem como algumas exigências específicas. Além disso, o código alemão estabelecia que o agregado reciclado deveria ser misturado ao natural para a produção de concreto. (LEITE, 2001).

Em 2007, surgiu em Shanghai, na China, a norma DG/TJ08-2018-2007, *Technical code for application of recycled concrete*. Trata-se de um código regional que estabelecia parâmetros para a utilização dos agregados reciclados de concreto. Essa norma merece destaque pois ilustra o esforço que a China tem feito, a partir do início do século XX, para reduzir os resíduos de demolição e o consumo de recursos naturais. Cerca de 200 milhões de toneladas de resíduos de concreto são produzidos anualmente no país. Em contrapartida, o número de artigos acadêmicos publicados sobre agregados reciclados de concreto teve grande incremento entre os anos de 2000 e 2009. (LI *et al*, 2012)

Como é possível perceber, encontram-se registros de normas internacionais que permitem o uso de agregados reciclados de concreto. Contudo, conforme as recomendações, eles devem ser misturados aos naturais em pequenas proporções. Além disso, o uso de agregados reciclados em peças estruturais expostas (superestrutura) ainda é bastante limitado.

As normas brasileiras NBR 15115:2004 e NBR 15116 mostram que o Brasil, de certa forma, acompanha a tendência mundial, isto é, regulamentou apenas o uso de agregado reciclado para fins não estruturais.

3.3 Propriedades dos concreto com agregados reciclados

3.3.1 Características gerais

Segundo MALESEV *et al* (2010), quando o concreto demolido é processado, uma certa quantidade de argamassa e de cimento permanece aderida aos fragmentos de rocha (brita). Esses materiais aderidos à brita são os principais responsáveis pela redução da qualidade do agregado graúdo reciclado em comparação ao de rocha natural.

Conforme DAL MOLIN e VIEIRA (2004), outro dificultador da utilização dos agregados reciclados é sua grande variabilidade. As autoras salientam que a tecnologia de controle de qualidade desse produto ainda é pouco conhecida no Brasil.

Portanto, uma das alternativas para a melhoria da qualidade dos agregados reciclados seria a melhoria dos métodos de processamento.

“...são encontradas diversas experiências promissoras com o uso de novas tecnologias em usinas de reciclagem (ou antigas no setor da Engenharia Mineral) para a melhoria da qualidade do agregado reciclado (BUTENBACH *et al*, 1997; JUNGMANN *et al*, 1997), com destaque especial para o Japão (SHIMA *et al*, 2005). Tais tecnologias realizam, por exemplo, lavagem dos materiais finos, separação da fração orgânica leve e britagem combinada com aquecimento para a remoção da pasta de cimento porosa dos agregados graúdos reciclados.” (ANGULO *et al*, 2009)

Além disso, convém atentar para as características do concreto de origem. Segundo HANSEN e NARUD (1983), a resistência do concreto original pode afetar as propriedades dos agregados reciclados produzidos.

Outro fator importante é considerar o nível de contaminação do concreto de origem, pois isso também afeta a qualidade do agregado reciclado. Nesse sentido, a gestão de resíduos na fonte geradora assume importância crucial. Quanto mais eficiente for a separação dos resíduos no local de demolição, menor será o teor de contaminação e, conseqüentemente, melhor será o agregado reciclado produzido. Por outro lado, utilizar resíduos de estruturas de concretos com patologias não é recomendável.

A seguir serão detalhadas as principais propriedades dos concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto, em relação aos concretos que utilizam apenas agregados naturais.

3.3.2 Absorção de água e retração por secagem

A respeito da absorção de água dos agregados reciclados, LEITE (2001) faz a seguinte afirmação:

“Para os agregados convencionais, a taxa de absorção de água não exerce quase nenhum tipo de influência nas misturas de concreto, pois os agregados apresentam pouca, ou nenhuma, porosidade. No entanto, quando utiliza-se agregados reciclados para a produção de concretos, esta influência torna-se uma grande preocupação, pois este material apresenta valores bem mais altos de absorção que os agregados naturais geralmente utilizados.” (LEITE, 2001)

Segundo LI *et al* (2012), pesquisas mostram que a absorção dos agregados graúdos reciclados (AGR) é de 9,25% após 24 horas, o que é muito maior do que a absorção dos agregados graúdos naturais. A porosidade do AGR, por sua vez, deve-se à argamassa aderida aos fragmentos de rocha, e possui valor aproximado de 23,3%.

Devido à alta absorção de água dos AGR, é preciso tomar alguns cuidados quanto à dosagem dos concretos, de modo a evitar que o agregado afete a relação água/cimento. Modificações nesta proporção afetariam a resistência

mecânica do concreto, sua porosidade, sua retração por secagem bem como outras propriedades importantes.

Uma das alternativas é a molhagem dos AGR antes de adicioná-lo à mistura, isto é, saturar o agregado (LEITE, 2001). Segundo MALESEV *et al* (2010), ao estudar a taxa de absorção dos agregados graúdos reciclados de concreto em um período de 24 horas percebe-se que a maior quantidade de água é absorvida nos primeiros trinta minutos.

Outra possibilidade, é aumentar a quantidade de água a ser adicionada ao cimento e aos agregados, de modo a compensar a alta absorção dos AGR, conforme realizado por MALESEV *et al* (2012).

Em suas pesquisas, MALESEV *et al* (2012) produziram três tipos de concretos. O primeiro tipo, chamado de R0, não possuía agregados reciclados (miúdos e graúdos), ou seja, era o concreto controle. O segundo tipo, chamado de R50, possuía agregados miúdos naturais, 50% de agregados graúdos naturais e 50% de agregados graúdos reciclados de concreto. Por fim, no terceiro grupo, R100, 100% dos agregados graúdos eram reciclados e os agregados miúdos eram naturais. A substituição dos agregados naturais por reciclados foi feito por peso, de modo que todas as misturas tivessem a mesma composição granulométrica. Os agregados graúdos reciclados eram provenientes de amostras de concreto convencional produzidas em laboratório. Com base nesses estudos, os autores obtiveram os seguintes valores de retração por secagem, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Retração por secagem de concretos com agregados graúdos reciclados.

Concretos	Relação Água/Cimento*	Retração por secagem mm/m					Retração por secagem relativa** %
		4 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	
R0	0,514	0,017	0,124	0,203	0,277	0,339	100
R50	0,568	0,036	0,086	0,176	0,254	0,306	90
R100	0,620	0,091	0,204	0,251	0,335	0,407	120

* Inclui a água adicional para compensar a absorção dos agregados reciclados.

** Retração por secagem aos 28 dias em relação ao concreto controle (R0).

Fonte: adaptado de MALESEV *et al* (2012), livre tradução.

Como se pode perceber na Tabela 1, aos 4 dias, a retração por secagem de R50 é cerca de duas vezes maior do que a de R0. O grupo R100, por sua vez apresenta retração cerca de 5 vezes maior do que a do grupo controle.

No entanto, para nos outros períodos estudados (7, 14, 21 e 28 dias), a retração por secagem de R50 é menor do que a de R0. Por outro lado, para o grupo R100, a retração por secagem é maior do que a do grupo controle.

Analisando apenas o resultado aos 28 dias, percebe-se que a retração por secagem de R50 é 10% menor do que R0, enquanto R100 apresenta retração 20% maior do que a do controle.

Deve-se considerar também que o aumento da relação água/cimento, necessária para compensar a absorção dos AGR, pode contribuir para o aumento da retração por secagem. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), para um dado consumo de cimento, o aumento da relação água/cimento (a/c) aumenta a retração por secagem. Conforme DAL MOLIN e VIEIRA (2004), a taxa de absorção de água dos agregados reciclados também é um ponto a ser discutido, pois requer alteração da relação a/c. Logo, as comparações entre concretos naturais e reciclados devem ser feitas de forma cuidadosa, considerando a inter-relação entre o parâmetro AGR e o parâmetro relação a/c.

Todavia, convém notar que para 50% de substituição de agregado gráudo natural por reciclado, a retração por secagem diminuiu, apesar R50 possuir relação água-cimento maior do que o concreto com agregados convencionais (R0).

3.3.3 Trabalhabilidade

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), a trabalhabilidade do concreto fresco é a facilidade com a qual ele pode ser manipulado sem segregação nociva. Essa propriedade também é alterada pela substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado.

“A trabalhabilidade do concreto é uma das propriedades mais afetadas pelo uso de agregados reciclados devido, principalmente, a sua forma mais irregular e a textura muito mais áspera e sua alta taxa de absorção. A menor trabalhabilidade leva à necessidade do aumento da quantidade de água das misturas para promover uma melhoria nesta propriedade. Entretanto, essa prática pode agravar outras propriedades do concreto endurecido.” (LEITE, 2001)

Como se pode perceber, as características dos AGR reduzem a trabalhabilidade. Para manter essa propriedade em condições satisfatórias, acrescentar-se-ia mais água no concreto, o que não é recomendado. Uma alternativa para atingir boa trabalhabilidade sem afetar a relação água cimento seria utilizar aditivos superplastificantes, conforme realizado por KOU e POON (2013).

3.3.4 Resistência à compressão

O primeiro questionamento que surge quando estuda-se a resistência à compressão de concretos reciclados é se o AGR possui a mesma resistência do agregado natural. Conforme pesquisas realizadas por MALESEV *et al* (2012), os agregados graúdos reciclados apresentaram maior perda de massa do que os agregados naturais quando submetidos a teste de esmagamento em cilindro. No entanto, a resistência do agregado pode ser desprezada quando a resistência do cimento é muito maior do que a dele, como no caso de cimentos com resistências acima de 70MPa (COUTINHO, 1997).

Outro fator importante é a resistência do concreto que originou o AGR. O desempenho tende a ser melhor se a resistência do concreto de origem for maior do que a do concreto reciclado. (SOROUSHIAN e TAVAKOLI, 1996)

MALESEV *et al* (2012) elaboraram um estudo com concreto reciclado, substituindo 0% (R0), 50% (R50) e 100% (R100) de agregados graúdos naturais por reciclados. Os resultados encontrados nos testes de resistência a compressão são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Resistência à compressão (MPa) e resistência à compressão relativa conforme idade do concreto.

Concretos	Relação Água/Cimento*	Idade do Concreto - dias		
		2	7	28
R0	0,514	27,55	35,23	43,44
R50	0,568	25,74	37,14	45,22
R100	0,620	25,48	37,05	45,66
	R50/R0 (%)	93	105	104
	R100/R0 (%)	92	105	105

* Inclui a água adicional para compensar a absorção dos agregados reciclados.

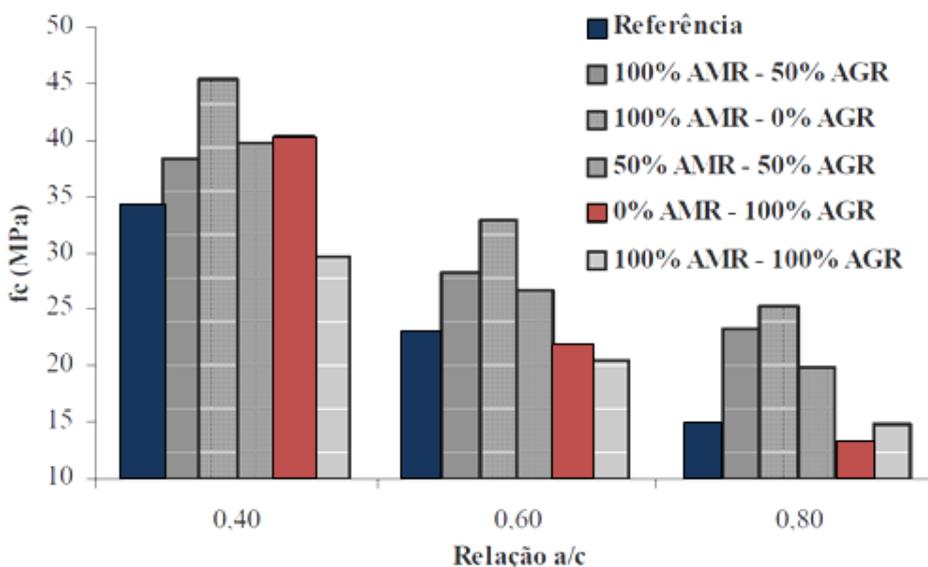
Fonte: adaptado de MALESEV *et al* (2012), livre tradução

Alisando a Tabela 2 é possível perceber que os concretos com AGR de relações a/c de 0,568 e 0,620 possuem resistência à compressão divergente do concreto convencional em até 10%, aproximadamente. As variações ocorrem para mais ou para menos conforme a idade do concreto. Considerando apenas a idade de 28 dias, a diferença entre as resistências de R50 e R0 é de 4% e entre R100 e R0 é de 5% para mais. Em outras palavras, a substituição de 50% de agregado graúdo natural por reciclado aumentou a resistência à compressão em 4% aos 28 dias, enquanto para o concreto com 100% de AGR houve 5% de aumento em relação a R0.

DAL MOLIN e VIEIRA (2004) também estudaram a resistência à compressão de concretos com agregados graúdos reciclados. Foram produzidos concretos com agregado miúdo reciclado (AMR) e agregado graúdo reciclado (AGR), sendo que as respectivas porcentagens de substituição de agregados naturais por reciclados são mostradas na Figura 1. O concreto com 100% de agregados naturais foi denominado concreto de referência. As autoras utilizaram agregado graúdo reciclado proveniente de uma obra de demolição na cidade brasileira de

Maceió. Os resíduos apresentavam 19% de concreto, 48% de cerâmica vermelha, 28% de argamassa, 3% de cerâmica polida e 2% de outros materiais.

Figura 1: Resistência à compressão de concretos com agregados reciclados - 28 dias



Fonte: adaptado de DAL MOLIN e VIEIRA, 2004.

Pode-se comparar os resultados obtidos por MALESEV *et al* (2012) e DAL MOLIN e VIEIRA (2004), para relações a/c de cerca de 0,6 e concretos com teores de substituição de agregado graúdo natural por reciclado de 100%, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Comparação das resistências a compressão para concretos reciclados obtidos por MALESEV *et al* (2012) e por DAL MOLIN e VIEIRA (2004).

Concretos	Relação Água/Cimento		Resistências à Compressão aos 28 dias - MPa	
	DAL MOLIN e VIEIRA	MALESEV <i>et al</i>	DAL MOLIN e VIEIRA	MALESEV <i>et al</i>
RO	0,60	0,620	23	43,44
R100	0,60	0,620	21	45,66
		R100/RO (%)	91	105

Fonte: adaptado de DAL MOLIN e VIEIRA (2004) e de MALESEV *et al* (2012)

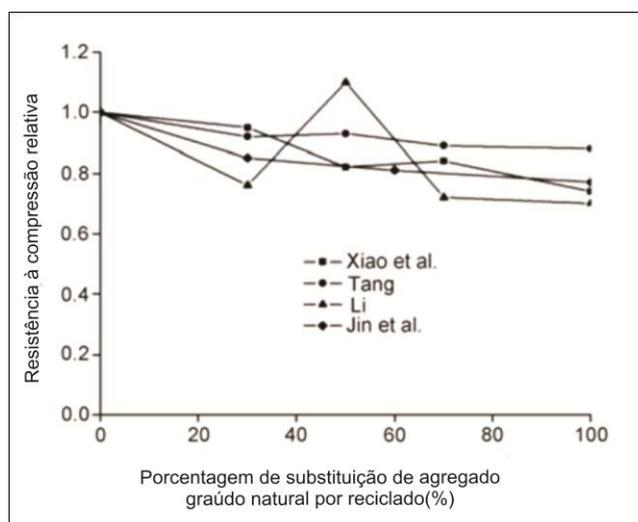
Em valores absolutos, os valores obtidos pelas pesquisas mostradas na Tabela 3 divergem consideravelmente, o que pode ser explicado pela diferença entre

os agregados reciclados e pelos tipos de cimento utilizados. Provavelmente, MALESEV *et al* (2012) utilizaram cimento com resistência maior do que o usado pelas pesquisadoras brasileiras, uma vez que o concreto de referência (R0) produzido por eles também apresentam resistência a compressão elevada. Além disso, MALESEV *et al* (2012) utilizaram resíduo de melhor qualidade do que DAL MOLIN e VIEIRA (2004). Estas autoras utilizaram resíduo com alto teor de cerâmica vermelha oriunda de uma obra de demolição, enquanto aqueles usaram resíduos de concreto proveniente de amostras de laboratório.

Contudo, ao comparar a resistência relativas (R_{100}/R_0) de ambas as pesquisas, percebe-se que os valores são próximos, isto é, as diferenças são menores do que 10%, para mais ou para menos.

LI *et al* (2012), apresentam sínteses de estudos de vários pesquisadores sobre a resistência à compressão em concretos com agregados graúdos reciclados, conforme mostrado na Figura 2. Os autores chamam de resistência à compressão relativa a razão entre a resistência à compressão do concreto com AGR e a resistência à compressão do concreto de referência (isto é, com 100% de agregados naturais). Logo, na Figura 2, o concreto de referência possui resistência à compressão relativa de 1.0.

Figura 2: Comparações entre resistências de concretos com agregados reciclados



Fonte: Adaptado de LI *et al* (2012), livre tradução.

Conforme Figura 2, as pesquisas mostram que, para diferentes teores de substituição de agregados graúdos naturais por reciclados, a resistência à compressão varia em torno de 30%, para menos. Contudo, uma das pesquisas encontrou uma variação de cerca de 18% para mais, considerando cerca de 50% de substituição de agregados graúdos naturais por reciclados.

LI *et al* (2012), afirmam também que para teores de AGR abaixo de 30%, a influência na resistência à compressão é insignificante.

3.3.5 Resistência à tração

Em seus estudos, MALESEV *et al* (2012) obtiveram os resultados mostrados na Tabela 4 para a resistência à tração dos concretos reciclados.

Tabela 4: Resistência à tração de concretos com AGR ao 28 dias em MPa.

Concretos	Relação Água/Cimento*	Resistência à tração aos 28 dias - MPa
R0	0,514	2,66
R50	0,568	3,20
R100	0,620	2,78

* Inclui a água adicional para compensar a absorção dos agregados reciclados.

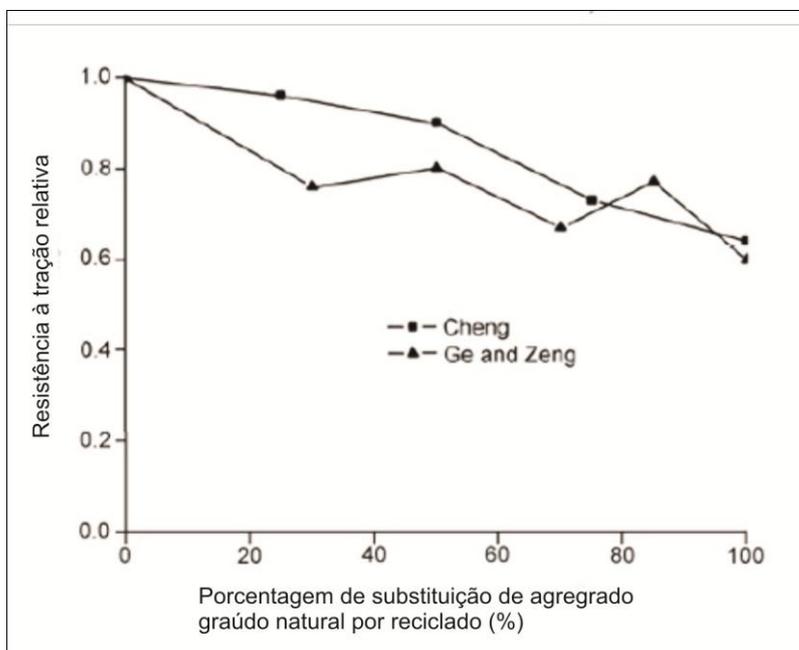
Fonte: adaptado de MALESEV *et al* (2012), livre tradução

Como se pode perceber na Tabela 4, a resistência à tração do concreto com 50% de agregado graúdo reciclado é cerca de 20% maior do que o concreto convencional. Já pra o concreto com 100% de AGR o aumento é de apenas 4%.

LI *et al* (2012), também apresentam estudos de três pesquisadores sobre a resistência à tração dos concretos com AGR, conforme mostrado na Figura 3. Os autores chamam de resistência à tração relativa a razão entre a resistência à tração do concreto com AGR e a resistência à tração do concreto de

referência (isto é, com 100% de agregados naturais). Logo, na Figura 3, o concreto de referência possui resistência à tração relativa de 1.0.

Figura 3: Resistência à tração de concretos com AGR



Fonte: Adaptado de LI *et al* (2012), livre tradução.

Analisando a Figura 3, percebe-se que, apesar de possuírem formas diferentes, as duas curvas indicam uma queda de resistência à tração com o aumento do teor de substituição de agregados gráudos naturais por reciclados, em relação ao concreto de referência. O uso de AGR pode reduzir a resistência à tração em até 40%, aproximadamente.

3.3.6 Resistência à flexão

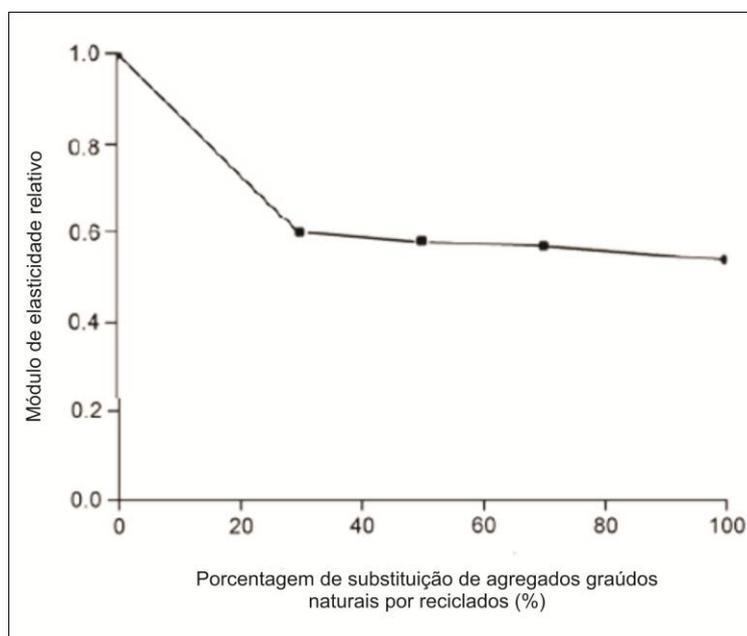
Segundo LI *et al* (2012), a substituição de agregados gráudos naturais por reciclados influencia pouco a resistência à flexão. Para teores de substituição de 0 a 100%, foram encontradas reduções na resistência à flexão de até 20%.

MALESEV *et al* (2012), por suas vez, encontraram aumentos de até 30% ao comparar a resistência à flexão do concreto com AGR ao do agregado graúdo natural.

3.3.7 Módulo de elasticidade

Conforme descrito por LI *et al* (2012), o módulo de elasticidade do concreto com agregado graúdo reciclado é menor do que o do concreto convencional, conforme mostrado na Figura 4. Os autores chamam de módulo de elasticidade relativo a razão entre o módulo de elasticidade do concreto com AGR e o módulo de elasticidade do concreto de referência (isto é, com 100% de agregados naturais).

Figura 4: módulo de elasticidade de concretos com agregados graúdos reciclados



Fonte: Adaptado de LI *et al* (2012), livre tradução.

Analisando a Figura 4, percebe-se que o módulo de elasticidade cai cerca de 40% quando se acrescenta 30% de AGR ao concreto. Porém, aumentando-se o teor de agregado graúdo reciclado, o módulo de elasticidade permanece praticamente constante.

MALESEV *et al* (2012), encontraram 10% de redução no módulo de elasticidade para o concreto com 50% de AGR e 20% de redução para 100% de AGR.

3.3.8 Durabilidade

A durabilidade do concreto está diretamente relacionada à sua permeabilidade (LEITE, 2001). Quanto maior for a relação água/cimento, maior a porosidade do concreto, pois parte dessa água tende a evaporar, criando vazios na estrutura. Esses vazios gerados pela evaporação da água podem ou não estar interligados entre si.

Quanto maior a relação a/c, mais água o concreto possui para evaporar, portanto possuirá maior número de vazios e maior será a probabilidade de haverem vazios interligados, resultando em maior permeabilidade.

Como os AGR são mais porosos e requerem mais água para atingir a trabalhabilidade desejada, pode-se inferir que os concretos com agregados graúdos reciclados tendem a ser mais permeáveis que os concretos convencionais, logo, tendem a ser menos duráveis.

DAL MOLIN e VIEIRA (2004), estudaram a durabilidade em concretos armados produzidos com agregados graúdos reciclados. Um dos parâmetros utilizados para avaliar a durabilidade foi a taxa de corrosão em concretos armados. A taxa de corrosão consiste na velocidade com a qual o processo de corrosão ocorre nas barras de aço. Logo, quanto maior for a taxa de corrosão, menor será a durabilidade do concreto armado.

“Nota-se que com os traços em que houve um percentual maior de substituição do AGR a corrosão ocorreu bem mais rápida do que nos outros concretos. Pode-se concluir nesse caso que o agregado graúdo reciclado não contribui para a melhoria da durabilidade de concretos reciclados em face da corrosão da armadura iniciada por íons cloreto (...).”
(DAL MOLIN e VIEIRA, 2004)

3.4 Como melhorar as propriedades do concreto com agregados reciclados

Conforme apresentado neste trabalho, o uso de agregados graúdos reciclados pode afetar negativamente algumas propriedades do concreto, como por exemplo, aumentar a retração por secagem, reduzir a durabilidade, etc.. Portanto, é necessário encontrar formas de minimizar esses efeitos negativos de modo a viabilizar o uso dos agregados graúdos reciclados, conforme será descrito a seguir.

3.4.1 Beneficiamento dos agregados graúdos reciclados

Conforme dito anteriormente, a origem e a composição dos AGR afeta a qualidade do concreto produzido. Por isso, é importante reduzir a variabilidade do material, para controlar a qualidade do produto. Uma das alternativas para alcançar esse objetivo seria escolher e padronizar formas de beneficiamento adequadas.

Alguns pesquisadores sugerem uma segunda britagem para melhorar a qualidade dos agregados graúdos reciclados, conforme descrito a seguir.

“ A adoção de mais de uma britagem pode influenciar na qualidade do material obtido. Por exemplo, segundo FUJII, citado por TAVAKOLI e SOROUSHAN (1996 a), relata uma diminuição na retração por secagem devido à rebritagem do agregado graúdo reciclado de concreto. Segundo o autor, essa iniciativa causa maior despreendimento da argamassa antiga das partículas do agregado natural antigo, bem como, devido à sua menor resistência, existe maior tendência de desagregação da argamassa endurecida, resultando em menor quantidade desse material na composição granulométrica do agregado graúdo reciclado de concreto. Uma diminuição da quantidade de pasta de cimento endurecida na composição de agregado graúdo utilizado acarreta uma diminuição da retração por secagem no concreto reciclado, quando somente a fração graúda do agregado reciclado é utilizada.” (LEITE, 2001)

A lavagem dos agregados antes da utilização é um procedimento que também pode trazer bons resultados. Segundo CHEN *et al* (2003), os concretos que

utilizaram agregados graúdos lavados obtiveram resistências à compressão maiores em relação aos concretos com agregados não lavados.

Segundo ANGULO *et al* (2009), já existem outras tecnologias de beneficiamento que melhoram o desempenho dos agregados reciclados, como por exemplo separação da fração orgânica leve e britagem combinada com aquecimento para remoção da pasta de cimento porosa dos agregados graúdos reciclados.

Outro ponto importante é implantar e melhorar sistemas de triagem de resíduos em obras, para evitar a contaminação dos agregados no local onde são produzidos. Segundo ANGULO *et al* (2009), um adequado sistema de gestão de resíduos em canteiro pode ser útil para melhorar a qualidade do agregado reciclado. Evidentemente, é preciso também um sistema de transporte e e manuseio adequado de modo que os resíduos cheguem às usinas de beneficiamento com baixo índice de contaminação. Uma possível evidência da importância desse controle de qualidade dos agregados reciclados são os resultados encontrados por MALESEV *et al* (2012). Esses pesquisadores utilizaram resíduos provenientes de peças produzidas e demolidas em laboratório, ou seja, o resíduo obtido possuía baixos teores de contaminação. Consequentemente, foram encontrados resultados satisfatórios para os concretos reciclados. Por exemplo, para o concreto com 100% de AGR a resistência à compressão aos 28 dias foi maior do que a do concreto de referência, apesar do pequeno aumento na relação água cimento, conforme indicado na Tabela 2.

3.4.2 Teores de substituição de agregados naturais por reciclados

Conforme disposto em normas estrangeiras, descritas anteriormente, recomenda-se a substituição dos agregados naturais pelos reciclados em pequenas proporções. Por exemplo, em 1993, o Comitê Técnico RILEM 121-DRG, propôs a substituição em até 20% e o Código Alemão de 1998 também

estabelece que o agregado reciclado deve ser misturado ao natural (LEITE, 2001).

“ Alguns pesquisadores japoneses, citados por HANSEN (1992) e PIETERSEN e FRAAY (1998) concordam que se até 30% dos agregados naturais fossem substituídos por agregados reciclados não haveriam mudanças significativas nas propriedades dos concretos quando comparados a concretos convencionais.” (LEITE, 2001)

É razoável pensar que baixos teores de substituição de agregado graúdo reciclados diluem os efeitos negativos de sua utilização no concreto. Portanto, é recomendável que a introdução do uso dos AGR em peças de concreto estrutural seja feita dessa forma, até que as pesquisas e a tecnologia tenha avançado suficientemente para permitir o uso em porcentagens maiores. Mesmo em pequenos teores, a utilização dos AGR pode causar efeitos positivos ao meio ambiente, dado o volume total de agregados consumidos pela construção civil brasileira. Todavia, essa introdução deve ser feita de forma consciente e responsável, através de normas técnicas que prevejam controle de qualidade dos agregados reciclados e dos concretos produzidos, de forma a não lesar o consumidor final.

Já existem algumas pesquisas no sentido de viabilizar o uso dos AGR em teores mais expressivos, as quais serão descritas a seguir.

3.4.3 Uso de superplastificantes e de cinzas volantes

Em seus estudos, KOU e POON (2012) obtiveram bons resultados para o uso de agregados graúdos reciclados ao adicionar às misturas cinzas volantes e superplastificantes.

Os autores obtiveram o agregado graúdo reciclado de uma usina em Hong Kong, a qual informou que os AGR eram constituídos basicamente de concreto. Foi testado apenas o agregado graúdo reciclado, portanto, o agregado miúdo utilizado foi o natural. Eles produziram seis grupos de estudos:

- R0: concreto com 100% de agregados naturais, sem cinzas volantes.

- R50: concreto com 50% de AGR, sem cinzas volantes.
- R100: concreto com 100% de AGR, sem cinzas volantes.
- R0F25: concreto com 100% de agregados naturais e 25% de cinzas volantes.
- R50F25: concreto com 50% de AGR e 25% de cinzas volantes.
- R100F25: concreto com 100% de AGR e 25% de cinzas volantes.

A relação água/cimento foi mantida constante em 0,55. O *slamp* também não sofreu alteração, através do uso de superplastificantes. Na Tabela 5 são apresentados os resultados encontrados para a resistência à compressão.

Tabela 5: Resistência à compressão de concretos reciclados com e sem cinzas volantes

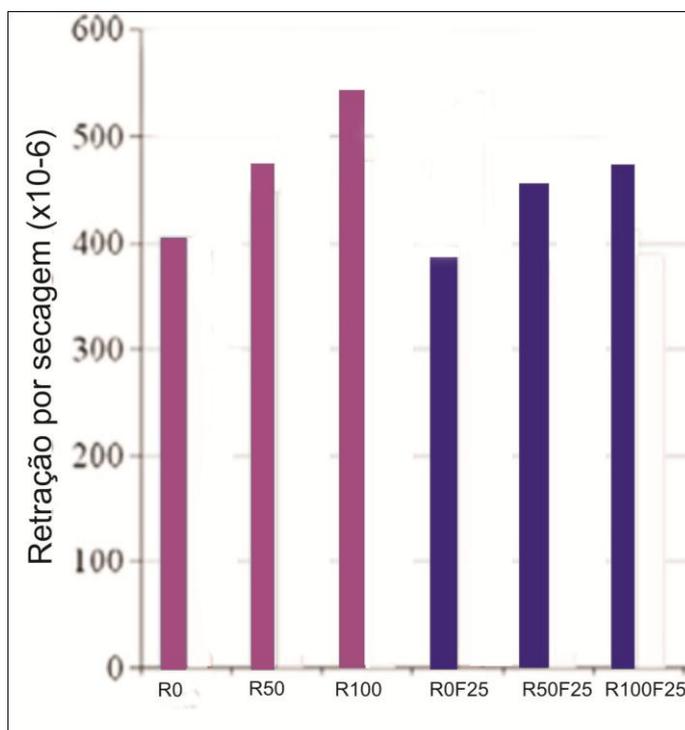
Concretos	Resistência à compressão aos 28 dias - Mpa					
	R0	R50	R100	R0F25	R50F25	R100F25
	48,6	42,5	38,1	43,6	41,7	36,8
R50/R0 (%)		87		R50F25/R0F25 (%)	96	
R100/R0 (%)		78		R100F25/R0F25 (%)	84	

Fonte: adaptado de KOU e POON (2012), livre tradução.

A análise da Tabela 5 mostra que apesar da adição de cinzas volantes ter reduzido a resistência em valores absolutos, minimizou o efeito negativo da adição de AGR. Para concretos com 50% de agregados graúdos reciclados, a redução de resistência à compressão era de 13% em relação ao concreto convencional. Com a adição de cinzas volantes e superplantificantes, esse valor caiu para 4%. Para concretos com 100% de AGR o valor era de 22% e caiu para 16%.

A adição de cinzas volantes e superplastificantes afetou positivamente a retração por secagem dos concretos reciclados. Como se pode perceber na Figura 5, a retração por secagem diminuiu em valores absolutos.

Figura 5: Retração por secagem de concretos reciclados com e sem cinzas volantes aos 28 dias.

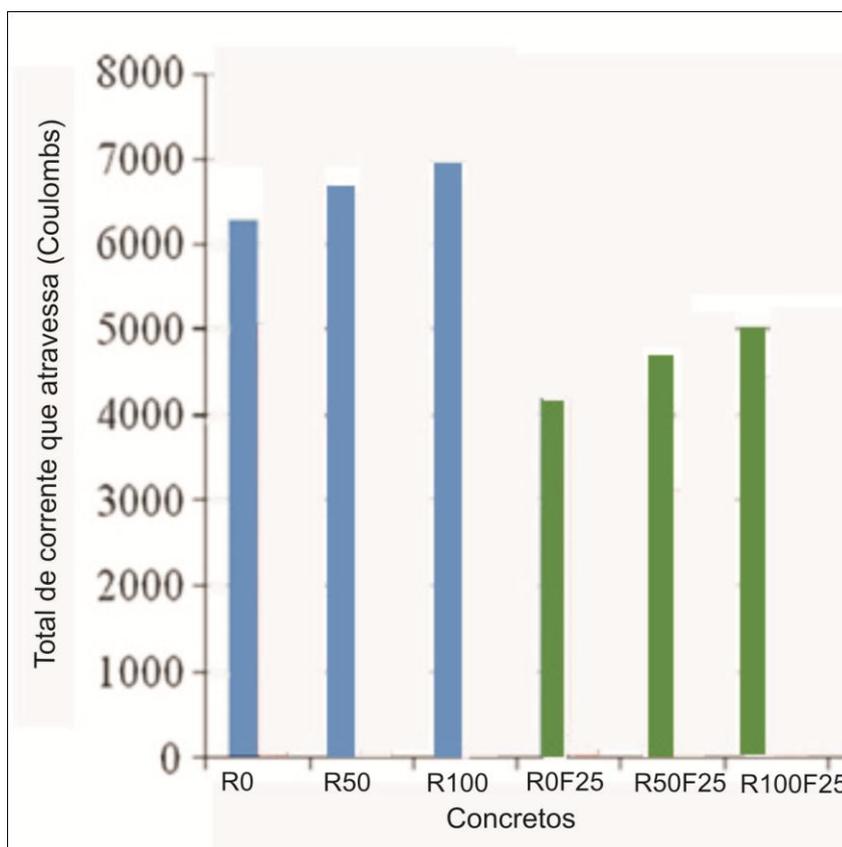


Fonte: adaptado de KOU e POON (2012), livre tradução.

Como se pode perceber na Figura 5, em todos os grupos em que houve adição de cinzas volantes, ocorreu uma redução na retração por secagem.

No que tange a durabilidade, KOU e POON (2012), também mostraram que a adição de cinzas volantes e de superplastificantes também diminuiu a permeabilidade a íons cloretos, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6: Permeabilidade a íons cloreto de concretos reciclados com e sem cinzas volantes aos 28 dias.



Fonte: adaptado de KOU e POON (2012), livre tradução.

Como se pode perceber na Figura 6, todos os grupos que continham adição de cinzas volantes sofreram considerável redução no total de corrente que as atravessava, ou seja, tiveram uma redução da permeabilidade a cloretos, o que resulta em aumento da durabilidade dos concretos produzidos.

3.4.2 Adição de vidro moído e de tensoativos

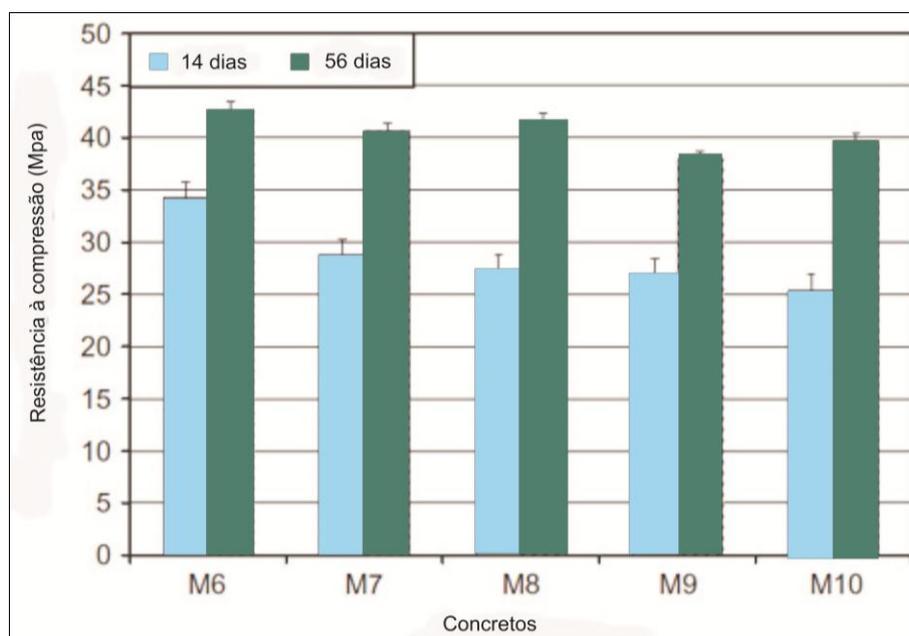
Outra estratégia para melhorar as propriedades do concreto com AGR é o uso de vidro moído em substituição parcial do cimento, conforme estudos de NASSAR e SOROUSHIAN (2012). Os pesquisadores utilizaram agregado graúdo reciclado de concreto e a relação água/cimento foi de 0,50. A alta absorção dos AGR foi compensada através do uso de tensoativo incorporador de ar e tensoativos redutores de água (tensoativo não iônico), os quais foram

usados em todas as misturas. Tanto os agregados graúdos reciclados quanto os naturais foram secos em forno e depois foi adicionada água equivalente às suas capacidades de absorção por 5 minutos em uma *rotating drum mixer* de laboratório. Em seguida, os agregados foram adicionados aos demais componentes do concreto. Por fim, elaboraram-se os seguintes grupos para avaliação:

- M6: concreto com 100% de agregados naturais, sem vidro moído.
- M7: concreto com 50% de AGR, sem vidro moído.
- M8: concreto com 50% de AGR e com substituição de 20% do cimento por vidro moído.
- M9: concreto com 100% de AGR, sem vidro moído.
- M10: concreto com 100% de AGR e com substituição de 20% do cimento por vidro moído.

As resistências à compressão encontradas por NASSAR e SOROUSHIAN (2012), aos 14 e 56 dias são mostradas na Figura 7.

Figura 7: Resistência à compressão de concretos com AGR, com e sem vidro moído.

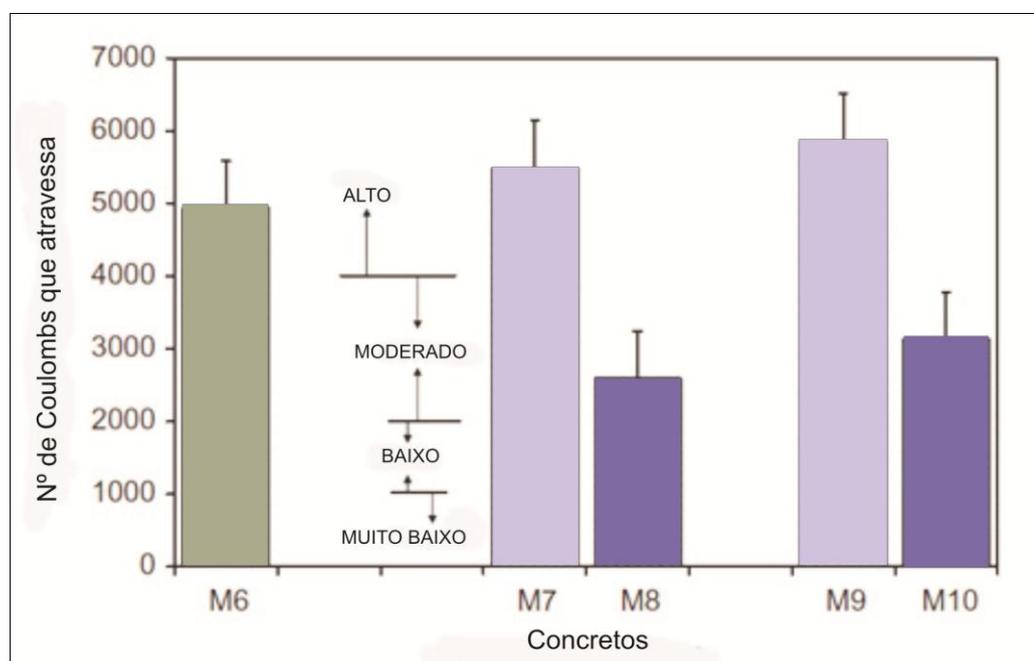


Fonte: adaptado de NASSAR e SOROUSHIAN (2012), livre tradução.

Analisando a Figura 7, percebe-se que a adição de vidro moído não trouxe conseqüências relevantes para a resistência do concreto aos 14 dias, pois já era esperada uma redução da resistência devida à adição dos agregados reciclados. Entretanto, aos 56 dias percebe-se que a resistência de M8 é ligeiramente maior do que a de M7, o mesmo acontecendo entre M10 e M9. Isso significa que foi possível incorporar dois tipos de resíduos e economizar cimento sem perda de resistência à compressão.

Com relação à durabilidade, os autores encontraram os resultados mostrados na Figura 8 para a permeabilidade a cloretos.

Figura 8: Permeabilidade a cloretos de concretos com AGR, com e sem vidro moído.



Fonte: adaptado de NASSAR e SOROUSHIAN (2012), livre tradução.

Ao analisar a Figura 8, percebe-se que o número de Coulombs que atravessa M8 é muito menor do que os que atravessam M7, o mesmo ocorrendo com M10 e M9. Comparando M8 e M10 com M6, percebe-se que o número de Coulombs que atravessa os concretos com agregados reciclados com vidro moído é menor do que a quantidade que atravessam o concreto convencional (M6). Portanto, pode-se concluir que, ao contrário do que acontece com a

resistência à compressão, a permeabilidade a cloretos sofre significativa redução devido à adição de vidro moído, aumentando consideravelmente a durabilidade do concreto. Inclusive, os concretos com AGR e vidro moído atingem desempenho superior ao do concreto de referência.

Logo, a adição de vidro moído ao concreto reciclado melhora algumas propriedades, principalmente a durabilidade. Além disso, como o vidro também é um resíduo a vantagem ambiental de sua utilização é maximizada. Ao utilizá-lo em substituição ao cimento evita-se o descarte do agregado graúdo oriundo de demolição, o consumo de brita natural é reduzido, evita-se o descarte do vidro e diminui-se o uso de calcário (recurso natural constituinte do cimento). Além disso, substituir o cimento por um resíduo (vidro moído) pode reduzir o custo das construções, trazendo vantagens econômicas para a indústria da construção civil.

4. ANÁLISE CRÍTICA: APLICAÇÕES NO BRASIL

Conforme mostrado no decorrer deste trabalho, há fortes indícios de que é tecnicamente possível utilizar agregados graúdos reciclados de concreto para produção de concreto estrutural no Brasil. Porém, os estudos apontam para a necessidade de tomar certos cuidados, tais como:

- Melhorar a triagem em obras de demolição, de modo a evitar a contaminação do AGR.
- Beneficiar o agregado através de tecnologias mais avançadas, de modo a reduzir a variabilidade e aumentar a qualidade do produto.
- A princípio, utilizar o AGR em proporções de até 50%, para minimizar os efeitos negativos do mesmo.
- Adicionar ao concreto com AGR substâncias que melhorem seu desempenho. Exemplos de possíveis adições são os superplastificantes, as cinzas volantes, os tensoativos e o vidro moído.

4.1 Estratégias para implantação no Brasil

O primeiro passo para iniciar a utilização de AGR para concreto armado no Brasil seria estimular pesquisas a respeito no país. Como se pode perceber no decorrer deste trabalho, a maioria das pesquisas sobre os concretos reciclados foram feitas por pesquisadores estrangeiros. Consequentemente, os estudos consideram a realidade dos locais de atuação desse pesquisadores. É preciso saber se os resultados encontrados por eles serão os mesmos para as condições brasileiras. Logo, é preciso estimular pesquisas nacionais sobre o tema.

Em segundo lugar, elaborar-se-ia uma ou mais Normas Técnicas que estabeleceriam:

- Metodologia de triagem mais rigorosa em obra, de modo a evitar a contaminação do agregado graúdo obtido.
- Metodologia de processamento do agregado, estipulando as condições mínimas necessárias para a obtenção de agregados reciclados adequados ao uso pretendido.
- Metodologia de classificação dos AGR, de modo a dar destinação correta a cada tipo de agregado. Por exemplo, os agregados com menor teor de argamassa, de cimento e de impurezas devem ser destinados a uso em estruturas de concreto armado expostas, enquanto os de qualidade inferior podem ser utilizados em estruturas enterradas.
- Procedimento de análise química e física, para subsidiar a classificação dos agregados.
- Procedimentos de incorporação dos agregados reciclados ao concreto, tais como dosagem, molhagem prévia e teores de aditivos ou adições minerais para cada classe de agregado graúdo reciclado.
- Metodologia de controle de qualidade dos concretos produzidos.

Em terceiro lugar, o Estado Brasileiro deveria promover incentivos e/ou prever punições para garantir a implantação da(s) norma(s) referida(s) acima,

fomentando a implantação de usinas de reciclagem, da gestão de resíduos em obras, do transporte dos mesmos, etc... Se comprovada a necessidade de uso de aditivos e/ou adições minerais ao concreto, o Estado deveria promover incentivos à fabricação dos mesmos no país. Em suma, deveria ser feito um projeto de fomento à implantação da(s) norma(s) no país.

Em quarto lugar, os agentes envolvidos¹ deveriam participar das discussões de definição e implantação da(s) norma(s), de modo a se conscientizarem sobre a importância do tema e contribuir com andamento dos trabalhos. Recomenda-se que sejam estabelecidos fóruns de discussão do assunto. Como foi discutido no item um desta monografia, já existem entidades que promovem a discussão da gestão de resíduos no Brasil. Esse fato facilitaria a implantação dos fóruns, bem como sinaliza uma pré-disposição da comunidade técnica-científica para a discussão do tema.

Cabe dizer também que são muitas as vantagens de utilizar os agregados graúdos reciclados de demolição em concreto estrutural no Brasil, tais como:

- Redução do descarte de resíduos, diminuindo a extensão dos aterros sanitários, liberando espaços urbanos para usos mais nobres.
- Redução de consumo de recursos naturais, reservando-os para uso das gerações futuras e minimizando impactos ambientais.
- Dinamização da economia brasileira, gerando novas oportunidades de negócios e geração de empregos.
- Estímulo ao desenvolvimento científico e tecnológico do país.

Todavia, há também grandes desafios a enfrentar, como por exemplo:

- Combater o preconceito com os materiais reciclados no Brasil, vistos como materiais de segunda categoria e destinados a população de baixa renda, principalmente no que se refere aos materiais de construção.

¹ Entende-se aqui como agentes envolvidos a Associação Brasileira de Normas Técnicas, o Sindicato das Indústrias da Construção, o Instituto Brasileiro de Concreto, as universidades, as concreteiras, o Ministério das Cidades, os governos regionais e locais, bem como os demais interessados no assunto.

- Abundância de recursos naturais e de espaço no país o que dificulta a plena conscientização dos brasileiros da problemática ambiental.
- Vencer a resistência natural das pessoas às mudanças.
- Conscientizar os envolvidos da necessidade e viabilidade do desenvolvimento sustentável.
- Estimular as pessoas a raciocinarem de forma sistêmica e colaborativa.
- Combater o pensamento imediatista que impera em alguns setores empresariais da construção civil, pois iniciativas sustentáveis na maioria das vezes só trazem resultados a longo prazo.
- Criar relações de respeito e confiança entre os agentes envolvidos, de modo a tornar as decisões mais rápidas e efetivas.

5. CONCLUSÃO

Conforme mostrado no decorrer deste trabalho, há fortes indícios de que o uso de agregados graúdos reciclados de concreto de demolição em concreto armado pode ser tecnicamente viável para o Brasil. Tal uso seria muito benéfico para o país, uma vez que dinamizaria a economia, estimularia o desenvolvimento científico e tecnológico, bem como favoreceria o planejamento urbano e a preservação ambiental.

Evidentemente, usar esse agregado em concreto armado estrutural é uma proposta audaciosa e de longo prazo, mas com pequenas ações já é possível iniciar o processo. O primeiro passo seria incentivar pesquisas na área e estimular a discussão do tema no ambiente técnico-científico e acadêmico, objetivo ao qual este trabalho destina-se.

É preciso uma postura pró-ativa em relação à questão ambiental. Não se pode assistir à extinção dos recursos naturais passivamente, como também as extensões dos aterros sanitários devem ser reduzidas. É necessário prever e

planejar o futuro, tomando medidas hoje que garantam o bem estar das populações humanas, sem prejuízos para as próximas gerações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA EUROPEIA DO AMBIENTE. **Sobre resíduos e recursos materiais**. Disponível em: < <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/waste/about-waste-and-material-resources>>. Acessado em 23 maio 2014.

ANGULO, S. C.; CARELI, E. D.; MIRANDA, L. F. R.. 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.

ANGULO, S. C.; CARRIJO, P.M., JOHN, V.M., KAHN, H., SILVA, R.M., ULSEN, C. Characterization of Brazilian Construction and Demolition Waste Coarse Recycled Aggregate. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 40, 2004, Barcelona. **Anais...** Bagnoux: RILEM Publications, v.1, 2004, p. 87-96.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos: NBR 10004**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos de construção civil: NBR 15114**. Rio de Janeiro, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: NBR 15116**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência: NBR 8953**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento: NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, alterada pelas Resoluções nº 448/12, nº 431/11 e nº 348/04. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acessado em: 25 maio 2014.

CABRAL, A.E.B.; MOREIRA, K.M. V. **Manual Sobre Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Fortaleza: Sinduscon-CE, 2011. 43p. Disponível em:<<http://www.sinduscon-ce.org/ce/downloads/pqvc/Manual-de-Gestao-de-Residuos-Solidos.pdf>>. Acessado em 25 maio 2014.

CHEN, H. J.; YEN, T.; CHEN, K. H. Use of buildings rubbles as recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 125-132, 2003. Disponível em:< <http://link.periodicos.capes.gov.br>>. Acessado em 09 junho 2014.

CYRELA. **Sustentabilidade**. Disponível em <<http://www.cyrela.com.br/sobre/a-cyrela/sustentabilidade>>. Acessado em 09 mar 2014 19:25.

COUTINHO, A.S. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, v.1, 1997.

COUTINHO, A.S. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, v.2, 1997.

COUTINHO, A.S. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, v.3, 1997.

DAI, J.-G.; KOU, S.C.; LI, Q.Y; POON, C.S ; ZHU, Y.G. Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete. **Cement & Concrete Composites**, v.35, n. 1, jan 2013, p. 32–38. Disponível em:<<http://link.periodicos.capes.gov.br>>. Acessado em: 28 dez 2013.

DAL MOLIN, D. C. C. ; VIEIRA, G. L.. 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, out./dez.2004. Disponível em <www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3575/1979>. Acesso em: 03 nov. 2013.

DE ASSIS, C.S.; DE MATTOS, J.T.; DE OLIVEIRA, M.J.E.. Recycled Aggregate Standarization in Brazil. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINDS AND STRUCTURES, 40, 2004, Barcelona. **Anais...** Bagneux: RILEM Publications, v.1, 2004, p. 156-165.

HANSEN, T.C. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-art report developments 1945-1985. **Materials and Structures**, v.19, n.111, 1986, p. 201-246. Disponível em:< <http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acessado em 01 jun 2014.

HANSEN, T.C.; NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete course aggregate. **Concrete International** v. 5, n.1, 1983, p.79-83.

KOU, S.C.; POON, C.S.. Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. **Construction and Building Materials**, v.35, out 2012, p. 69–76. Disponível em:<<http://link.periodicos.capes.gov.br> >. Acessado em: 28 dez 2013.

LANG, M.. Contêiners de lixo enviados ao Brasil são repatriados ao Reino Unido. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 05 ago 2009 17:31. Disponível em<<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u605441.shtml>>. Acessado em 09 mar 2014.

LEITE, M.B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21839/000292768.pdf?sequence=1>>Acessado em: 17 nov. 2013.

LI, W.G.; POON, C.S.; XIAO, J.Z.. Recent studies on mechanical properties of recycled aggregate concrete in China—A review. **Science China Technological Sciences**, v. 55, n.6, jun 2012, p.1463-1480. Disponível em:<<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acessado em: 28 dez 2013.

MALESEV, M., MARINKOVIC, S; RADONJANIN, V.. Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production.**Sustainability**,n.2, 2010, p.1204-1225. Disponível em:<<http://link.periodicos.capes.gov.br>>. Acessado em 27 dez 2013.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini,1994. 573 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção sustentável**. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>>. Acessado em: 23 maio 2014.

NASSAR, R.; SOROUSHIAN, P. Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement. **Construction and Building Materials**.Nº 29, anp 2012, p. 368–377.Disponível em:<<http://ac.els-cdn.com.ez27.periodicos.capes.gov.br>. Acessado em 16 fev 2014.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Materials count. The case of materials flow analysis**. Washington: National Academy of Sciences, 2000.144p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **SLU. A Central. Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da SLU apresenta soluções ambientalmente corretas para a destinação do lixo.** Disponível em <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=slu&lang=pt_br&pg=5600&tax=34913>. Acessado em 09 mar 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **SLU. Números da Limpeza Urbana. Estatísticas da SLU.** Disponível em:<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=limpezaurbana&lang=pt_BR&pg=10447&tax=40017>. Acessado em 25 maio 2014.

SINDUSCON-MG. **Eventos. 2º Encontro Nacional de Gestão de Resíduos e Sustentabilidade na Construção.** Disponível em <<http://www.sinduscon-mg.org.br/index.php/eventos/ver/2%C2%BA-encontro-nacional-de-gestao-de-residuos-e-sustentabilidade-na-construcao-37>>. Acessado em 09 mar 2014.

SINDUSCON-MG. **Sebrae oferece curso para gestão de resíduos na construção.** Disponível em <<http://www.sinduscon-mg.org.br/index.php/noticias/ver/sebrae-oferece-curso-para-gestao-de-residuos-na-construcao-1619>>. Acessado em 09 mar 2014

SOROUSHIAN, P.; TAVAKOLI, M. **Drying shrinkage behavior of recycled aggregate concrete.** Concrete International v.18, n.11, 1996, p. 58-61. Disponível em: < <http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acessado em 01 jun 2014.

VELOSO, M.. Solução necessária. **Revista MRV**, Belo Horizonte, n.25, jan/fev 2014. Disponível em <http://www.mrv.com.br/revista/noticia.aspx?id=54&no_redirect=true>. Acessado em 09 mar 2014.

WWF. **Recursos ambientais diminuem em ritmo alarmante.** 13 out 2010. Disponível em:<http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/educacao/educacao_news/?26164/recursos-naturais-diminuem-em-ritmo-alarmante>. Acessado em 23 mai 2014.

WWF. **Planeta Vivo. Relatório 2010.** Oakland: Global Footprint Network 2010. Disponível em:<http://assets.wwfbr.panda.org/downloads/08out10_planetavivo_relatorio2010_completo_n9.pdf>. Acessado em 23 maio 2014.