

FACULDADE DE CIÊNCIAS GERENCIAIS DE MANHUAÇU

**O USO DE CONCRETO RECICLADO NA CONSTRUÇÃO DE VERGAS E  
CONTRAVERGAS**

Alan dos Santos Barbosa

Manhuaçu - MG  
2017

**ALAN DOS SANTOS BARBOSA**

**O USO DE CONCRETO RECICLADO NA CONSTRUÇÃO DE VERGAS E  
CONTRAVERGAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso Superior de Engenharia Civil da  
Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu,  
como requisito parcial à aprovação à obtenção  
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil  
Orientador: Carlos Henrique Carvalho Júnior

Manhuaçu - MG  
2017

**ALAN DOS SANTOS BARBOSA**

**O USO DE CONCRETO RECICLADO NA CONSTRUÇÃO DE VERGAS E  
CONTRAVERGAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso Superior de Engenharia Civil da  
Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu,  
como requisito parcial à aprovação à obtenção  
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil  
Orientador: Carlos Henrique Carvalho Junior

Banca Examinadora

Data da Aprovação: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

Especialista Carlos Henrique Júnior; FACIG

Mestre José Francisco Anunciação Pinto; FACIG

Especialista Leandro Jose de Lima; FACIG.

Manhuaçu - MG  
2017

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Carlos Henrique Júnior, orientador deste trabalho, pela paciência, estímulo e constante acompanhamento durante o desenvolvimento desta pesquisa experimental.

Ao Professor José Francisco Anunciação Pinto pelo apoio incondicional oferecido durante os testes no laboratório da faculdade, bem como na elaboração do artefato base para adequar a prensa para o ensaio de corpo prismático.

Ao Professor Leandro Jose de Lima pela importante colaboração durante a fase de delimitação do tema da pesquisa e orientações posteriores importantes.

À Professora Tauana de Oliveira Batista, coordenadora do curso de Engenharia Civil, pelo seu apoio técnico, sempre colocando à disposição o laboratório e equipamentos necessários para moldagem, cura e ensaio dos corpos de prova.

Ao meu pai, José Nunes Barbosa, pelo apoio na confecção das formas e corte e dobra das ferragens, sempre orientando e emprestando seus conhecimentos e experiência profissional de longos anos trabalhados na construção civil.

## RESUMO

A construção civil no Brasil é responsável pelo consumo elevado de recursos naturais e uma grande geradora de resíduos sólidos, também chamados resíduos da construção civil e demolição, chegando a gerar mais da metade de todo resíduo sólido urbano. Diante desta realidade a reciclagem é uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil. Este trabalho tem por objetivo realizar ensaio de flexão em vigas, com armadura passiva, moldadas com diferentes percentuais de agregados miúdos oriundos dos resíduos da construção e demolição em comparação ao concreto convencional com agregados miúdos naturais. A moldagem de vergas e contravergas é uma alternativa para utilização do concreto reciclado. Os resultados mostraram que apesar das normas vigentes não recomendarem o uso do concreto reciclado para elementos estruturais, a resistência do concreto produzido com agregados miúdos reciclados mostraram bom desempenho no ensaio a flexão em comparação ao concreto convencional, e em alguns traços obteve resistência superior ao concreto de referência. Portanto, o concreto reciclado é uma alternativa viável para redução do consumo de matérias primas e descarte de resíduos da construção civil.

**Palavras-Chave:** Concreto reciclado; Resíduos da construção civil; Vergas e contravergas.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Civil

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe do Processo Triagem .....	15
Figura 2 – Alimentação do Britador .....	15
Figura 3 – Detalhe do Britador de Mandíbula.....	15
Figura 4 – Detalhe da Peneira e das Esteiras .....	16
Figura 5 – Bica Corrida antes do peneiramento .....	16
Figura 6 – Britador de Cone (rebritagem).....	17
Figura 7 – Detalhe da forma com os reforços laterais.....	18
Figura 8 – Detalhe da armadura e espaçadores .....	19
Figura 9 – Modelo representativo do ensaio de Stuttgart.....	20
Figura 10 – Detalhe do dispositivo para uso na prensa hidráulica .....	20
Figura 11 – Conjunto Prensa Hidráulica e Central Eletrônica-Digital .....	21
Figura 12 – Gráfico com a força aplicada no instante da primeira fissuração (kN) ...	22
Figura 13 – Gráfico com a força aplicada no instante da ruptura (kN) .....	22
Figura 14 – Gráfico com a média das forças aplicadas no instante da primeira fissuração (kN) .....	23
Figura 15 – Gráfico com a média das forças aplicadas no instante da ruptura (kN) .	23
Figura 16 – Configuração de ruptura do Corpo de prova C-RCC 50 B após o ensaio – Fissuras verticais entre as cargas .....	24

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Participação dos RCD nos RSU e taxa de geração em localidades diversas .....	11
Tabela 2 – Denominação e composição percentual dos agregados miúdos .....	17
Tabela 3 – Composição dos materiais usados e quantidade de água .....	18
Tabela 4 – Resultados dos carregamentos .....	21
Tabela 5 – Média dos carregamentos para cada composição .....	23

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Referencial Teórico .....	8
2.1.1. Significado e Conceituação .....	8
2.1.1.1. Significados para entulho .....	9
2.1.1.2. Conceituação.....	9
2.1.2. O histórico do uso dos RCC na Construção Civil.....	10
2.1.2.1. O uso dos RCC no mundo.....	10
2.1.2.2. O uso dos RCC no Brasil.....	10
2.1.3. Impactos Ambientais.....	11
2.1.4. Normatização Brasileira para os RCC .....	12
2.1.4.1. Principais Normas afetas aos RCC .....	12
2.1.5. Concreto Reciclado.....	14
2.1.6. Visita Técnica à Usina de RCC.....	14
2.2. Metodologia.....	17
2.2.1. Pesquisa Experimental .....	17
2.2.2. Composição de Agregados dos Corpos de Provas .....	17
2.2.3. Fator água / cimento .....	18
2.2.4. Moldagem e Processo de Cura .....	18
2.2.5. Ensaio de flexão nos corpos de prova .....	19
2.3. Resultados e Discussão.....	21
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>24</b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no Brasil é responsável pelo consumo elevado de recursos naturais e uma grande geradora de resíduos sólidos, também chamados Resíduos de Construção e de Demolição (RCD), constituindo-se um dos principais responsáveis pela poluição ambiental. Nagalli (2014) afirma que sua destinação irregular aumenta ainda mais o seu potencial de degradação ambiental, já que são descartados sem qualquer critério próximos a cursos d'água, terrenos abandonados e às margens de rodovias.

Segundo Nagalli (2014), estima-se que em 2012, foi coletado no Brasil mais de 35 milhões de toneladas de RCD, representando 55% de todo o resíduo sólido urbano (RSU) coletado naquele ano. Estes números acendem um alerta sobre a necessidade de se buscar alternativas para o descarte adequado destes resíduos e, mais importante, buscar aplicações para o reuso e a reciclagem destes materiais, diminuindo seu potencial poluidor. Para Nagalli a ausência de fiscalização e de políticas públicas voltadas para o setor da construção civil evidencia o total descaso com as questões voltadas a preservação do meio ambiente e a redução dos impactos que as atividades humanas, em especial a construção civil, vêm causando na natureza.

O uso do concreto reciclado produzido a partir dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em substituição ao uso dos recursos minerais extraídos da natureza vem ganhando destaque como alternativa para redução na demanda por recursos não renováveis (PINTO, 1999).

Este trabalho pretende aprofundar o estudo relacionado ao uso do RCC na produção de concreto reciclado, especificamente o agregado miúdo, com aplicação na moldagem de vergas e contravergas, verificando as proporções e percentuais mais indicados no preparo, bem como comparar a sua resistência a flexão com o concreto produzido a partir de materiais convencionais através de ensaio em laboratório, analisando sua recomendação para corpos prismáticos submetidos à flexão.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Referencial Teórico

A construção civil tem papel fundamental para o desenvolvimento e economia do Brasil, sendo uma indústria com certas peculiaridades no desenvolvimento de seus produtos, grande consumidora de recursos naturais e uma grande geradora de resíduos sólidos (NAGALLI, 2014). Por estas razões este trabalho se objetiva a pesquisar e analisar seus aspectos históricos, impactos ambientais e a reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil, especificamente seu emprego na moldagem de vergas e contravergas.

#### 2.1.1. Significado e Conceituação

Os resíduos sólidos da construção civil, mais conhecidos por entulhos, recebem várias denominações na literatura. Seus significados e conceitos também são variados, porém não divergentes e culminam para um mesmo entendimento.

### 2.1.1.1. Significados para entulho

Segundo o Dicionário Michaelis (2017), entulho significa “(...) Material usado para nivelar depressão de terreno; Monte de fragmentos ou sobras de construção; Material que provém de demolição (...”).

Para BLUMENSCHIN (2007, p. 5, grifo nosso), em seu Manual Técnico - Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras, “os “entulhos” são as sobras das construções, ou seja, de processos construtivos, e de demolições, e devem ser gerenciados do projeto à sua destinação final, para que impactos ambientais sejam evitados”.

Neste trabalho será adotada a denominação de Resíduos da Construção Civil (RCC) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), previsto na Resolução Nº 307, de 05/07/2002.

### 2.1.1.2. Conceituação

Resíduo da Construção e Demolição (RCD), na maior parte da literatura são assim chamados todos aqueles gerados pela atividade industrial da construção civil.

Segundo o SINDUSCON-SP (2015), os RCD teriam duas fontes geradoras, a primeira é gerada através do próprio processo construtivo e a segunda pela demolição de construções e/ou obras para adaptações.

Para Âgulo e Jonh (2002), a construção civil é a maior geradora de resíduos sólidos dentro das cidades brasileiras, e a composição média do RCD no Brasil é de concretos, argamassas, materiais cerâmicos, solos, materiais orgânicos, entre outros.

Vieira (2004) define que qualquer material resultante de atividade de demolições, assim como os restos de obras, autoconstruções ou reformas pode ser considerado um RCD.

Resíduo da Construção Civil (RCC), assim denominado na Resolução Nº 307, de 05/07/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC, no inciso I do artigo 2º traz a seguinte definição:

“[...] Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.” (BRASIL, 2002, p. 1)

Resíduo Sólidos da Construção e Demolição (RSCD), assim denominados conforme BLUMENSCHIN (2007), são aqueles gerados nos canteiros de obras, provenientes de construções novas, reformas, reparos, demolições ou resultantes da movimentação de terras.

Como se pode ver nos conceitos acima, na literatura são utilizadas várias maneiras de denominar, bem como de conceituar os Resíduos Sólidos da Construção Civil.

## 2.1.2. O histórico do uso dos RCC na Construção Civil

### 2.1.2.1. O uso dos RCC no mundo

O uso dos resíduos sólidos da construção civil remonta a evolução histórica da própria construção civil, tendo relatos do seu reaproveitamento desde o Império Romano e Grécia antiga. Mais recentemente na Alemanha foram utilizados restos de blocos de concreto para produção de artefatos, onde segundo De Paw e Lauritzen <sup>1</sup> (1994 apud LIMA, 1999, p. 23), foram realizadas pesquisas específicas sobre o uso de RCC.

De Paw e Lauritzen <sup>1</sup> (1994 apud LIMA, 1999, p. 24) dizem que muitos países vêm adotando a reciclagem por razões ambientais e econômicas, principalmente a Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, França, Holanda, Itália, Japão, Reino Unido, Rússia.

Para De Paw e Lauritzen <sup>1</sup> (1994 apud LIMA, 1999, p.24) em outros países o conhecimento sobre o uso dos RCC já é algo consolidado, com normas avançadas indicando seu uso para várias aplicações, que variam conforme o país em razão das características de oferta dos RCC e locais para sua deposição.

### 2.1.2.2. O uso dos RCC no Brasil

A reciclagem dos RCC no Brasil teve início na década de 80, com aproveitamento de resíduos de alvenaria no próprio canteiro de obras para a produção de argamassas para aplicação em emboço, segundo Lima (1999), e somente a partir de 90 teve inicio a implantação de Recicladoras pelas administrações municipais das regiões Sul e Sudeste, e a quantidade de agregado reciclado é significativa, sendo usadas principalmente como coberturas primária e bases para pavimentação asfáltica, a outra parte é utilizada na produção de concreto, argamassas e na fabricação de blocos, meios-fios e bloquetes.

Pinto (1999), realizou um estudo analisando os dados de seis cidades brasileiras, nos estados de São Paulo e Bahia, considerando a expressividade destes municípios foi possível estudar a situação real dos municípios de médio e grande portes no Brasil. Em seu estudo ele aponta a efetiva contribuição dos RCC, seus impactos entre os RSU e nas economias locais, a ineficácia no modelo de gestão adotado, o potencial de uma gestão diferenciada para uma solução sustentável, apontando alguns municípios que adotaram novas práticas de gestão, se assemelhando aos países desenvolvidos, e aponta a reciclagem dos RCC como condição de sustentação de ações eficientes.

Segundo os estudos de Pinto (1999), uma gestão diferenciada congrega um conjunto de ações, envolvendo o poder público e a iniciativa privada, de forma que os recursos naturais não renováveis sejam usados de forma racional, preservando o meio ambiente e reduzindo sua disposição aleatória. Uma correta metodologia envolve o desenvolvimento de procedimentos adequados para minimizar a geração de RCC, bem como sua valorização através da eficiência de resultados com baixos custos, além de preservar o meio ambiente e reduzir a demanda por recursos naturais.

---

<sup>1</sup> DE PAUW, C.; LAURITZEN, E.K. (1994). *Disaster planning, structural assessment, demolition and recycling* (RILEM REPORT 9). Londres, E&FN Spon.

Nagalli (2014), diz que os materiais usados na construção civil podem ser classificados em matérias-prima primária e secundária. Sendo as matérias-primas primárias aquelas de origem natural “virgens”, e as matérias-primas secundárias são aquelas recuperadas e/ou reutilizadas, “resíduos”. Para o uso dos resíduos é necessário coletar, separar, e classificar, já que não são uniformes. No Brasil falta um entendimento na classificação do que é considerado resíduos ou matérias-primas, com implicações legais sujeitas a fiscalização, impossibilitando, por exemplo que no gerenciamento dos resíduos um determinado material possa ser transportado para um outro estado.

Para Pinto (1999), o desenvolvimento da economia com grande geração de RCC resultante dos processos construtivos aliado aos novos procedimentos de demolição e tratamento dos resíduos, vem figurando como uma grande oportunidade para um novo e sólido ramo da engenharia civil, já que há grande necessidade de reduzir o uso dos recursos naturais e não aumentar a quantidade de resíduos descartados.

### 2.1.3. Impactos Ambientais

A indústria da construção civil produz diversas alterações no ambiente, com significativos impactos ambientais. Muitos desses impactos, ou a maioria deles, seriam negativos e afetariam de forma definitiva o ambiente atual e futuro, segundo Pinheiro (2003).

O CONAMA, através da Resolução 01/86, definiu impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, possam afetar: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986)

Já a Resolução 307, do CONAMA, é mais específica para a construção civil e em seu artigo primeiro diz: “estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais”. (BRASIL, 2002, p. 01, grifo nosso)

Os impactos ambientais causados pela construção civil vão desde a mineração dos insumos que afetam diretamente o meio ambiente, a emissão de CO<sub>2</sub> no transporte, fabricação e beneficiamento dos materiais, até o próprio processo construtivo com a geração de resíduos. A reciclagem dos RCC impactaria em todas estas etapas, já que reduziria a demanda por matérias-primas, bem como com o transporte e beneficiamento dos materiais, e principalmente o descarte e deposição de grandes volumes de RCC na natureza, dando nova aplicação a estes. No estudo realizado por Pinto (1999, p. 42) ele apresenta uma tabela com os percentuais da participação dos RCC nos RSU:

Tabela 1 – Participação dos RCD nos RSU e taxa de geração em localidades diversas

Localidades	Participação dos RCD na Massa Total de RSU	Taxa de Geração (t/habitante/ano)
Santo André / SP	54%	0,51
São José do Rio Preto / SP	58%	0,66
São José dos Campos / SP	67%	0,47
Ribeirão Preto / SP	70%	0,71
Jundiaí / SP	62%	0,76

Vitória da Conquista / BA	61%	0,40
Belo Horizonte / MG	54%	0,34
Campinas / SP	64%	0,62
Salvador / BA	41%	0,23
Europa Ocidental	~ 66%	0,7 a 1,0
Suíça	~ 45%	~ 0,45
Alemanha	> 60%	--
Região Bruxelas - Bélgica	> 66%	--
EUA	39% (*)	--
Vermont State (E.U.A.)	48%	--
Japão	--	~ 0,68
Hong Kong	--	~ 1,50

Fonte: (PINTO, 1999, p. 42)

Estes números demonstram a quantidade de RCC gerado em diversas localidades e evidenciam a sua importância entre os RSU. Só pelo percentual que representam já deveriam ser tratados com atenção especial por todos, principalmente pelo poder público, a quem cabe a regulação e fiscalização das atividades industriais.

Pinto (1999) ainda afirma que os RCC não apresentam grau de periculosidade, mas seu impacto se dá muito mais pelo excessivo volume gerado, colocando muitos municípios brasileiros em situação semelhante à das áreas urbanas densas da Europa, Japão e EUA.

O Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil (PGIRCC), foi elaborado e publicado em 2009 através da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em parceria com a Fundação Israel Pinheiro (FIP), e faz parte do Programa Minas sem lixões, no qual é atribuído aos municípios a titularidade pelas ações de controle do meio ambiente local e reciclagem dos RCC, neste documento ao tratar do licenciamento, diz que o município é titular e a quem recaiu o dever pelas ações de controle do meio ambiente local. Diz ainda que o poder público deverá promover o manejo diferenciado e reciclagem a fim de corrigir os problemas ambientais causados pelos RCC. (MAIA et al., 2009).

#### 2.1.4. Normatização Brasileira para os RCC

No Brasil os resíduos sólidos da construção civil, ou oriundos das atividades afetas a construção civil, possuem normatização recente se comparados as demais normas e regulamentos do setor da construção civil.

Os artigos 16 e 18 da Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, determina que os estados e municípios, elaborem o Plano (Estadual ou Municipal) de Resíduos Sólidos, nos termos da lei, e condiciona o acesso a recursos da União, ou controlados pela União, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

A seguir serão apresentadas as principais normas relacionadas aos resíduos da construção civil no Brasil.

##### 2.1.4.1. Principais Normas afetas aos RCC

Lei Federal 12.305, de 02 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e altera alguns dispositivos da Lei 9.605/98. Essa é uma

importante lei para gestão de resíduos sólidos no Brasil. O seu artigo 4º diz que a Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotadas para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, inclusive classifica, quanto à origem, os resíduos da construção civil como sendo aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da movimentação de terras. Especificamente para as empresas de construção civil, ela determina a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, (BRASIL, 2012).

Resolução CONAMA nr 307 – Gestão dos Resíduos da Construção Civil, de 5 de julho de 2002. Esta é a principal Resolução que trata especificamente dos resíduos sólidos da construção civil. A classificação dos resíduos da construção civil é uma importante contribuição desta resolução, que em seu artigo 3º classifica:

“Art. 3º Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. [...]” (BRASIL, 2002, p. 3)

A ABNT NBR 15115:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimento tem como objetivo principal estabelecer os critérios para execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, revestimento primário, utilizando os agregados reciclados oriundo de RCC.

A ABNT NBR 15116:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos, traz em sua introdução o potencial dos RCC, mas diz que para ainda é necessário estabelecer os limites a serem respeitados, e que a utilização no preparo de concretos com função estrutural depende de estudos que viabilizem esta tecnologia. Esta NBR ainda condiciona o uso dos agregados de RCC

destinado ao preparo de concreto sem função estrutural apenas aos resíduos Classe A, conforme a Resolução CONAMA 307/02. Esta norma também traz uma classificação conforme o teor de fragmentos à base de cimento e rochas, denominando por Agregado de Resíduo de Concreto (ARC) aqueles com percentual de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e/ou rochas, e por Agregado de Resíduo Misto (ARM) aqueles com percentual com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e/ou rochas.

### 2.1.5. Concreto Reciclado

O concreto convencional é constituído pela mistura de agregados, água e cimento (aglomerante). Os agregados utilizados são extraídos da natureza, os miúdos (areia) são retirados dos rios e os graúdos (brita) são britados de jazidas de rochas. O uso em larga escala do concreto na construção civil é graças a sua trabalhabilidade e resistência a compressão. O concreto com agregados reciclados, ou em parte com reciclados, são assim chamados em razão do uso de RCC em sua composição (VIEIRA, 2004).

As normas brasileiras limitam o emprego do concreto reciclado apenas a elementos não estruturais, com resistência de até 15 MPa. Para Lima (1999), podem ser usados em reforços armados em pequenas edificações sem a presença de umidade, tais como cintas, vergas, contravergas, apoios de peças de cobertura, e pequenas construções tais como depósitos e proteção de equipamentos etc.

### 2.1.6. Visita Técnica à Usina de RCC

Para conhecer o processo de reciclagem dos RCC foi realizada visita técnica na Usina de Reciclagem da Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) do município de Belo Horizonte. Esta Unidade foi escolhida por se destacar no cenário nacional como referência na gestão dos RCC, apesar de não ter sido o primeiro município brasileiro a aderir à reciclagem de RCC, o Plano de Gestão Diferenciada constitui um modelo de Gestão de Resíduos Sólidos premiado em 1996 pela Fundação Ford e Fundação Getúlio Vargas como melhor experiência de gestão municipal brasileira, de acordo com Pinto (1999).

A planta da Estação de Reciclagem de Entulho (ERE) fica localizada no complexo da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR-040, também chamada de CTRS BR-040, na Rodovia BR-040, Km 531, Jardim Filadélfia, Belo Horizonte-MG.

As informações deste tópico foram repassadas pelo responsável técnico pela Usina e Chefe da Divisão de Reciclagem, o Engenheiro Mecânico Fernando Augusto Muzzi Ramos, que acompanhou a visita e descreveu os processos.

Os RCC são transportados até a Usina por equipe da SLU (materiais resultantes de deposição irregular), bem como por empresas de transporte privado, dos quais não é cobrada qualquer taxa já que contribui para destinação adequada, porém só são aceitos os RCC de Classe A (CONAMA 307), com até 10% de outros materiais.

Uma pá carregadora mecanizada espalha o RCC no pátio e o processo de triagem é feito manualmente por funcionários que retiram os rejeitos e materiais contaminantes, conforme a imagem a seguir.

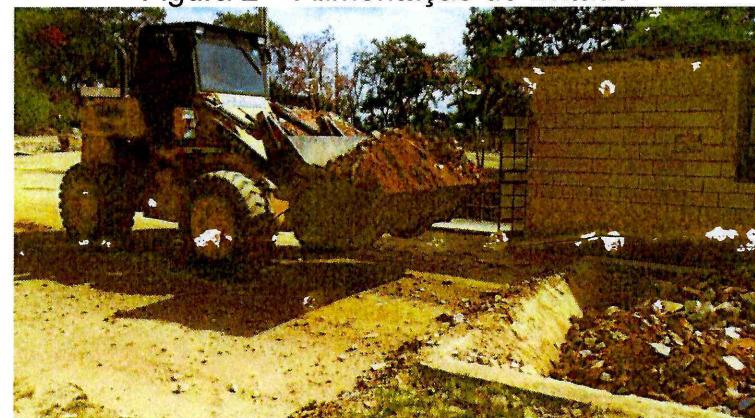
Figura 1 – Detalhe do Processo Triagem



Fonte: Autor (2017)

Logo em seguida a mesma pá carregadeira mecanizada transporta os RCC até a moega do britador de mandíbula.

Figura 2 – Alimentação do Britador



Fonte: Autor (2017)

Figura 3 – Detalhe do Britador de Mandíbula



Fonte: Autor (2017)

O Britador de Mandíbula faz a Trituração inicial gerando 50% de Bica Corrida e 50% Rachão. Cada um destes produtos segue por esteiras separadas. O rachão é depositado e normalmente é utilizado em obras de pavimentação, drenagem e terraplenagem, enquanto a bica corrida segue para o peneiramento mecanizado e rebritagem em Britador de Cone regulado para se obter maior proporção da granulometria desejada.

Figura 4 – Detalhe da Peneira e das Esteiras



Fonte: Autor (2017)

Os materiais processados na Usina têm três destinações principais. Uma parte é utilizada pela prefeitura em obras de infraestrutura e pavimentação. Outra parte é utilizada para confecção de artefatos, bloquetes e blocos. E por fim uma parte é vendida para a iniciativa privada.

Atualmente os preços praticados são os seguintes:

- Rachão e Bica Corrida (material britado comum) – R\$ 33,75 pelo m<sup>3</sup>.
- Material Peneirado (areia, brita 0 e brita 1) – R\$ 73,39 m<sup>3</sup>.

Figura 5 – Bica Corrida antes do peneiramento



Fonte: Autor (2017)

Figura 6 – Britador de Cone (rebritagem)



Fonte: Autor (2017)

## 2.2. Metodologia

### 2.2.1. Pesquisa Experimental

A presente pesquisa se desenvolveu através de uma pesquisa experimental com resultados para análise comparativa da resistência a flexão de corpos prismáticos, buscando respostas para alternativa de uso dos RCC na confecção de vergas e contravergas com armadura mínima.

Todos os trabalhos laboratoriais foram executados em consonância com as normas vigentes e pesquisas bibliográficas de diversos autores.

Para os testes foram moldados corpos de provas com diferentes percentuais de agregados miúdos.

### 2.2.2. Composição de Agregados dos Corpos de Provas

Os corpos de prova prismáticos (vigas) foram moldados no laboratório de materiais da Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu (FACIG), localizado no Campus Alfa Sul.

Foram moldados um total de 15 (quinze) corpos de prova prismáticos medindo 15x15x100cm cada um, com as denominações e composições de agregados miúdos descritas no quadro abaixo:

Tabela 2 – Denominação e composição percentual dos agregados miúdos

Denominação	Composição Natural	Composição RCC
C-Referência	100%	0%
C-RCC 25	75%	25%
C-RCC 50	50%	50%
C-RCC 75	25%	75%
C-RCC 100	0%	100%

Fonte: Autor (2017)

Para análise e comparação foram moldados 3 (três) corpos para cada composição acima, todos moldados na mesma data e com a mesma metodologia.

Todo o RCC (agregado miúdo) utilizado na mistura e moldagem foi coletado durante a visita a Usina da SLU em Belo Horizonte.

### 2.2.3. Fator água / cimento

Para possibilitar a trabalhabilidade dos corpos de prova foi mantido um mesmo padrão de consistência ao abatimento do concreto, os cálculos realizados para uma resistência de 25 MPa, traço 1:2:3, apontaram a quantidade de água necessária, mas em razão da existência de maior concentração de material pulverulento nos RCC, foi necessário alterar a quantidade de água a partir das composições de RCC de 75% e 100%, acrescentando 200 ml de água no momento da mistura a fim de manter a consistência e abatimento do concreto (slump test).

**Tabela 3 – Composição dos materiais usados e quantidade de água**

Quantidades de corpos prova	Denominação	Agregado miúdo natural (litros)	Agregado graúdo (brita 1) (litros)	Agregado miúdo RCC (litros)	Cimento CPIII (litros)	Qtde de água em litros
3	C-Referência	40	60	0	20	25
3	C-RCC 25	30	60	10	20	25
3	C-RCC 50	20	60	20	20	25
3	C-RCC 75	10	60	30	20	25,2
3	C-RCC 100	0	60	40	20	25,2

Fonte: Autor (2017)

### 2.2.4. Moldagem e Processo de Cura

Para os moldes foi utilizado compensado plastificado, por apresentar uma superfície lisa e impermeabilizada que contribui para retardar a perda de água do concreto e facilitar a desforma.

**Figura 7 – Detalhe da forma com os reforços laterais**



Fonte: Autor (2017)

Utilizamos uma armadura passiva mínima de aço CA-60 de 4.2 mm, para que o aço colaborasse o mínimo possível na resistência do concreto, permitindo uma comparação entre as diferentes proporções de RCC das misturas. Utilizamos

Figura 11 – Conjunto Prensa Hidráulica e Central Eletrônica-Digital



Fonte: <https://www.contenco.com.br/> (acesso em 25/1017)

O ensaio foi realizado considerando o Estado Limite Último (ELU) conforme preconiza a NBR 6118/14, que relaciona o ELU ao colapso, ou qualquer outra forma de ruína estrutural que determine a paralisação do uso da estrutura.

### 2.3. Resultados e Discussão

A tabela 2 apresenta os carregamentos aplicados nas vigas em dois momentos distintos, sendo um até o momento em que se iniciaram as primeiras fissuras e na mesma sequência de carregamento o outro até o seu rompimento. O ensaio aconteceu depois de transcorridos 28 dias da moldagem dos corpos de prova.

Tabela 4 – Resultados dos carregamentos

Denominação	Composição de RCC	*Ordem	**Força fissuração (kN)	***Força ruptura (kN)
C-Referência	0%	A	1,47	3,17
C-Referência	0%	B	1,32	3,04
C-Referência	0%	C	1,29	3,09
C-RCC 25	25%	A	1,41	3,42
C-RCC 25	25%	B	1,22	3,51
C-RCC 25	25%	C	1,38	3,45
C-RCC 50	50%	A	1,24	3,65
C-RCC 50	50%	B	<b>1,79</b>	3,48
C-RCC 50	50%	C	1,58	3,10
C-RCC 75	75%	A	<b>1,79</b>	<b>4,06</b>
C-RCC 75	75%	B	1,11	3,31
C-RCC 75	75%	C	1,27	3,27
C-RCC 100	100%	A	1,51	3,24
C-RCC 100	100%	B	1,54	<b>4,05</b>
C-RCC 100	100%	C	1,30	3,21

\* Ordem do ensaio com cada uma das três vigas de cada denominação/composição.

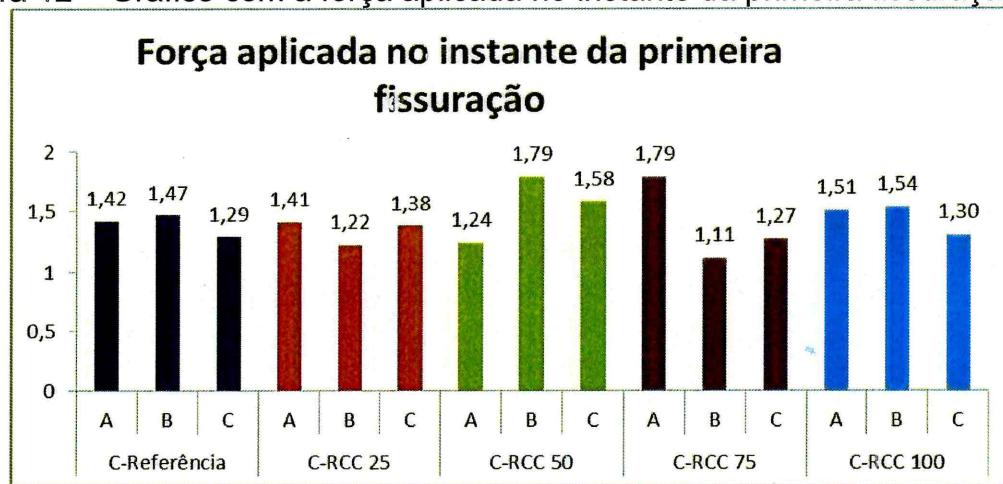
\*\* Força aplicada no momento que iniciou a primeira fissura.

\*\*\* Força aplicada no momento do colapso/ruína.

Fonte: Autor (2017)

Os picos máximos para o carregamento/força aplicada no momento da primeira fissura ocorreu para os seguintes corpos de provas: C-RCC 75 – A e C RCC 50 – B, ambos com 1,79 kN. Até este momento o concreto contribuía para tração.

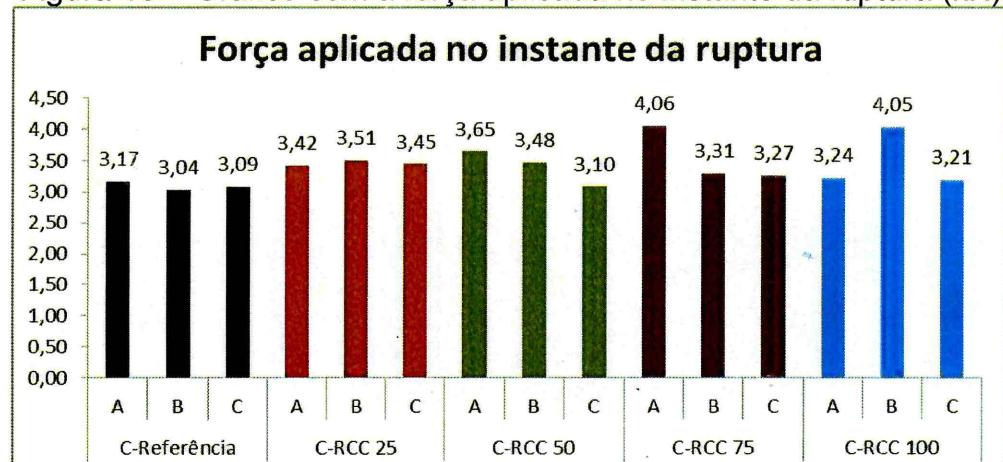
Figura 12 – Gráfico com a força aplicada no instante da primeira fissuração (kN)



Fonte: Autor (2017)

Para o carregamento/força aplicada no momento da ruptura, os picos máximos ocorreram para os seguintes corpos de provas: C-RCC 75 – A, com 4,06 kN, e C-RCC 100 – B, com 4,05 kN.

Figura 13 – Gráfico com a força aplicada no instante da ruptura (kN)



Fonte: Autor (2017)

A tabela 3 apresenta as médias dos carregamentos, para cada composição, aplicados nas vigas em dois momentos distintos, sendo um até o momento em que se iniciaram as primeiras fissuras e na mesma sequencia de carregamento o outro até o seu rompimento.

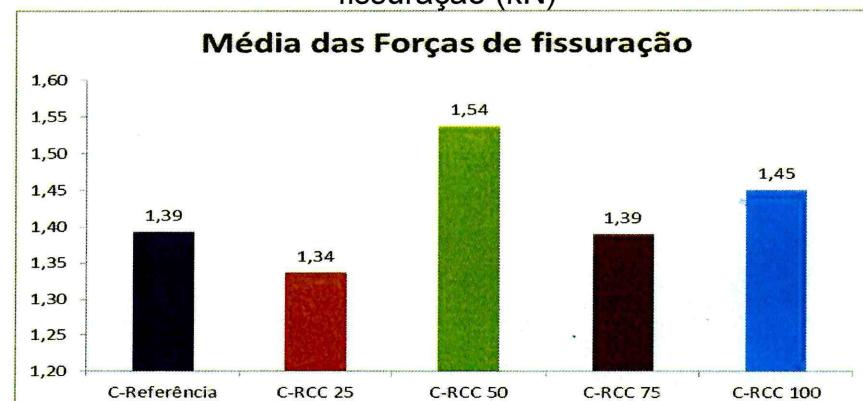
**Tabela 5 – Média dos carregamentos para cada composição**

Denominação	Força fissuração (kN)	Força ruptura (kN)
C-Referência	1,39	3,10
C-RCC 25	1,34	3,46
C-RCC 50	<b>1,54</b>	3,41
C-RCC 75	1,39	<b>3,55</b>
C-RCC 100	1,45	<b>3,50</b>

Fonte: Autor (2017)

Na média para o carregamento/força aplicada no momento da primeira fissuração, as denominações/composições que apresentaram os melhores resultados foram: C-RCC 50, com 1,54 kN, e C-RCC 100, com 1,45 kN.

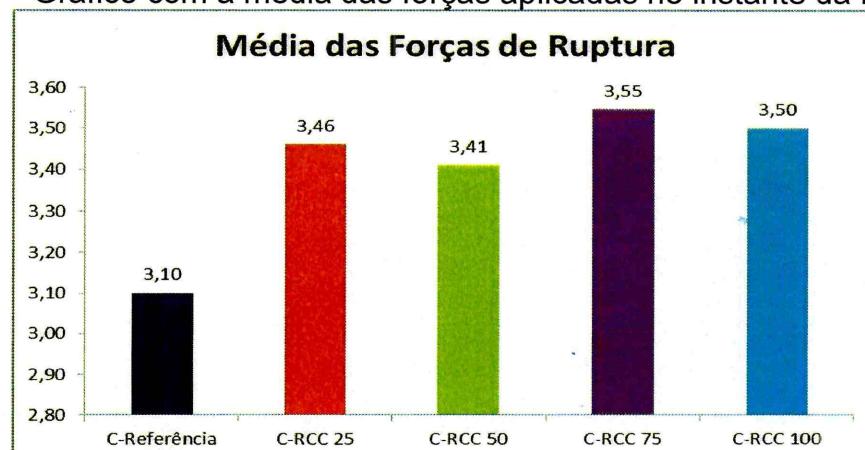
**Figura 14 – Gráfico com a média das forças aplicadas no instante da primeira fissuração (kN)**



Fonte: Autor (2017)

Para a média do carregamento/força aplicada no momento da ruptura, as denominações/composições que apresentaram os melhores resultados foram: C-RCC 75, com 3,55 kN, e C-RCC 100, com 3,50 kN.

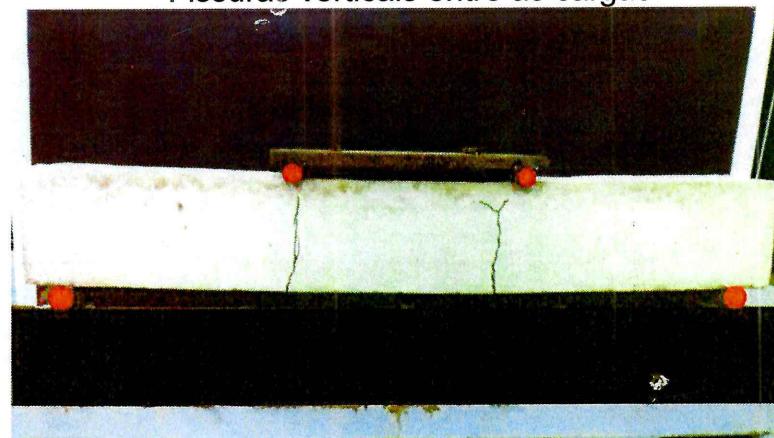
**Figura 15 – Gráfico com a média das forças aplicadas no instante da ruptura (kN)**



Fonte: Autor (2017)

Todas as vigas se romperam pelo escoamento da armadura de aço e apresentaram fissuração na região de flexão pura entre os dois pontos centrais de aplicação de carga.

Figura 16 – Configuração de ruptura do Corpo de prova C-RCC 50 B após o ensaio  
– Fissuras verticais entre as cargas



Fonte: Autor (2017)

Estes resultados apontam que a metodologia utilizada com emprego de uma armadura passiva mínima de maneira que o aço colaborasse o mínimo possível na resistência do concreto, possibilitando a comparação dos diferentes percentuais de RCC, atendeu ao esperado confirmando as hipóteses e assegurando os propósitos a que foi desenvolvida.

Os resultados obtidos através desta pesquisa experimental permitem uma análise comparativa da resistência à flexão de corpos prismáticos, e demonstra o bom desempenho do concreto produzido com agregados finos reciclados, oriundos de RCC, inclusive com resistência à flexão superior para algumas composições de RCC na comparação ao concreto convencional, evidenciando que estes materiais podem ser utilizados na confecção de artefatos no próprio canteiro de obras, como alternativa ao uso de recursos naturais.

Segundo SINDUSCON-SP (2015) a confecção de vergas e contra-vergas tem potencial para consumir cerca de 3% da massa de todo o resíduo cimentício e cerâmico gerado na obra.

Para Lima (1999) a análise à flexão é menos explorada nas pesquisas experimentais que geralmente são realizadas apenas para ensaios à compressão do concreto produzido a partir dos RCC, sendo necessário estudar as propriedades dos RCC para estabelecer parâmetros de qualidade, economia e ampliação dos seus possíveis empregos na construção civil.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de pesquisa confirma experimentalmente a possibilidade de uso dos agregados finos oriundos de RCC como matéria prima principal na produção de concretos reciclados para confecção de artefatos prismáticos, com armadura passiva, submetidos à flexão.

Na ausência de norma específica para seu emprego em elementos estruturais recomenda-se apenas o seu uso em elementos com menor responsabilidade estrutural, entre estes as vergas e contravergas.

Não obstante as pesquisas apontaram a possibilidade do controle tecnológico para o uso dos RCC em elementos estruturais, mas esse uso demandaria mais pesquisas e normatização. Para isso um dos desafios seria a definição de parâmetros para segregação, métodos de ensaio, procedimentos e beneficiamento dos RCC Classe A, (LIMA, 1999).

Para Clímaco (2008) as normas técnicas visam garantir a qualidade na fabricação de um produto, processo de produção e tecnologia, relacionados principalmente a aspectos de segurança, funcionalidade, manutenção e preservação do meio ambiente.

Alguns países, como Alemanha e Japão, se destacam no cenário mundial como referências em normatização, tendo ingressados entre as grandes potências industriais a partir da II Guerra Mundial, quando passaram a utilizar a tecnologia como força motriz e as normas técnicas como lastro deste desenvolvimento. Esses exemplos reforçam a importância da normatização para o setor da construção civil no Brasil, (BAUER, 2007).

Considerando o potencial da indústria da construção civil na geração de resíduos sólidos, bem como a necessidade do setor em se adequar as regras para gestão de resíduos a fim de causar menor impacto ambiental resultante do processo construtivo e consumo de recursos naturais, a reciclagem dos RCC, através do seu emprego na moldagem de novos concretos, é sem dúvida a forma mais eficiente e econômica para redução do lançamento destes resíduos em aterros de inertes ou mesmo deposições irregulares, contribuindo para o tão almejado desenvolvimento sustentável, contribuindo para garantir para as gerações presentes e futuras um meio ambiente ecologicamente equilibrado essencial à sadia qualidade de vida, conforme previsto no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, (BRASIL, 1988).

Os resultados obtidos nos ensaios realizados nesta pesquisa experimental apontaram que o uso de agregados miúdos oriundos de RCC na moldagem dos concretos nas composições com 50% e 75% de RCC, na fissuração do concreto e ruptura pelo escoamento do aço, respectivamente, apresentaram resultados melhores que a composição de referência com agregado miúdo natural, evidenciando que os agregados miúdos oriundos de RCC apresentam boa resistência à flexão, bem como sua granulometria colabora na solidarização do concreto com o aço.

Como sugestões para novas pesquisas apresentamos a necessidade de realizar ensaios com um maior número de corpos de provas a fim de possibilitar maior confiabilidade aos resultados, elaborar concreto com outras composições de agregados finos e graúdos oriundos de RCC, e aprofundar estudos específicos na composição dos RCC de acordo com a sua segregação e contaminação por outros materiais com maior percentual de cerâmicos, argamassas e gesso.

#### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738:** Moldagem e cura de corpos de prova cilíndrico ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

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

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

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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.

**ÂNGULO, S. C.; JONH, V. M. Normalização dos Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados para Concretos e a Variabilidade.** In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Fox do Iguaçu. Anais... Paraná: ENTAC, 2002. p. 1613-1624.

**BAUER, R. J. F. Patologias em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.** Revista Prisma - CADerno TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL - Página 33 a 38. São Paulo – 13ª Edição: 2007.

**BLUMENSCHINE, R. N. Manual técnico: Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras.** Brasília: SEBRAE/DF, 2007.

**BRASIL.** Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao\\_compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao_compilado.htm)>. Acesso em 04/11/2017.

**BRASIL.** Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1988, e dá outras providências. Centro de Documentação e Informação – Edições Câmara dos Deputados, 73 p. Brasília, DF: 2012.

**BRASIL.** Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº. 01, de 23 de janeiro de 1986, que dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasil, 1986. Disponível em: < [http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_1986\\_001.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf)>. Acesso em: 10/09/2017.

**BRASIL.** Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº. 307, de 02 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasil, 2002. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 01/09/2017.

**CLIMACO, J. C. T. S. Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação.** 2ª Edição Revisada. Brasília: UNB, 2008.

**LIMA, J. A. R. Proposição de Diretrizes para Produção e Normalização de Resíduo de Construção Reciclado e de suas Aplicações em Argamassas e Concretos.** 1999. 222 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 1999.

MAIA, A. L. et al. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil – PGIRCC.** Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009. 44 p.

MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa.** Versão em formato digital, Editora Melhoramentos, 2017. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/entulho/>>. Acesso em: 13/09/2017.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

PINHEIRO, M. D. **Construção Sustentável – Mito ou Realidade?** In: VII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DO AMBIENTE. Universidade de Lisboa, 6 e 7 de novembro de 2003. Lisboa: PORTUGAL, 2003. Disponível em: <[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571242058/PaperAPEA\\_ConstrucaoSustentavel.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571242058/PaperAPEA_ConstrucaoSustentavel.pdf)>. Acesso em 05/09/2017.

PINTO, T. P. **Metologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana.** 1999, 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SINDUSCON-SP. Sindicato da Construção do Estado de São Paulo. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil – Avanços Institucionais e Melhorias Técnicas.** São Paulo, 2015.

VIEIRA, G. L. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre: Ambiente Construído. V. 4, n. 4, p. 47-63, out/dez. 2004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/238088382\\_Viabilidade\\_tecnica\\_da\\_utilizacao\\_de\\_concretos\\_com\\_agregados\\_reciclados\\_de\\_residuos\\_de\\_construcao\\_e\\_demolicao](https://www.researchgate.net/publication/238088382_Viabilidade_tecnica_da_utilizacao_de_concretos_com_agregados_reciclados_de_residuos_de_construcao_e_demolicao)>. Acesso em: 08/09/2017.