FUNDAÇAO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

JÚLIO CESAR SALLES CUNHA

TRAÇOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE ENTULHO

VOLTA REDONDA
2015

FUNDAÇAO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

TRAÇOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE ENTULHO

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior, na área de concentração de processamentos e caracterização de materiais, linha de pesquisa de materiais compósitos e reciclados.

Aluno:
Júlio Cesar Salles Cunha

Orientador:
Prof. Dr.Horácio Guimaraes Delgado Junior

VOLTA REDONDA
2015

FICHA CATALOGRÁFICA
Bibliotecária:Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

C972tCunha, Júlio Cesar Salles.
Traços de concreto sem função estrutural com adição de entulho./Júlio Cesar Salles Cunha. - Volta Redonda: UniFOA, 2015.

61p. : Il

Orientador(a): Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2015

1. Concreto - dissertação. 2.Entulhos. 3. Artefatos de concreto. 4. Reciclagem. I. Delgado Júnior, Horácio Guimarães. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD620.136

FOLHA DE APROVAÇÃO

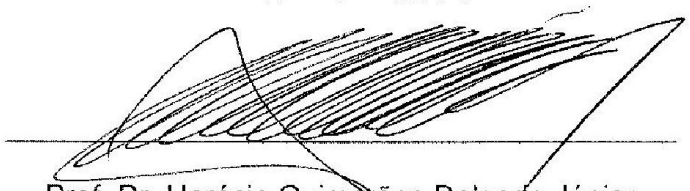
Aluno: Júlio César Salles Cunha

TRAÇOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE ENTULHO

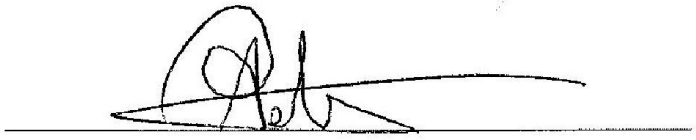
Orientador:

Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior

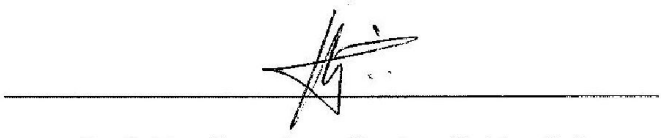
Banca Examinadora



Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior



Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira



Prof. Dr. Francisco Santos Sabbadini

Dedico este trabalho a Deus e a minha família que muito me apoiou e me Incentivou a realizá-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado condições de lutar e alcançar os objetivos pretendidos. Não nasci rico, mas isso não me impediu de ver riquezas na capacidade de transformar vida em presente e conquistas e ao meu orientador Horácio.

CUNHA, J. C. S., **TRAÇOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE ENTULHO**. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

RESUMO

A indústria da construção civil gera por ano cerca de 50% de todo resíduo sólido produzido na sociedade. Esse fenômeno, que vem causando a degradação do meio-ambiente, é gerado pelos resíduos de construção civil que provocam o esgotamento de áreas sadias e a poluição dos cursos d'água. Contudo todo resíduo ao ser descartado deve atender a uma série de resoluções, decretos, leis e portarias, que estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão do mesmo. Desse modo, este estudo buscou analisar o comportamento dos traços de concreto sem função estrutural confeccionados com resíduos de concreto de calçada obtidos mediante demolição. Destaca-se que esse resíduo têm características bastante peculiares, pois está condicionado a parâmetros específicos da região geradora do resíduo analisado. O processo constituiu na confecção de artefatos de concreto (corpos-de-prova) para obtenção das respectivas resistências à compressão simples e compressão axial. Os ensaios foram realizados aos 7, 14, 21 e 28 dias de cura, sendo feita as substituições de agregados naturais (brita 1) por entulhos, cujas misturas foram nas proporções de, 15%, 30% e 100%. Em geral, os resultados foram aceitáveis pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. O resultado de validação obtido pelo modelo foi de 30% de adição de entulho (restos de calçada) determinado pela compressão diametral, sendo satisfatórios. Os resultados mostraram a viabilidade de confeccionar artefatos de concreto reciclando entulhos da construção civil.

Palavras-chave: Entulhos, artefatos de concreto, reciclagem.

CUNHA, J. C. S., **TRAÇOS DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE ENTULHO**. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

ABSTRACT

The construction industry generates annually about 50% of all solid waste generated according to the IBGE, this study analyzes the behavior of concrete mixtures without structural function made of these residues these spoils are demolition and has a very peculiar characteristic, Thus, the average characterization of this waste is subject to specific parameters of the analyzed region spanning residues. The degradation of the generated by building waste may occur by the depletion of healthy areas and pollution of water courses, but must meet a series of resolutions, decrees, laws and ordinances, as the Resolution CONAMA 307, the Status of Cities and the Federal Law 9605 (environmental crimes) that establish guidelines, criteria and procedures for the management of their waste. The process consisted in making concrete artifacts (specimens) were used to obtain resistance to compressive and axial compression. Assays were carried out at 7, 14, 21 and 28 days of curing, the substitutions being made of natural aggregates (crushed 1) by debris, which were mixed in the proportions of 15%, 30% and 100%. In general, the results were acceptable by the standards of the Brazilian Association of Technical Standards - ABNT. The validation results obtained by the model were very satisfactory. The results showed the feasibility of making concrete artifacts recycling construction debris.

Keywords: Debris, concrete artifacts, recycling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

2.1 Considerações Iniciais 16

2.2 Entulho 20

2.3 Concreto 27

2.3.1 Agregado 29

2.3.1.1 A estrutura da fase agregado 34

2.3.1.2 A estrutura da argamassa endurecida 35

2.3.1.3 Propriedades mecânicas do concreto reciclado – Resistência à compressão 37

2.3.1.4 Propriedades mecânicas do concreto reciclado – Resistência à tração 37

3 DESENVOLVIMENTO 39

3.1 Seleção e classificação de materiais 39

3.1.1 Cimento 39

3.1.2 Agregado graúdo (brita) 39

3.1.3 Agregado alternativo (entulho) 40

3.1.4 Agregado miúdo (areia) 40

3.1.5 Água 41

3.2 Moldagem e Cura 41

3.3 Procedimentos de ensaios 42

3.3.1 Compressão 42

3.3.2 Compressão diametral 43

3.3.3 Microscopia: análise da microestrutura do concreto com agregado reciclado 45

3.4 RESULTADOS 48

4 CONCLUSÃO 53

5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO PARA A ÁREA DE ENSINO 54

6 REFERENCIAS 55

LISTA DE QUADROS

Quadro1 – Classes de resíduos da construção civil, segundo resolução CONAMA n° 307/2002 21
Quadro 2 – Tipos de resíduos, materiais e classes gerados na construção civil 22
Quadro 3 – Tipos de resíduos por fase de obra 23
Quadro 4 – Tipos de Cimentos 28
Quadro 5 – Tipos de Concretos 30
Quadro 6 – Sugestões de Uso para Concretos de Agregados Reciclados 31
Quadro 7 – Sugestões de Uso para Tipos de Concreto Reciclado Definido pelo RILEM TC 121-DRG 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidades de recebimento de pequenos volumes em Belo Horizonte 14
Tabela 2 – Participação do entulho na massa de resíduos sólidos recebido diariamente pela empresa de limpeza urbana de Belo Horizonte 18
Tabela 3 – Composição Média do Entulho em Obras no Brasil 24
Tabela 4 – Especificações para o agregado graúdo reciclado para produção de concreto 32
Tabela 5 – Fatores de avaliação das propriedades do concreto com agregado reciclado 34
Tabela 6 – Proporções de Adição de Entulho em Relação à Brita Um 41
Tabela 7 – Resultado de Compressão Simples aos Sete Dias 47
Tabela 8 – Resultado de Compressão Simples aos Quatorze Dias 49
Tabela 9 – Resultado de Compressão Simples aos Vinte e um Dias 50
Tabela 10 – Resultado de Compressão Simples aos Vinte e oito Dias 51
Tabela 11 – Resultado de Compressão Diametral aos Vinte e oito Dias 52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Máquina de ensaio Emic prensa hidráulica modelo PC100C, capacidade máxima 100 tf (100.000kgf).....43
Figura 2 – Corpos-de-prova 100 mm x 200 mm retirados da imersão (a – b). Corpos-de-prova posicionado na máquina de ensaio após rompimento (c - d).....43
Figura 3 – Ensaio de compressão diametral (a) e (c) carga máxima obtida no ensaio (b) corpo-de-prova posicionado na máquina de ensaio após rompimento (d) corpo-de-prova posicionado após rompimento 45
Figura 4 – Vista geral da interfase pasta/agregado ampliado 18x.....47
Figura 5 – Imagens do concreto com: (a) amplitude 25x; (b) amplitude 40x; (c) amplitude 60x; (d) amplitude 100x; (e) amplitude 200x; (f) amplitude 250x; (g) amplitude 500x; (h) amplitude 1000x 47

1. INTRODUÇÃO

O campo da construção civil, em contraposição à sua evolução no setor econômico brasileiro, tem sofrido muitas críticas em relação aos desperdícios e perdas de materiais que são utilizados em seus processos. Esses resíduos afetam diretamente a qualidade de vida da população e, consequentemente, a capacidade de produção brasileira. Este assunto, que está articulado aos princípios de sustentabilidade e responsabilidade social da empresa, atualmente está em voga, incitando a criação de estratégias de erradicação dos desperdícios desses materiais.

Um dos fatores que incidiu sobre os índices desse desperdício está associado ao déficit habitacional, que facilitou o escoamento das vendas para uma demanda reprimida, independente da qualidade do produto e de seu custo. Em decorrência, há que se considerar que muitas são as fontes de geração de resíduos na construção civil. Como exemplo real pode-se citar: a falta de qualidade dos bens e serviços que têm originado volumes de entulhos; as perdas que ficam nas edificações, que são capazes de conduzir a um mau funcionamento e provocar redução da vida útil das estruturas, que necessitarão de manutenção mais constante. Esses fatos proporcionam um maior consumo de matéria prima e geração de mais resíduos.

Outro fator que traz implicações diretas para a geração de resíduos de construção está relacionado ao grau de crescimento sociocultural e econômico dos centros urbanos. Esse fenômeno, de acordo com Cruz (2002 apud VAZ FILHO; CORDEIRO 2000, p. 63-67), causou uma urbanização descontrolada na maior parte das cidades, com um aumento muito rápido da população em áreas restritas. Tal crescimento desordenado, além da alavancar o surgimento de novas concepções arquitetônicas e novos materiais para o uso na construção civil, faz com que, frequentemente, as construções passem por adaptações e modificações, gerando, desde modo, mais resíduos.

Assim sendo, pode-se inferir que o crescimento econômico ocasiona, também, o crescimento do setor de construção, o que acarreta um aumento na demanda de matéria prima e energia, que por ingerência dos processos produtivos pode aumentar também a geração de resíduos.

Carneiro et al. (2000) ratifica este posicionamento quando apresenta que a partir do início de Século XX, ocorreu um incremento populacional de 15% para 50% que impactou no crescimento da necessidade do consumo e produção de bens por parte dos centros urbanos e, consequentemente, promoveu um déficit habitacional, que propulsionou a construção de novas habitações e intensificou a extração de recursos e a geração de resíduos.

Diante do exposto, o propósito deste estudo emerge da constatação da existência de deficiência no descarte de refugos da construção civil, que representa um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas. Assim sendo, o produto que deriva deste estudo situa-se na possibilidade de criar uma alternativa para minimizar e até mesmo erradicar a geração de resíduos deste referido setor por meio da reutilização dos entulhos de obra para produção de traços de concretos sem função estrutural. Tal produto será gerado por meio da composição de mistura de entulhos adicionado ao concreto e estará em conformidade com as exigências das normas brasileiras, ABNT e NBR, pertinente à compressão simples e compressão axial, bem como com as leis ambientais brasileiras.

Destaca-se que no Brasil, as iniciativas para a reciclagem deste tipo de resíduo teve inicio na década de 1990. Pinto (1993) evidencia que a primeira usina de reciclagem de entulho foi inaugurada em novembro de 1991, em Itatinga, sul de São Paulo. A instalação dessa usina custou mais de 1 milhão de dólares e devido a problemas de localização – era distante da região central – foi desativada. O autor enfatiza que o principal motivo para o insucesso deste empreendimento foi a falta de planejamento na implantação da usina, pois o deslocamento dificultava o transporte dos entulhos.

Entretanto, há exemplos que foram bem sucedidos em relação a esse tipo de atividade. Nesse sentido, vale mencionar o que vem ocorrendo na cidade de Belo Horizonte, que desde 1993 desenvolve um plano de gestão denominado Programa de Correção Ambiental e Reciclagem dos Resíduos de Construção, coordenado pelo Arquiteto Tarcísio de Paula Pinto. Esse plano faz parte de um conjunto maior de ações que constitui o Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte desenvolvido em 1993 pela equipe técnica da Superintendência de Limpeza Urbana

(SLU). O plano foi premiado pela Fundação Ford e Fundação Getúlio Vargas, em 1996, como a melhor experiência de gestão municipal brasileira. Ressalta-se que em Belo Horizonte, naquele período, cerca de 50% dos resíduos coletados diariamente era proveniente de entulhos da Construção Civil. A tabela 1 apresenta algumas informações básicas que constam em relatórios internos da Superintendência de Limpeza Urbana - SLU referentes às coletas das Unidades de Recebimento implantadas em Belo Horizonte/MG.

Tabela 1- Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes em Belo Horizonte

Unidade de Recebimento (1)	Barão 300	Barragem Santa Lúcia	Saramenha	Andradas	Total
Volume médio mensal recebido (m³)	240	30	210	329	809
Médias de viagens mensais recebidas (unid.)	596	77	648	528	1849
Carroceiros nucleados	66	13	72	116	267

Fonte: (PINTO, 1999, p.147)

Esses entulhos podem substituir uma parte dos materiais utilizados para a produção de concretos, denominados de agregados para concretos. Esses agregados, que são misturados ao cimento e à água objetivando otimizar o custo da concretagem, também implicam diretamente nas características do concreto, como a retração, a resistência, a densidade etc. Portanto, os agregados possibilitam adequar o concreto às necessidades da moldagem da peça estrutural. Os agregados podem ser classificados em miúdos ou graúdos, de acordo como o tamanho do grão, e em naturais ou artificiais. Os naturais são aqueles extraídos do leito dos rios ou de ribanceiras. Enquanto os artificiais derivam dos processos de britamento de rochas. (LATTERZA; MACHADO JR, 2003; LEVY, 1997)

No caso específico de agregados graúdos naturais, estudos como o de Levy (1997) revelam que a substituição de até 30% por agregados provenientes de reciclados de resíduo de construção não altera significativamente as propriedades dos concretos produzidos, sendo esta, então, a forma mais simples e econômica de utilizar estes agregados.

Com o intuito de complementar este estudo, vale destacar que as diferenças

entre as propriedades dos concretos reciclados e convencionais dependem, entre outras variáveis, do teor de agregado natural substituído, das características dos agregados reciclados utilizados, da quantidade de contaminantes presentes no agregado e da quantidade de finos incorporada (BANTHIA; CHAN, 2000).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações Iniciais

A construção civil é caracterizada como uma grande geradora de resíduos e estes geralmente são produzidos em decorrência de excessiva quantidade de perdas e desperdícios.

Skoyles (1976 apud CRUZ, 2002, p. 30) ao avaliar a incidência e natureza das perdas a partir de canteiro de obras, as classifica em diretas e indiretas.

> Perdas diretas são definidas como aquelas perdas onde os materiais são destruídos, ou danificados, e não podem ser utilizados no processo de construção, exceto pela sua reciclagem ou através do emprego em usos pouco nobres. Perdas indiretas são aquelas que os insumos ficam incorporados à construção, acarretando um acréscimo de custo. O autor ainda subdivide as perdas indiretas em perdas por substituição, perdas por produção e perdas por negligência. (SKOYLES apud CRUZ, 2002, p. 30)

Considerando as etapas do processo construtivo, podem-se categorizar essas perdas em três momentos ou grupos: no primeiro grupo são categorizadas as perdas decorrentes da fase referente ao transporte externo, ao recebimento, à estocagem e ao transporte interno; as perdas do segundo grupo são aquelas derivadas da fase da produção; e as do terceiro grupo envolvem todas as perdas que podem ocorrer em qualquer etapa do processo, como roubo, vandalismo, extravio, acidente, substituição entre outros. (CRUZ, 2002).

O autor supracitado, ainda acrescenta que as perdas também se classificam conforme sua origem.

> As perdas podem ser classificadas segundo a etapa onde se originam perdas originárias no projeto; perdas originárias na fabricação e fornecimento de materiais; perdas originárias na elaboração de orçamento; perdas originárias na administração da empresa; perdas originárias no setor de compras; perdas originárias no gerenciamento do empreendimento (CRUZ, 2002, p.18).

Souza (2005), por sua vez, reforça que termos como desperdício, excesso de consumo de materiais, recursos naturais não renováveis e entulho passaram a serem usados nas últimas décadas do Século XX, e ganharam mais potência a partir

da década de 1990, com a implantação de sistema da gestão da qualidade, de pessoal e ambiental. Esse fato repercutiu sobre a produção industrial advindo da construção civil associando-a a ineficiência e desperdício.

> A quantidade total de materiais necessários para executar 1m² de construção seria em torno de 1.000kg. Quando se compara à construção civil com a indústria automobilística não se tem uma ideia a respeito das diferenças. Foi comentado que 1m2 de área construída gera uma tonelada. Como um carro pesa em média uma tonelada, então fica a impressão de estarmos falando de quantidades similares de materiais consumidos. Entretanto, a quantidade de metros quadrados equivalentes produzidos pela indústria da construção civil é bastante superior ao número de veículos novos disponibilizados a cada ano. Comenta-se na relação 100 e 200 para 1. Desta forma, pode-se citar que apenas um por cento da construção civil já bastaria para equivaler, em consumo de materiais, a indústria automobilística. (SOUZA, 2005, p.13).

Nesse sentido, a partir da Resolução nº 307/02, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que dispôs sobre a proibição de descarte de resíduos de construção e demolição nos aterros sanitários, as prefeituras passaram a vivenciar um grande desafio: que fim dar a este tipo de material. Desse modo, cada município tem a responsabilidade de elaborar um plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil, que constituem, principalmente, por materiais formados por argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, plásticos, tijolos e tintas.

Diante das contribuições teóricas elencadas neste estudo até o presente momento, pode-se inferir que as obras da construção civil são geradoras em potencial de resíduos e que a finalidade dada a este tipo de descarte é preocupação constante de gestores governamentais. Em decorrência, outro fator de inferência é que, no processo construtivo, existe alto índice de desperdício do material utilizado e também o não reaproveitamento dos resíduos.

Esse fator se confirma quando Koskela (1992 apud NOVAES; MOURÃO, 2008, p. 1) argumenta que a construção civil há muitos anos, desenvolve suas atividades com base em um modelo de administração de produção que prioriza atividades de conversão, as quais representam ações de processamento ou modificação na forma ou substância de um material. Esse modelo, segundo o autor, não dá importância às demais atividades envolvidas na realização de processo de

produção da indústria civil, como inspeção, transporte e estoques.

Desse modo, pode-se considerar que uma das maiores causas de perdas na produtividade em canteiros de obra são as dificuldades temporais e espaciais, estas situações são evitáveis e gerenciáveis se identificadas a tempo. As ferramentas de gerenciamento de um empreendimento, porém, na sua maioria, não consideram as necessidades de alocação de espaços (NOVAES; MOURÃO, 2008).

> Sabe-se que nem toda perda se transforma em resíduo a ser aproveitado, uma vez que parte deste fica na obra. Não só em uma obra que se inicia, mas, numa reforma nota-se uma falta enorme em reutilizar o material, muitas vezes pelo desconhecimento do potencial do material, outras vezes por descaso.
> Nas obras de demolição, observa-se que o resíduo produzido não depende diretamente dos processos empregados, na qualidade do serviço, mas ainda assim faz parte do processo de demolição. A tecnologia indiretamente e os processos utilizados na demolição também podem influenciar na qualidade do resíduo gerado, ou seja, alguns sistemas podem produzir um resíduo com um potencial maior para reciclagem do que outro, em razão da mistura a contaminação com outros materiais não favorece sua reutilização (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.32).

Novaes e Mourão (2008) indicam que os resíduos resultantes da indústria civil, no que tange à construção, manutenção e demolição de prédios e residências representam cerca de 40% a 60% do montante geral da massa de resíduo sólido urbano das grandes cidades. Para comprovar toda essa implicação, os autores apresentam, conforme registro da tabela 2, os percentuais referentes ao período de coleta de entulho no decorrer de 5 anos (2000-2004) na cidade de Belo Horizonte.

Tabela 2 - Participação do Entulho na Massa de Resíduos Sólidos Recebido Diariamente pela Empresa de Limpeza Urbana de Belo Horizonte (Ton./dia).

TIPO/ANO	2000	2001	2002	2003	2004
Resíduos sólidos urbanos	4.554,00	4.009,00	4.337,00	4.919,00	4.255,00
Resíduos da construção civil	2.325,00	1.676,00	1.829,00	1.532,00	1.795,00
Participação do RCC em %	51,00	41,00	42,20	33,00	42,20

Fonte: (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.32).

Constata-se, por meio dos dados apresentados por Novaes e Mourão (2008), que não há reaproveitamento de grande parte dos resíduos sólidos da construção

civil. Entretanto, após a publicação da Resolução nº 307/02, que dispõe sobre a obrigação municipal de implantação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para gerenciar, de forma sustentável o descarte destes tipos de resíduos, processos que compreendem a reutilização, a reciclagem e o reaproveitamento desses materiais têm sido valorizados.

Novaes e Mourão (2008) denunciam sobre práticas ilícitas que estão na contramão dessa consciência sustentável e que visam preservar a natureza:

> Em muitos municípios, os resíduos ainda são destinados em bota-foras ilegais, nas margens de riachos ou em terrenos baldios. O destino incorreto implica no entupimento de esgotos e de bueiros. Isto provoca enchentes e à degradação dos grandes centros urbanos.
> Os bota-foras ilegais são lugares propícios para ratos, e insetos transmissores de doenças, como a dengue (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.33).

Assim, pode-se afirmar, que as atividades que estão em dissonância com a Resolução nº 307/02 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) são práticas que não atendem as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, e, portanto, impactam negativamente nos âmbitos socioeconômico e ambiental de toda a população brasileira.

Ratificando sobre a necessidade de desenvolvimento de consciência sustentável, ainda no campo das políticas públicas, pode-se citar a Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004, também do CONAMA, que promove alteração no Artigo 3º, item IV, da Resolução nº 307/02, que alerta sobre o risco do amianto e avigora sobre a destinação final de resíduos da construção civil.

No entanto, somente em 2010 é aprovada no Brasil a carta legal denominada de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), mediante a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que, em síntese, dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Brasileiro e Matos (2015) destacam que este documento norteia sobre o princípio de responsabilidade compartilhada, pois a maioria dos problemas ambientais vem seguida de questões sociais e econômicas, que acabam por

impactar grande parte da sociedade, ou seja, o problema ambiental é compartilhado.

> Desta forma, todos os agentes envolvidos na fabricação, distribuição, venda e consumo são responsáveis pelos seus resíduos. A Lei estabelece também o fechamento dos conhecidos “lixões” (local em que o lixo é depositado sem tratamento ou separação) até o ano de 2014. Para os aterros sanitários somente serão destinados os rejeitos, material este composto quase na sua totalidade por matéria orgânica. Desta forma, a palavra do momento é RECICLAR. Se houver uma efetiva fiscalização da lei e o fechamento dos “lixões”, o tratamento e a reciclagem de resíduos sólidos como papel, plásticos, metal e inclusive, dos resíduos sólidos da construção e demolição, poderá ter alta nos lucros (BRASILEIRO; MATOS, 2015, p. 183)

Destarte, objetivando atender a legislação vigente, verifica-se a necessidade de promover alterações culturais e ampla conscientização sobre práticas menos agressivas ao meio ambiente e que, consequentemente, conduzam ao desenvolvimento sustentável, mas que também se mostrem viáveis economicamente.

Desse modo, a atenção da sociedade vem se voltando para o surgimento de novos produtos e a necessidade de se buscar soluções para reutilização dos resíduos sólidos da construção civil. Portanto, busca-se novas tecnologias e novos materiais que possam substituir ou diminuir a exploração de recursos já escassos, assim como a preservação e controle do meio ambiente, no que se refere à exploração de novas jazidas desses materiais e como tratar o entulho proveniente de construções, reformas, reparos e demolições da construção civil.

É nesse bojo, que o presente estudo se enquadra, pois se pretende proceder à reciclagem e reutilização desse entulho para a confecção de vários traços de concreto sem função estrutural para posterior utilização em artefatos de concreto e piso.

2.2 Entulho

Conforme designado no Artigo 2º da Resolução nº 307/02, item I, entulhos de obras, caliça ou metralha são denominações comuns para os Resíduos da Construção Civil (RCC) são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e de infraestrutura, 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 e outros.

Já o item IV, a legislação supracitada, denomina como agregado reciclado o material granular proveniente de beneficiamento de Resíduo da Construção Civil que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia. Esses resíduos são de natureza mineral, tais como concreto, argamassa, produtos cerâmicos e outros, e são designados como classe A, ou seja, que apresentam características técnicas adequadas para aplicação em obras de edificação ou infraestrutura conforme especificações da Norma Brasileira Registrada, NBR 15.116/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Os resíduos da construção civil são classificados, de acordo com as diretrizes da Resolução nº 307/02 em agrupamentos distintos - denominados de A, B, C e D – conforme especificação do quadro 1.

Quadro 1- Classes de Resíduos da Construção Civil Segundo Resolução CONAMA n° 307/2002.

A	São os resíduos reutilizáveis como agregados, tais como de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações – componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc) produzido nos canteiros de obras;
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel / papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem / recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros; incluem-se ainda restos de peças que contenham amianto, tais como telhas e caixas de água.

Fonte: (BRASIL, 2002, p.33-34)

Segundo Novaes e Mourão (2008), todos esses resíduos, dos grupos A, B, C, e D, são gerados pelo setor de atividades de processos construtivos, que estabelece como prioridade a racionalização dos fluxos físicos sob o ponto de vista econômico.

Entretanto, geralmente, não se tem um cuidado maior sob o ponto de vista ecológico.

Mais especificadamente, expõem-se no quadro 2 sobre os principais resíduos gerados na Construção Civil.

Quadro 2- Tipos de Resíduos, Materiais e Classes Gerados na Construção Civil.

ITEM	RESÍDUO	MATERIAL	CLASSE
01	Argamassa	Entulho	A
02	Demolição de alvenarias	Entulho	A
03	Pisos cerâmicos	Entulho	A
04	Concreto	Entulho	A
05	Piso de granito	Entulho	A
06	Solo	Entulho	A
07	Tijolos quebrados	Entulho	A
08	Folhas de Madeirit	Madeira	B
09	Forramento	Madeira	B
10	Linhas, caibros e ripas da coberta	Madeira	B
11	Tabua de forma	Madeira	B
12	Aparas de perfis de aço	Metal	B
13	Embalagens de tintas, solventes	Metal	B
14	Sobras de fiação	Metal	B
15	Embalagens de papel / papelão	Papel	B
16	Sobras de perfis de alumínio	Metal	B
17	Aparas de eletroduto	Plástico	B
18	Aparas de tubos de PVC	Plástico	B
19	Embalagens de água e refrigerantes	Plástico	B
20	Material de limpeza	Plástico	B
21	Embalagens de vidro	Vidro	B
22	Placas de gesso	Gesso	C
23	Telhas de amianto	Amianto	D
24	Tintas e solventes	Produto químico	D
25	Restos de comida	Matéria orgânica	Orgânico
26	Papéis usados	Papel	B

Fonte: (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.34).

Destaca-se, no entanto, que a composição e a quantidade produzida de resíduos estão vinculadas ao grau de desenvolvimento da indústria da construção civil de cada estado ou município, fase da obra, técnicas construtivas e mão-de-obra qualificada. Assim sendo, o impacto causado no meio-ambiente também está diretamente vinculado ao desenvolvimento deste setor industrial nos diferentes municípios brasileiros. Inclusive, do ponto de vista industrial, a maior extração de recursos naturais ocorre na construção civil, sendo que no Brasil, os padrões construtivos empregados intensificam o desperdício na execução de edificações, pois os processos são de conversão e não de montagem (NOVAES; MOURÃO,

2008).

Os índices de produção de resíduos em novas obras no Brasil podem alcançar até 300 kg/m2, enquanto que em países desenvolvidos esses índices permanecem com cerca de menos de 100 kg/m2 (NOVAES; MOURÃO, 2008).

Para um melhor gerenciamento dos resíduos, até mesmo para planejar sua reciclagem e reutilização, sugere-se que seja identificado qual é o resíduo que é mais produzido em cada fase da obra. Considerando que as fases da obra são demolição, escavação, fundação, estrutura, alvenaria e acabamento, verifica-se que os mais significativos na etapa da demolição e da escavação é o solo, argamassa e o concreto. Estes mesmos resíduos se repetem nas fases da alvenaria e de acabamentos, sendo que na fase da alvenaria se acresce os resíduos pertinentes a materiais como gesso, papel, plástico e papelão. Enquanto que na fase de acabamento se acresce o gesso. As fases que menos geram resíduos são as da fundação e estrutura. (NOVAES; MOURÃO, 2008).

No quadro 3 encontram-se definidos os resíduos que são gerados em cada etapa de uma obra. A relação de produção da construção civil e de geração de resíduos obtém a seguinte classificação: quando este índice é muito grande, como “Muito significativo” (MG), um pouco menos “Significativo” (SG), quando gera pouco resíduo é classificado como de “Valor Baixo” (VB) e quando não gera resíduos, classifica-se como “Não Existe” (NE).

Quadro 3 - Tipos de Resíduos por fase de Obra

FASES DA OBRA	**RESÍDUOS GERADOS**						
	Solo/ Argamassa /Concreto	**Aço**	**Outros metais**	**Papel, Plástico e Papelão**	**Vidros**	**Gesso**	**Tintas**
Demolição	MSG	VB	NE	NE	SG	VB	NE
Escavação	MSG	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Fundação	VB	VB	NE	VB	NE	NE	NE
Estrutura	VB	VB	NE	VB	NE	NE	NE
Alvenaria	MSG	NE	NE	MSG	NE	MSG	NE
Acabamentos	MSG	NE	VB	SG	VB	MSG	VB

Fonte: (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.36).

Complementando, Novaes e Mourão (2008) com bases em estudos efetivados pela Universidade de São Paulo, apresentam uma classificação que tem como centralidade o tipo de resíduo da construção civil por composição. Os resultados desse estudo foram sintetizados na tabela 3.

Tabela 3 - Composição Média do Entulho em Obras no Brasil

COMPOSIÇÃO MÉDIA DO ENTULHO EM OBRAS NO BRASIL	
COMPONENTES	**VALORES (%)**
Argamassa	63,0
Concretos e Blocos	29,0
Outros	7,0
Orgânicos	1,0
Total	100,0

Fonte: (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.37)

Retornando à classificação do quadro 2, verifica-se que as obras de construção civil produzem resíduos principalmente de classe A, que segundo Novaes e Mourão (2008), são passíveis de reciclagem e do qual decorrem um material denominado de agregado reciclado. Esse tipo de material reciclado pode substituir a brita em algumas aplicações, minimizando percentuais de resíduos e custos.

Os autores supracitados ainda esclarecem que em relação à reciclagem dos resíduos das classe B, C e D

> A classe B é formada de resíduos recicláveis (do tipo plásticos, papéis, papelão, vidro e metal), que, embora não sejam reutilizáveis na obra, são usados para destinação de indústrias de reciclagem ou empresas de comercialização de recicláveis. Os resíduos do tipo C como o gesso devem passar por medidas de redução das perdas, fazendo com que diminua a sua geração. Esta segregação deve ser realizada no momento da sua geração, com o intuito de prevenir que o resíduo da classe A não seja contaminado, pois os resíduos de gesso prejudicam a reciclagem dos resíduos classe A. Os resíduos do tipo D, considerados perigosos pela Resolução nº 307/02 do CONAMA, encontram-se na obra na forma de tintas, solventes e telhas de amianto. Estão sendo estudadas maneiras para evitar o uso desse tipo de resíduo. Os canteiros devem adotar medidas para evitar derramamentos, no caso dos líquidos (tintas e solventes), e pedaços, no caso das telhas de amianto (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.37).

Gebur (2003), Pires (2003), e Pereira (2003) ao se referirem aos entulhos da classe A em seus estudos, declaram que apesar de ser gerado em grande quantidade pela construção civil, esse tipo de material apresenta potencial de

reutilização e reciclagem de quase 100%, além de ter características físicas que permitem seu emprego diretamente, ou com pequena intervenção, como uma moagem, mas sem a necessidade de processos envolvendo alta tecnologia e custo. Destaca-se que esse mesmo tipo de entulho é classificado pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como materiais inertes ou classe III e que são caracterizados como material de baixa degradação, sendo enquadrado como resíduos sólidos provenientes da construção civil.

Em relação à reutilização deste tipo de entulho, há normatizações que emanam da Resolução nº 307/02, que especifica que os geradores de resíduos deverão ter como objetivo uma triagem e acondicionamento, respeitando as classes de resíduos estabelecidas nesta resolução e assegurando as condições de reutilização e de reciclagem.

Novaes e Mourão (2008) ao apresentarem o panorama do Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Brasil descrevem que

> A maioria dos municípios brasileiros não tem plano integrado da gestão de resíduos operantes nem locais adequados para destinação. Existem cidades, entretanto, que são exemplos de organização neste assunto como Belo Horizonte, Guarulhos, Piracicaba e São Bernardo. Na Grande São Paulo existem duas recicladoras de materiais dos tipos A e B. Estas estão situadas nas cidades de São Bernardo e Guarulhos. O resíduo do tipo C, ou seja, oriundo de gesso, está sendo encaminhado para uma indústria de cimento em Minas Gerais para usar no forno e no processo de fabricação do cimento. Em Belo Horizonte existem duas usinas - a Estoril e a Pampulha. Este Município apresenta-se mais evoluído neste processo, pois a política de redução de resíduos foi implementada em 1993 chamada de Programa de Correção das Deposições Clandestinas e Reciclagem de Entulho (NOVAES; MOURÃO, 2008, p.35).

Verifica-se que as iniciativas para reciclagem ainda são incipientes. Desse modo, infere-se que a falta de efetividade ou, em alguns casos, a inexistência de políticas públicas que disciplinam e ordenam os fluxos da destinação dos resíduos da construção civil nas cidades, associada ao descompromisso dos geradores no manejo e, principalmente, na destinação dos resíduos, provocam vários impactos ambientais. Esse fenômeno caracteriza um intenso desperdício se for considerado que a possível reutilização deste entulho, no caso por meio de reciclagem, acarretaria benefícios tanto no âmbito ambiental, como tecnológico, com a redução

de custo de extração e do próprio material reciclado ou reutilizado, se comparado com produtos similares fabricados e colocados a venda no mercado.

Ressalta-se, portanto, que uma das formas de se evitar o desperdício no que tange ao material da construção civil e até mesmo da mão de obra na execução dos empreendimentos tem como centralidade o processo de gerenciamento de resíduos, que deve fazer parte da implantação e consolidação do programa de gestão de resíduos.

O programa de gestão de resíduos permite a racionalização de práticas da gestão da qualidade que devem priorizar os aspectos à organização do canteiro de obras e aos dispositivos e acessórios indicados para viabilizar a coleta diferenciada e a limpeza da obra. Deverá, também, contemplar o fluxo dos resíduos no interior da obra, descrevendo as condições para o acondicionamento inicial, o transporte interno e o acondicionamento final. Todo esse processo possibilita que o entulho seja reutilizado ou reciclado dentro dos próprios canteiros de obra (NOVAES; MOURÃO, 2008).

Há inúmeras vantagens que são atribuídas ao reaproveitamento de resíduos dentro do próprio canteiro de obras. Dentre elas, pode-se citar: o canteiro fica mais organizado e mais limpo; haverá a triagem de resíduos, impedindo sua mistura com insumos; haverá possibilidade de reaproveitamento de resíduos antes de descartados e serão quantificados e qualificados os resíduos descartados, possibilitando a identificação de possíveis focos de desperdícios de materiais. Ainda podem-se mencionar os benefícios em relação às receitas geradas na comercialização dos materiais oriundos da demolição seletiva, que podem diminuir os custos do processo de demolição, devido a: redução dos custos de disposição dos materiais através da possibilidade de maior reutilização dos mesmos e dos componentes construtivos; geração de receitas diretas com a venda desses materiais ou indireta por meio de doações; redução das emissões de poeira pelo não uso de equipamentos pesados de demolição e pela diminuição dos volumes de resíduos a serem transportados para sua destinação final; redução da extração de matérias-primas e redução do consumo de energia da extração de recursos naturais.

Deste modo, pode-se afirmar que as construções apresentam potencial para

reciclar ou reutilizar grande parte dos próprios resíduos, até mesmo quando se caracterizarem como objeto de demolição seletiva ou desconstrução, implicando na redução de impactos ao meio ambiente e, inclusive, otimização a relação custo-benefício.

2.3 Concreto

Pinheiro, Muzardo e Santos (2004) definem concreto como sendo um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de aglomerantes, agregados e água. Assim, para formar um bloco monolítico é necessário realizar a mistura de cimento, água, pedra e areia. Ressalta-se que o cimento é um dos produtos mais utilizados no mundo. Presente em todo tipo de construção, da mais simples a mais complexa moradia até a obra de grande porte, como barragens, pontes, do início ao acabamento final.

O uso do cimento, que ao ser hidratado pela água forma uma pasta resistente, promove a aderência dos fragmentos de agregados considerados como graúdos e miúdos. Desse modo, pode-se inferir que o aglomerante, componente ativo do concreto que quando em presença de água provoca ações físicas e químicas que culmina na união e aglutinação dos agregados, é um material em sua grande maioria pulverulento.

O tipo de aglomerante mais utilizado no mercado são os aglomerantes hidráulicos (endurecem pela ação exclusiva da água), mais precisamente o cimento Portland. Porém, há outros tipos de aglomerantes no mercado, como os aéreos (endurecem pela ação química do dióxido de carbono) e os poliméricos (reagem devido à polimerização de uma matriz).

Constata-se a existência de diferentes tipos de cimentos Portland, que é considerado um material cerâmico, formado basicamente pela mistura de clínquer e gesso. O clínquer é obtido através da adição do minério de ferro na mistura de argila e calcário. Durante a moagem do clínquer é adicionado o gesso formando assim o cimento cinza, que é chamado de cimento Portland comum (CPI). Na composição do cimento Portland estão presentes silicatos (tricálcico e dícalcico),

aluminatostrícalcioco e ferroaluminatostetracálcico (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Quando em presença de água os aluminatos e silicatos são hidratados e os seus produtos têm alto poder cristalizante, fazendo com que a mistura de água cimento tenha um alto ganho de resistência mecânica (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Dependendo do aditivo e das proporções colocadas na moagem do clínquer haverá a produção de diferentes tipos de cimento Portland, diferenciando suas características químicas, físicas e mecânicas. Dado essa variedade, estão disponíveis no mercado diversos tipos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Quadro 4 – Tipos de Cimentos

Tipo de Cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou filer (até 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40	5732
	Escória (6-34%)	CP II-E 32 CP II-E 40	
Cimento Portland Composto	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	11578
	Filer (6-14%)	CP II-F 32 CP II-F 40	
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III 32 CP III 40	5735
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos	Estes cimentos são RS. EX.: CP III-40,	Designados pela sigla CP V-ARI RS	5737

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p.24)

O cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Com a adição de água, se torna uma pasta homogênea, capaz de endurecer e conservar sua estrutura, mesmo em contato novamente com a água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra. Graças a essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água (DORFMAN, 2003; NEVILLE, 1997).

Com diferentes adições durante a produção, se transforma em um dos cinco tipos básicos existentes no mercado brasileiro: cimento portland comum, cimento portland composto, cimento portland de alto forno, cimento portland pozolânico e cimento portland de alta resistência inicial. Por definição é um aglomerante hidráulico resultante da mistura homogênea de clínquer portland, gesso e adições normalizados que são moídos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.3.1 Agregado

Os agregados são partículas minerais adicionadas à mistura de cimento com água que tem a função de colaborar com grãos capazes de resistir a esforços solicitantes, ao desgaste e a ação das intempéries. No entanto, sua funcionalidade não é só de ganho mecânico, corresponde também a uma redução de custos pelo aumento de volume da mistura (LATTERZA; MACHADO JR, 2003; LEVY, 1997).

Os agregados podem ser classificados quanto a sua origem, a densidade e ao tamanho dos grãos. Quanto à origem pode ser classificado como natural, quando é encontrado na natureza pronto para ser utilizado e o artificial que é o natural que passou por processo de industrialização com o intuito de adquirir algumas características específicas (LATTERZA; MACHADO JR, 2003; LEVY, 1997).

Para a classificação da densidade, eles podem ser pesados, agregados normais e agregados leves. Quando se refere ao tamanho, o agregado pode ser graúdo ou miúdo. Quando os grãos apresentam diâmetro entre 0,0075 e 4,8 mm são chamados de agregado miúdo. Já os que têm diâmetro maior que 4,8 são denominados de agregado graúdo (LATTERZA; MACHADO JR, 2003; LEVY, 1997).

No entanto, quando esses resíduos de concreto são reciclados, e passam a ser categorizados como reciclados de resíduos de alvenaria, para ser acrescidos e reutilizados em novas estruturas de concreto, deve-se considerar, conforme ressalta Ângulo (2013), as diretrizes para reciclagens pautadas em princípios internacionais, para que o desempenho do próprio concreto seja otimizado.

> Com base na natureza mista dos agregados de RCD brasileiros (com presença de concreto e de cerâmica vermelha), Lima (1999) propôs critérios mínimos para aceitação deles para uso em argamassas e concretos, fundamentado na normalização internacional. Em estudo posterior, Leite (2001) empregou modelagem estatística para analisar a influência de teores crescentes de substituição dos agregados graúdos naturais por agregados mistos de RCD e da relação água/cimento efetiva (que implica o desconto da água absorvida pelo mesmo) na resistência à compressão do concreto. Em todos os estudos, a viabilidade da substituição integral de agregados graúdos naturais por agregados mistos de RCD para concretos não estruturais (< 25 MPa) é confirmada, sendo, em seguida, tais critérios incorporados na norma brasileira (ABNT, 2004) (ÂNGULO, 2013, p. 62).

Hansen (1992) especifica que a proposição de norma para o uso de agregado reciclado e concreto com agregado reciclado foi indicada na norma Japonesa preparada, em 1997, pela Sociedade de Construtores Prediais do Japão (B.C.S.J.). Segundo o autor, esta proposta prevê a utilização apenas de concreto para produção de agregado reciclado. Assim, o concreto reciclado produzido deve ser classificado de acordo com a dimensão e composição do agregado utilizado. Destaca-se, que segundo Hansen (1992) a resistência de projeto deve ser especificada abaixo do limite de resistência especificado para cada tipo de concreto reciclado, como apresentado no quadro 05 a seguir.

Quadro 5 – Tipos de Concretos de Agregados Reciclados e Valores Máximos de Resistência à Compressão

Tipos de concreto de agregado reciclado	**Tipo de agregado**		**Valores máximo admissíveis de resistência a compressão (Mpa)**	
	Graúdo	Miúdo	Resistência de projeto	Resistência de dosagem
I	Reciclado[1]	Convencional	18	30[2]
II	Reciclado[1]	Mistura de convencional e reciclado	15	27[2]
III	Reciclado[1]	Reciclado	12	24[2]
NOTA: (1) Incluindo mistura com agregados de massa específica usual (2) Podem ser usados valores maiores, desde que o consumo de cimento não se torne excessivo.				

Fonte: (BUILDING CONTRACTORS SOCIETY IN JAPAN apud HANSEN, 1992, p. 47).

No quadro 05 estão apresentados alguns usos típicos para os concretos reciclados definidos pela proposta, listado na tabela anterior. Além disso, na

proposta estão especificados limites de algumas das propriedades físicas dos agregados e alguns parâmetros de dosagem. Segundo Hansen (1992), a proposta japonesa é a única que apresenta um método para determinação de impurezas em agregados reciclados.

Quadro 6 – Sugestões de Uso para Concretos de Agregados Reciclados

Tipos de concreto	Objetivos principais de uso
I	Fundações de prédios em geral, fundações de edifícios de apartamentos, edificações residenciais unifamiliares, edificações familiares de um pavimento, fundações pesadas, etc.
II	Fundações para construções de bloco de concreto pré-fabricado, construções leves não residenciais, fundações de máquinas, etc.
III	Fundações de edifícios de madeira, portões, cercas, fundações de máquinas simples, lajes em declive, etc.

Fonte: (BUILDING CONTRACTORS SOCIETY IN JAPAN apud HANSEN, 1992, p. 47).

Pode-se inferir que a falta de espaço e a demanda por matéria-prima foram fatores que implicaram para que o Japão se antecipasse em elaborar um projeto de Norma. Entretanto, o projeto criado pelo Japão, atualmente, pode ser considerado como muito conservador, dado o avanço conseguido nos últimos anos sobre o conhecimento das propriedades dos concretos com agregados reciclados. desse modo, vale ressaltar que as especificação para concreto com agregados reciclados estão pautadas pela Diretriz proposta pelo Comitê Técnico 121 – RRG do RILEM (The International Union of Testing and Resarch Laboratories for Materials and Strutures).

Este comitê técnico de pesquisa RILEM 121 – DRG, que trata da orientação para demolição e reutilização de concreto e alvenaria, preparou uma especificação para concreto com agregados reciclados que foi primeiramente apresentada no 3° Simpósio Internacional Sobre Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria, em 1993 (LIMA, 1999).

O documento apresentado, segundo Lima (1999) considera apenas o uso da fração graúda do agregado reciclado produzido, e basicamente define três categorias de agregados reciclados para classificação e utilização em concretos: Tipo I: agregados reciclados basicamente de alvenaria; Tipo II: agregados reciclados

basicamente de concreto; Tipo III: mistura de agregados naturais e reciclados.

Em seus estudos Lima (1999) e Levy (1997) relatam que, de acordo com o RILEM 121, os agregados do TIPO III devem obedecer também às seguintes exigências: conteúdo mínimo de agregados naturais deve ser 80% em massa; conteúdo máximo de agregados TIPO I deve ser de 10% em massa.

O documento produzido pelo comitê RILEM 121-DRG apresenta as especificações exibidas na tabela 4.

Tabela 4 – Especificações para o Agregado Graúdo Reciclado para Produção de Concreto

Especificações	Tipo de agregado			Método de ensaio
	Tipo I CARG	Tipo II CARG	Tipo III CARG	
Massa específica mínima do material seco (Kg/m³)	1500	2000	2400	ISSO 6738 e 7033
Absorção máxima de água (%)	20	10	3	
Quantidade máxima de material SSS<2200 Kg/m³ (%)ª	-	10	10	ASTM C 123
Quantidade máxima de material SSS<1800 Kg/m³ (%)	10	1	1	
Quantidade máxima de material SSS<1000 Kg/m³ (%)	1	0,5	0,5	
Quantidade máxima de impurezas (vidro, betume, plásticos0 (%)	5	1	1	Visual
Quantidade máxima de metais (%)	1	1	1	Visual
Quantidade máxima de matéria orgânica (%)	1	0,5	0,5	NEM 5933
Quantidade máxima de finos < 0,063 mm (%)	3	2	2	PrEN 933-1
Quantidade máxima de areia < 4 mm (%)b	5	5	5	
Quantidade máxima de sulfatos (%)c	1	1	1	BS 812, parte 118

A - Saturada superfície seca
B - Se for excedido o limite da fração de areia, esta parte do agregado deverá ser considerada como parte da areia total a ser utilizada.
C - Quantidade de sulfato deverá ser calculada como SO^3
CARG- Concreto de Agregado Graúdo Reciclado
SSS- Saturado Superfície Seca
As percentagens da tabela referem-se a massa/massa

Fonte: (RILEM 1994 apud LEVY, 1997, p.147).

Levy (1997) exibe algumas possibilidades de utilização para os concretos produzidos com cada tipo de agregado, conforme registrado no quadro 06. Estas

possibilidades estão baseadas nas condições de exposição do concreto, desde que alguns ensaios sejam realizados com o material, servindo como critério de aceitação do mesmo.

Quadro 7 – Sugestões de Uso para Tipos de Concreto Reciclado Definido pelo RILEM TC 121-DRG

Agregados reciclados	**CARG TIPO I**	**CARG TIPO II**	**CARG TIPO III**
Máxima resistência admitida	C16/20	C50/60	Não há limites
Verificação adicional solicitada quando utilizado em condições de exposição da classe 2ª, 4ª	- Ensaio de expansão ARS - Utilização nas condições de exposição da classe 4ª não é permitida	- Ensaio de expansão ARSc	- Ensaio de expansão ARS
Verificação adicional solicitada quando utilizado em condições de exposição da classe 2b, 4bb	- Utilização nas condições de exposição da classe 2ª e 4ª não é permitida	- Ensaio de expansão ARS - Ensaio de estabilidade dimensional nas condições de gelo e degelo	- Ensaio de expansão ARS - Ensaio de estabilidade dimensional nas condições de gelo e degelo
Verificação adicional solicitada quando utilizado em condições de exposição da classe 3	- Utilização nas condições de exposição da classe 3 não é permitida	- Ensaio de remoção de sais	- Ensaio de remoção de sais
a - Poderá ser produzido um concreto de classe C30/37, desde que a massa específica do agregado na condição saturada superfície seca exceda 2,0Kg/dm³. b - Em conformidade com o código EM V206. c - Ensaio de expansão para avaliar a reatividade álcali-sílica			

Fonte: (RILEM 1994 apud LEVY, 1997, p.147).

O documento apresentado pelo RILEM TC 121-DRG determina, também, critérios para o cálculo de projetos de estruturas de concreto com agregados reciclados, baseados nas exigências para concretos convencionais. São apresentados fatores de multiplicação fundamentados os valores aplicados para os concretos com agregados naturais, para estimar as propriedades dos concretos reciclados, quando valores experimentais não estiverem disponíveis. Os fatores de correção estão apresentados na tabela 5.

Tabela 05 – Fatores de Avaliação das Propriedades do Concreto com Agregado Reciclado

Propriedades	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Resistência à tração	1	1	1
Módulo de elasticidade	0,65	0,80	1
Coeficiente de fluência	1	1	1
Retração	2	1,5	1

Fonte: (RILEM 1994 apud LIMA, 1999, p.106).

Com relação ao agregado miúdo, recomenda-se que se dê atenção apenas à fração compreendida entre 2 e 4 mm de diâmetro, além de apresentar algumas desvantagens da aplicação da fração mais fina em concretos (LIMA, 1999).

2.3.1.1 A estrutura da fase agregado

O agregado graúdo é a fase que mais influência a densidade, o módulo de elasticidade e a estabilidade dimensional do concreto. Estas propriedades do concreto são mais influenciadas por características físicas, do que químicas da estrutura do agregado, tais como volume, tamanho, forma, granulometria e distribuição de poros (GONÇALVES, 2001).

Por exemplo, um agregado britado é mais áspero que um seixo rolado, portanto, a ligação com a pasta de cimento é mais forte, por outro lado existe uma grande quantidade de partículas achatadas ou alongadas que afetam muitas propriedades do concreto, além de necessitar de mais água para uma mesma trabalhabilidade. (GONÇALVES, 2001).

Devido ao valor de seu módulo de elasticidade elevado, na maioria dos casos,

é esta fase que condiciona o valor do módulo de elasticidade do concreto, ou seja, é ela que restringe movimentações da matriz de argamassa. Quando é analisada a resistência, a influência da fase agregado para concretos de baixa e média resistência é menor que das outras duas fases, exceto para agregados altamente porosos e fracos. Nesta propriedade é a fase mais forte, portanto não condiciona a resistência na maioria dos casos. Mas quando são analisados os concretos de alta resistência isto pode mudar, as características dos agregados graúdos devem ser levadas em consideração. (GONÇALVES, 2001).

2.3.1.2 A estrutura da argamassa endurecida

A estrutura da argamassa endurecida está relacionada principalmente aos produtos do processo de hidratação do cimento, onde aparecem compostos gerados durante as reações químicas, além de outros constituintes como vazios capilares, água, etc. (GONÇALVES, 2001).

Um dos itens que mais influenciam as propriedades da argamassa são os vazios capilares, que são os espaços não preenchidos pelos componentes sólidos. Suas propriedades estão relacionadas ao grau de hidratação e da quantidade de água usada na mistura. (GONÇALVES, 2001).

Com a reciclagem de concretos é possível obter agregados com características bastante semelhantes ao produto original, a partir de matérias-primas com custo muito baixo (CIOCCHI, 2003).

Atualmente no Brasil a aplicação mais comum do concreto reciclado ocorre em sub-base de pavimentos, de concreto ou asfalto. No entanto, quando são atingidas as propriedades especificadas, a utilização pode acontecer em qualquer situação (CIOCCHI, 2003).

O concreto reciclado já vem demonstrando uma boa atuação numa série de usos em obras urbanas, com a obtenção de custos bastante benéficos, é possível programar sua utilização em concretos para: bases de pavimentos, estruturas residenciais com fck < 20MPa e produção de artefatos pré-moldados em concreto (tubos, lajes, blocos). Dois terços do resíduo de concreto demolido no Japão, já são

utilizados para pavimentação de rodovias. Todavia, já existe um plano para que seja incentivado o uso deste resíduo para produção de novos concretos (VÁSQUEZ, 2000).

A Comunidade Europeia a partir de 1988 realizou um grande número de obras em concreto obtido a partir de agregados reciclados, de concreto, de alvenaria, assim como da mistura de ambos. (SANTANA et al., 2011).

Assim, o entulho processado pelas usinas de reciclagem pode ser utilizado como agregado para concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais (areia e brita).

Desse modo, pode-se elencar como vantagens: economia de energia no processo de moagem do entulho, uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas; possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/ trituração; possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento. (ZORDAN, 2001).

Contudo, deve-se atentar, pois há as seguintes limitações: a presença de faces polidas em materiais cerâmicos (pisos, azulejos, etc.) interfere negativamente na resistência à compressão do concreto produzido; uma das grandes dificuldades encontradas para a produção de agregados reciclados de concreto é a seleção e a caracterização das propriedades destes materiais; o concreto demolido pode estar misturado com solo ou outros resíduos de materiais de construção, ou ainda pode conter impurezas; a coleta de entulho para o processo de reciclagem encontra dificuldades, como por exemplo, o trafego intenso na rua, dificulta acesso á construção para descarga de materiais, ou retirada de entulhos e outros, pois não se tem um estudo prévio da logística adequada e seu reaproveitamento ordenado. (ZORDAN, 2001).

2.3.1.3 Propriedades mecânicas do concreto reciclado – Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma das propriedades mecânicas mais abordadas e que tem importância na caracterização do concreto no estado endurecido. É possível estabelecer relações entre diversas propriedades do concreto, tais como, módulo de deformação longitudinal e resistência à tração com a resistência à compressão (GONÇALVES, 2001).

Em concretos comuns, produzidos com agregados naturais, compactos e resistentes, a resistência à compressão tem grande influência da porosidade da matriz e da zona de transição. No caso, dos concretos reciclados, nos quais valores de resistência à compressão tendem a ser menores do que os comuns, a ruptura se faz nos agregados, levando-os a ser o elemento determinante nesta propriedade para esses concretos (GONÇALVES, 2001).

Todos os materiais dos quais o concreto é composto influenciam diretamente a sua resistência e o seu desempenho final. Assim, os agregados também são extremamente importantes para análise criteriosa das propriedades do concreto. Qualquer alteração dos materiais componentes do concreto merece um estudo sistemático e isso também se aplica ao agregado reciclado, principalmente quando se pensa que eles correspondem até 80% de toda mistura (ARAGÃO, 2007).

Lima (1999), em seus estudos, chegou a conclusão que as perdas de resistência dos concretos com reciclado em relação ao comum mostraram-se diferentes nas pesquisas nacionais (brasileiras), variando de inexistentes até 50%.

Segundo Xiao et al. (2005), a resistência diminui à medida que se aumenta o teor de agregado reciclado. Fazendo uma comparação entre os valores da mistura sem agregado reciclado e a com 100%, este decréscimo atinge cerca de 19%.

2.3.1.4 Propriedades mecânicas do concreto reciclado – Resistência à tração

Latterza e Machado Jr. (2003) elaborou um estudo, no qual se pode concluir

que as características do agregado graúdo não influenciaram os resultados dos ensaios na graduação estudada (dimensão máxima de 9,5 mm). Para os autores, os concretos com agregados reciclados tiveram comportamento igual, ou ligeiramente superior, caso do concreto com 50% de substituição. Este fato é devido à boa aderência entre a pasta e o agregado reciclado. Contribuindo com essa hipótese, alguns autores observaram nos ensaios que tanto na compressão diametral, quanto na flexão, as rupturas davam-se através dos agregados.

3 DESENVOLVIMENTO

O presente estudo analisou as propriedades mecânicas dos concretos recicláveis - resistência à compressão, tração e MEV - produzidos com entulhos de obra provenientes de resíduos de construção e demolição (concreto de calçadas), objetivando à sua utilização como elementos não estruturais em obras de construção civil. Para tal, foram realizados diversos ensaios de laboratório (vários traços) que possibilitaram avaliar de forma mais detalhada o resíduo como agregado.

Desse modo, foi possível desenvolver um concreto que mantém suas características essenciais à aplicação, bem como possibilitou apontar as peculiaridades dos resíduos da construção civil com foco na reutilização e na redução de custos e impacto no meio ambiente.

Destaca-se que todas as etapas deste ensaio de concreto foram analisadas e atestadas em conformidades com as diretrizes da NBR 7.215-resistência à compressão (ABNT, 1996) e da NBR 7.222- resistência à compressão diametral (ABNT, 1994), dentre outras.

3.1 Seleção e classificação de materiais

Os materiais utilizados para os ensaios foram: cimento, agregado graúdo (brita), agregado alternativo (entulho), agregado miúdo (areia) e água.

3.1.1 Cimento

Para os ensaios preliminares foi utilizado o cimento CP III–40.

3.1.2 Agregado graúdo (brita)

O agregado graúdo utilizado trata-se de um cascalho (granítico) que foi escolhido a partir de algumas amostras obtidas nas pedreiras locais, sendo importante que o mesmo não tivesse pó de pedra depositado nas partículas. A

presença de pó de pedra aumenta a demanda de água na mistura, prejudicando a resistência mecânica do concreto.

Para os ensaios preliminares foi utilizado agregado graúdo (brita um).

3.1.3 Agregado alternativo (entulho)

O entulho utilizado nestes ensaios é procedente de restos de obra de construção civil (RCD), neste caso, concreto de calçadas, de um conjunto de prédios em Volta Redonda, Rio de Janeiro.

Foi retirada uma amostra probabilística casual simples – que consiste em selecionar a amostra através de um sorteio. Sua principal característica está no fato de todos os elementos da população ter igual probabilidade de serem escolhidos - de resto de concreto em uma pilha de entulho da obra, a céu aberto, com idade superior a um mês.

Para o beneficiamento dos entulhos (resto de calçadas), as amostras coletadas foram trituradas e peneiradas, para que fosse possível obter os agregados na dimensão desejável, de acordo com a NBR 7.219 (ABNT, 1987).

Para os ensaios preliminares foi utilizado o entulho como brita um.

3.1.4 Agregado miúdo (areia)

O agregado miúdo (areia) é um conjunto de partículas de rochas degradadas, composta basicamente de dióxido de silício com 0,063 a 2 mm. Portanto, um material de origem mineral finamente dividido em grânulos ou granito.

Ressalta-se que neste ensaio foi utilizado na fabricação dos corpos-de-prova uma amostra que detinha as características preconizadas pela NBR 9.935 (ABNT, 2011).

3.1.5 Água

A água é um componente fundamental do concreto, responsável pelas reações de endurecimento e usada na cura. Este componente chega a representar 20% de seu volume. Portanto, se contiver substâncias danosas em teores acima dos estabelecidos por norma, pode influenciar no seu comportamento e propriedades.

A água utilizada para a produção do concreto não deverá conter impurezas que possam prejudicar as reações dos componentes que a integram, pois a água esta diretamente atrelada às reações responsáveis pelo endurecimento do concreto (BAUER, 2011). A presença dessas impurezas pode causar inúmeras patologias ao concreto. Porém, segundo Petrucci (1968) o excesso de água pode ser prejudicial, pelo fato de provocar uma redução considerável na resistência do concreto.

Neste ensaio a água usada na mistura da argamassa foi potável da rede de abastecimento da FOA e estava na temperatura de (23 ± 2) °C.

3.2 Moldagem e Cura

A moldagem dos corpos-de-prova foi feita de acordo com a NBR 5.738 (ABNT, 2015). Como o procedimento do ensaio prevê a utilização de resto de concreto (entulho de obra) em proporções para a substituição da brita um de 0%, 15%, 30% e 100%.

Tabela 6 - Proporções de Adição de Entulho em Relação à Brita Um

% de entulho substituição da brita	Proporção cimento/areia/brita	Nº de corpos-de-prova
0	1:2:3	3
15	1:2:3	3
30	1:2:3	3
100	1:2:3	3

Fonte: O Autor

No presente ensaio utilizou-se como parâmetro o mesmo procedimento do

concreto, porém com o entulho de obra (concreto de calçadas) em substituição a brita um.

A cura dos corpos-de-prova, após sua moldagem, foi efetivada mediante à colocação dos mesmos em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações, protegidos de intempéries, durante 24h com a finalidade de evitar perda de água. Em seguida foram identificados e levados a uma câmara úmida, onde ficaram armazenados até o momento do ensaio em uma solução saturada de hidróxido de cálcio a (23±2°)C, de acordo com a NBR 5.738 (ABNT, 2015).

As idades de cura definidas para os corpos-de-prova foram 7, 14, 21 e 28 dias.

3.3 Procedimentos de ensaios

3.3.1 Compressão

O experimento foi executado, conforme a norma técnica NBR 5.739 (ABNT, 2007), no que se refere à resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto. Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 100x200mm, na proporção de três para cada adição e para cada idade, conforme definido anteriormente na etapa da moldagem e cura.

Cada corpo-de-prova foi submetido a uma prensa hidráulica de carga contínua (figura 1), até a ruptura do mesmo (figura 2), na idade de 7, 14, 21 e 28 dias.

Figura 1- Máquina de ensaio Emic prensa hidráulica modelo PC100C, capacidade máxima 100 tf (100.000kgf)

O resultado final foi a média dos três valores, em Mpa.

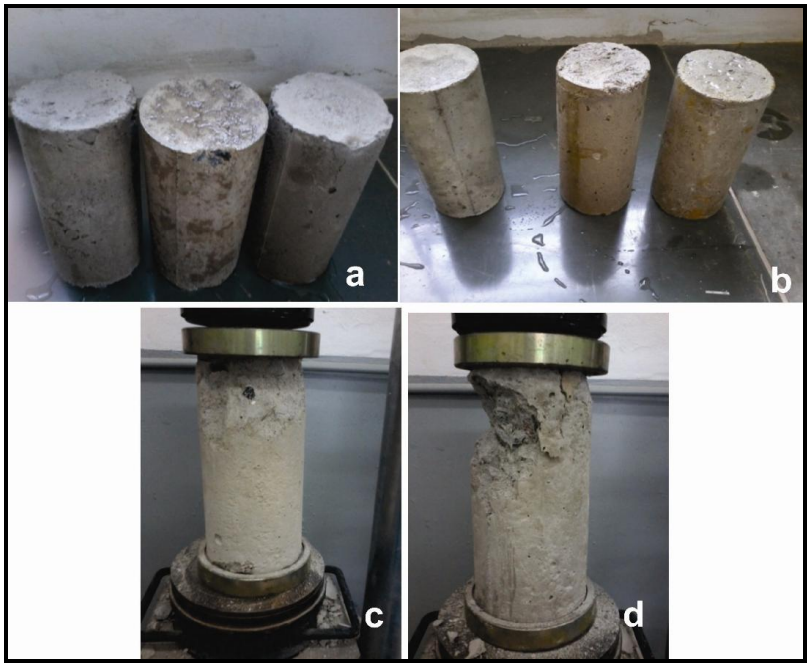


Figura 2 – Corpos-de-prova 100 mm x 200 mm retirados da imersão (a – b). Corpos-de-prova posicionados na máquina de ensaio após rompimento (c - d).

3.3.2 Compressão diametral

O ensaio de compressão diametral é o ensaio de tração indireta mais utilizado

nacionalmente e internacionalmente, de fácil execução e que utiliza o mesmo corpo-de-prova do ensaio de compressão. A dificuldade da obtenção da resistência à tração diretamente contribui para o vasto emprego desse método.

Para a realização do ensaio, o corpo-de-prova é colocado deitado entre os pratos da máquina de ensaio e é através desses pratos que se é aplicado uma força diametralmente.

Este ensaio, seguindo a norma NBR 7.222 (ABNT, 1994), foi estabelecido o método para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos de concreto.

Para este ensaio foram moldados os corpos-de-prova conforme norma NBR 5.738 (ABNT, 2003). Foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 100x200mm, em três unidades para cada adição e para uma idade. Cada corpo-de-prova foi submetido a uma prensa hidráulica (foto x) de carga contínua até a ruptura do mesmo, na idade de 28 dias. O resultado final da resistência à tração por compressão diametral (figura 3) foi calculado pela seguinte expressão:

$$f_{t,D} = \frac{2.F}{d.L.\pi}$$

Onde:

$f_{t,D}$= resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 Mpa

F = carga máxima obtida no ensaio (kN)

d = diâmetro do corpo-de-prova (mm)

L = altura do corpo-de-prova (mm)

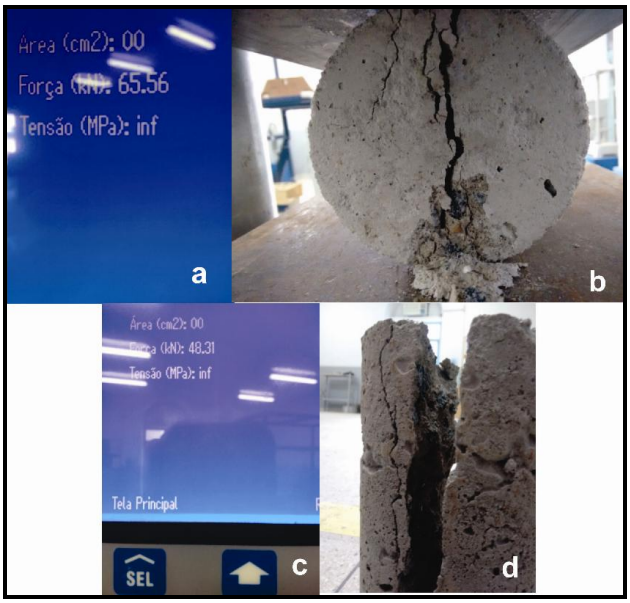


Figura 3 – Ensaio de compressão diametral (a) e (c) carga máxima obtida no ensaio (b) corpo-de-prova posicionado na máquina de ensaio após rompimento (d) corpo-de-prova posicionado após rompimento.

3.3.3 Microscopia: análise da microestrutura do concreto com agregado reciclado

Para análise da microestrutura optou-se por fazer ensaios nas amostras de concreto de apenas uma idade de referência, já que o número de amostras para todo espaço amostral seria muito grande. A idade adotada foi de 28 dias, por ser um padrão normalmente adotado para todos os ensaios mecânicos em concreto.

Adotou-se o percentual de 100% de substituição, do agregado graúdo pelo agregado reciclado graúdo. No que se refere à relação água/cimento (a/c), adotou-se o valor de 0,60 por ser este um valor usual para concretos com resistência média comumente utilizada em estruturas de concreto.

O concreto não é estruturado somente de cimento e agregados, mas também da zona de contato entre estes dois componentes. Esta zona de contato conhecida como interface pasta/agregado ou zona de transição aparece quando uma película de água se forma ao redor dos agregados durante o processo de exsudação de água no concreto, o que aumenta a relação a/c desta área.

Devido a este aumento da relação a/c os produtos cristalinos formados apresentam tamanho relativamente maior que os produtos existentes na matriz, o que torna a estrutura da interface mais porosa. Além de possuir maior dimensão, os produtos hidratados, principalmente os cristais de hidróxido de cálcio em formas de placas, tendem a se precipitar de forma orientada (MONTEIRO, 1993).

Considerar a zona de transição no estudo das propriedades do concreto é interessante uma vez que frequentemente esta zona possui propriedades físicas e químicas bem distintas do restante da matriz de cimento.

A maior porosidade e alta relação a/c da zona de transição podem permitir, por exemplo, mais facilmente a passagem de água com agentes agressivos (NEVILLE, 1997) influenciando na durabilidade dos concretos.

Todavia, estas observações são válidas para as misturas de concreto convencionais. Quando se incorpora nas misturas as adições minerais com a sílica ativa, a estrutura da zona de transição tende a se modificar.

Ou ainda, quando se usa agregados, cuja estrutura e composição são muito distintos em relação aos agregados convencionais, estas características também podem sofrer certas diferenciações.

No concreto reciclado foi observada a zona de transição entre os componentes do agregado reciclado – argamassas. As análises foram realizadas no Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

As amostras analisadas tinham 28 dias de idade, por ser esta idade de referência das propriedades de resistência à atração e módulo de deformação dos concretos estudados.

Os fragmentos dos corpos-de-prova recuperados do ensaio de resistência à compressão foram, submetidos a um estudo de caracterização da microestrutura por meio da técnica de microscopia eletrônica de varredura (figuras 4 e 5).

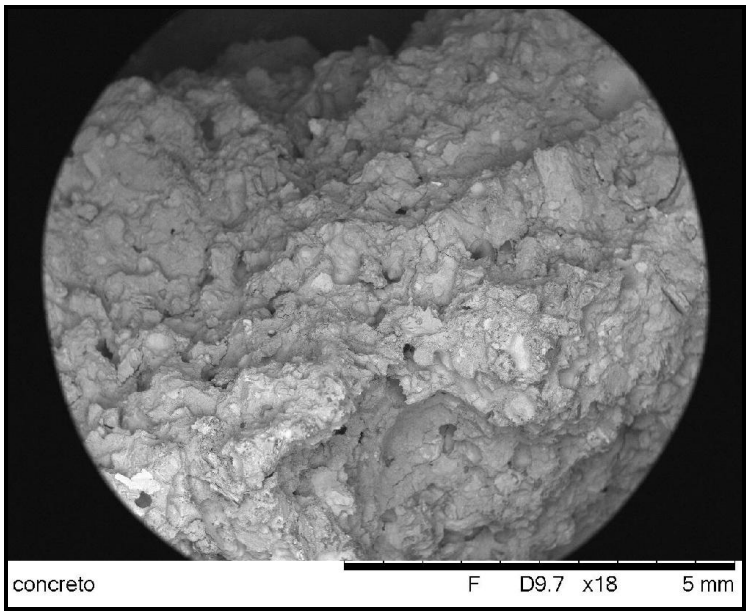


Figura 4 – Vista geral da interfase pasta/agregado ampliado 18x

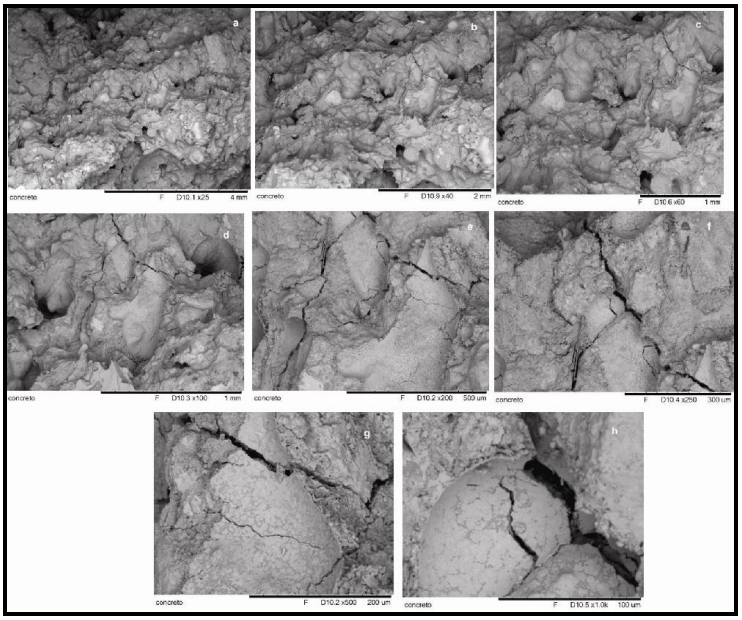


Figura 5 – imagens do concreto com: (a) amplitude 25x; (b) amplitude 40x; (c) amplitude 60x; (d) amplitude 100x; (e) amplitude 200x; (f) amplitude 250x; (g) amplitude 500x; (h) amplitude 1000x;

3.4 RESULTADOS

Após o rompimento do corpo-de-prova por compressão simples e axial, obtivemos os seguintes resultados como mostra as tabelas 7, 8, 9, 10 e 11.

Tabela 7 – Resultado de Compressão Simples aos Sete Dias

Corpo-de-prova	Idade (dias)	% de entulho	Relação fração de areia cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)	Desvio padrão
1	7	0	1/3	18,12		
2	7	0	1/3	17,11	18,18	1,1012
3	7	0	1/3	19,31		
4	7	15	1/3	17,15		
5	7	15	1/3	17,38	17,16	0,2103
6	7	15	1/3	16,96		
7	7	30	1/3	14,54		
8	7	30	1/3	14,48	14,05	0,8031
9	7	30	1/3	13,12		
10	7	100	1/3	13,40		
11	7	100	1/3	11,62	12,56	0,8937
12	7	100	1/3	12,65		

Fonte: O Autor

Examinando a tabela 7, percebe-se que há uma redução nos resultados da resistência à compressão simples, na proporção que se aumenta a porcentagem de entulho ao concreto, cerca de 1,87 Mpa de média de 0% para 100% de adição de entulho na mistura do concreto aos sete (7) dias. O desvio padrão da amostra de 15% foi satisfatório em torno de 0,21. Já o desvio padrão da amostra de 0% foi bem significativo em torno de 1,01.

Com relação à diferença entre os valores obtidos em 15% em relação a 0% foi de 1,02 Mpa e o desvio padrão das amostras foi de 0,89.

Houve queda de 3,11 Mpa nos corpos de prova de 30% em relação aos 15% e em relação ao de 0% foi maior 4,13 Mpa. O desvio padrão foi significativo entre as amostra foi de 0,59.

Já os corpos de prova de 100% de adição de entulho conforme houve uma diferença de 1,49 Mpa em relação aos corpos de 30% e o desvio padrão foi de 0,09.

Tabela 8 – Resultado de Compressão Simples aos Quatorze Dias

Corpo-de-prova	Idade (dias)	% de entulho	Relação fração de areia cimento	Resistência à compressão (MPa)	Media da resistência (MPa)	Desvio padrão
1	14	0	3/1	22,38		
2	14	0	3/1	21,22	22,02	0,6908
3	14	0	3/1	22,45		
4	14	15	3/1	18,48		
5	14	15	3/1	18,35	18,65	0,4122
6	14	15	3/1	19,12		
7	14	30	3/1	17,45		
8	14	30	3/1	18,12	17,34	0,8404
9	14	30	3/1	16,45		
10	14	100	3/1	15,48		
11	14	100	3/1	14,38	15,43	1,0210
12	14	100	3/1	16,42		

Fonte: O Autor

Examinando a tabela 8, percebe-se que há uma redução nos resultados da resistência à compressão simples, na proporção que se aumenta a porcentagem de entulho ao concreto, cerca de 2,20 Mpa de média de 0% para 100% de adição de entulho na mistura do concreto aos quatorze (14) dias.

O desvio padrão da amostra de 15% foi o satisfatório em torno de 0,41. Já o desvio padrão da amostra de 100% foi bem significativo em torno de 1,02. Com relação a diferença entre os valores obtidos em 15% em relação a 0% foi de 3,37 Mpa e o desvio padrão das amostras foi de 0,28.

Houve queda de 1,31 Mpa nos corpos-de-prova de 30% em relação ao 15% e em relação ao de 0% foi maior 4,68 Mpa. O desvio padrão foi significativo entre as amostra foi de 0,43. Já os corpos-de-prova de 100% de adição de entulho conforme houve uma diferença de 1,91 Mpa em relação aos corpos de 30% e o desvio padrão foi de 0,18.

Tabela 9 – Resultado de Compressão Simples aos Vinte e um Dias

Corpo-de-prova	Idade (dias)	% de entulho	Relação fração de areia cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)	Desvio padrão
1	21	0	3/1	25,33		
2	21	0	3/1	24,14	25,01	0,7586
3	21	0	3/1	25,55		
4	21	15	3/1	21,12		
5	21	15	3/1	22,45	22,02	0,7767
6	21	15	3/1	22,48		
7	21	30	3/1	19,38		
8	21	30	3/1	19,45	19,65	0,4143
9	21	30	3/1	20,13		
10	21	100	3/1	18,38		
11	21	100	3/1	18,45	18,65	0,4085
12	21	100	3/1	19,12		

Fonte: O Autor

Examinando a tabela 9, percebe-se que há uma redução nos resultados da resistência a compressão simples, na proporção que se aumenta a porcentagem de entulho ao concreto, cerca de 2,12 Mpa de média de 0% para 100% de adição de entulho na mistura do concreto aos vinte e um (21) dias.

O desvio padrão da amostra de 100% foi o satisfatório em torno de 0,41. Já o desvio padrão da amostra de 15% foi bem significativo em torno de 0,78. Com relação a diferença entre os valores obtidos em 15% em relação a 0% foi de 2,37 Mpa e o desvio padrão das amostras foi de 0,36.

Houve queda de 2,37 Mpa nos corpos-de-prova de 30% em relação ao 15% e em relação ao de 0% foi maior 5,36 Mpa. O desvio padrão foi significativo entre as amostra foi de 0,36. Já os corpos-de-prova de 100% de adição de entulho conforme houve uma diferença de 1,00 Mpa em relação aos corpos de 30% e o desvio padrão foi de 0,006.

Tabela 10 – Resultado de Compressão Simples aos Vinte e oito Dias

Corpo-de-prova	Idade (dias)	% de entulho	Relação fração de areia cimento	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)	Desvio padrão
1	28	0	3/1	27,40		
2	28	0	3/1	27,19	27,42	0,2354
3	28	0	3/1	27,66		
4	28	15	3/1	25,12		
5	28	15	3/1	24,48	24,98	0,4427
6	28	15	3/1	25,33		
7	28	30	3/1	21,44		
8	28	30	3/1	22,15	21,92	0,4188
9	28	30	3/1	22,18		
10	28	100	3/1	20,11		
11	28	100	3/1	21,32	20,75	0,6075
12	28	100	3/1	20,81		

Fonte: O Autor

Examinando a tabela 10, percebe-se que há uma redução nos resultados da resistência a compressão simples, na proporção que se aumenta a porcentagem de entulho ao concreto, cerca de 2,22 Mpa de média de 0% para 100% de adição de entulho na mistura do concreto aos vinte e oito (28) dias.

O desvio padrão da amostra de 0% foi o satisfatório em torno de 0,24. Já o desvio padrão da amostra de 100% foi bem significativo em torno de 0,61.

Com relação à diferença entre os valores obtidos em 15% em relação a 0% foi de 2,44 Mpa e o desvio padrão das amostras foi de 0,21.

Houve queda de 3,06 Mpa nos corpos-de-prova de 30% em relação ao 15% e em relação ao de 0% foi maior 5,50 Mpa. O desvio padrão foi significativo entre as amostra foi de 0,02.

Já os corpos-de-prova de 100% de adição de entulho conforme houve uma diferença de 1,17 Mpa em relação aos corpos de 30% e o desvio padrão foi de 0,19.

Comparando as idades podemos observar que as amostras de 28 dias têm valores mais estáveis e maior valor de resistência que as amostras de 7, 14 e 21 dias e a variação de resistência é metade comparada à idade de 7 dias.

Tabela 11 – Resultado de Compressão Diametral aos Vinte e oito Dias

Corpo-de-prova	Idade (dias)	% de entulho	Relação fração de areia cimento	Carga máxima obtida no ensaio (KN)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	Média da resistência (MPa)	Desvio padrão
1	28	0	3/1	66,89	2,13		
2	28	0	3/1	69,48	2,22	2,24	0,12
3	28	0	3/1	74,33	2,37		
4	28	15	3/1	67,27	2,14		
5	28	15	3/1	68,32	2,17	2,02	0,23
6	28	15	3/1	55,17	1,76		
7	28	30	3/1	65,56	2,09		
8	28	30	3/1	66,69	2,12	2,05	0,10
9	28	30	3/1	60,69	1,93		
10	28	100	3/1	48,31	1,54		
11	28	100	3/1	42,21	1,34	1,42	0,11
12	28	100	3/1	42,46	1,35		

Fonte: O Autor

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados, pode-se concluir que os resíduos de concreto possuem características apropriadas para serem reutilizados e reciclados, objetivando reduzir os impactos ambientais e econômicos causados pelos índices de entulhos da construção civil.

Pelos resultados obtidos em ensaios de laboratório, no que tange à resistência à compressão em corpos-de-prova de concreto, pode-se observar que com adição de entulho temos uma queda na resistência, mas com o passar do tempo (cura), como demonstrado nos resultados, os valores vão aumentando, mesmo quando se usa um percentual maior de entulho.

Observa-se, também, uma queda nos resultados da resistência à compressão diametral com a adição de entulho. Entretanto, de acordo com os valores encontrados dentro de variações aceitáveis a aplicação de entulho na construção civil para fins não construtíveis, quando o percentual de adição de entulho atinge até 30% perde-se a capacidade de resistência de forma significativa.

Experimentalmente, foi comprovado através dos resultados obtidos que é possível utilizar a fração graúda do material reciclado ao desempenho mecânico do concreto. No entanto, compreende-se também, que apesar do bom comportamento apresentado, outros estudos devem ser realizados com o objetivo de confirmar os resultados obtidos no presente ensaio. Além disso, devem ser consideradas outras propriedades mecânicas como fluência e retração, bem como devem ser analisados os aspectos relativos à durabilidade das misturas de concreto.

Em síntese, o entulho obtido por meio de resíduos de concreto de calçadas, configura-se como uma alternativa para reciclagem, proporcionando a desoneração do meio-ambiente pela sua aplicação, inicialmente inservível, e que se mostrou com características de componente agregado na confecção de concreto para fins não estruturais.

5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO PARA A ÁREA DE ENSINO

Observa-se que termos como sustentabilidade e educação ambiental vêm assumindo cada vez mais a centralidade das relações socioeconômicas no Brasil. Contudo, a aplicabilidade de práticas pertinentes a essas temáticas no setor da indústria da construção civil ainda é incipiente. Quando é feito, geralmente é para atender a força da legislação, com ações pontuais e até mesmo descontinuadas.

Contudo, há que se atentar para a necessidade de reciclar os resíduos sólidos utilizados na área da construção civil, e que são comumente denominados de entulhos de obras, com o intuito de obter um material de baixo custo e de fácil aplicação.

No caso específico deste ensaio, que foi utilizado entulhos de concretos provenientes de restos de calçadas, constatou-se que os traços usados apresentam uma boa resistência e que é viável a aplicação do entulho como parte integrante de concreto sem função estrutural. Sugere-se que esse material obtido seja empregado para confeccionar artefatos de concreto ou até mesmo calçadas ou pisos.

Entretanto, é preciso realizar ensaios com outros materiais, bem como com o emprego de outros métodos de compressão, para buscar outras alternativas para mitigar os estragos feitos ao meio-ambiente, objetivando assegurar a preservação dos recursos naturais e evitar o desperdício no setor construtivo.

O produto que é decorrente desta dissertação não possui o intuito de ter um fim em si mesmo. Desse modo, anseia-se que os profissionais que utilizarem este ensaio, possam analisar outros tipos de entulhos e que os submeta a procedimentos que originem novas formulações que possam ser aplicadas nos canteiros de obras e que gerem novas políticas públicas para regular ações que evitem os desperdícios e a produção exacerbada de resíduos na área da construção civil.

6 REFERENCIAS

ABCP. Associação Brasileira De Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 24p. Disponível em: http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf. Acesso em: 14/03/2015.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.732 - **Cimento Portlandcomum-especificação**. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

_____. NBR 5.738 – **Concreto:** procedimento de moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de janeiro. 2008. 9p.

_____. NBR 7.211 - **Agregados para Concreto:** especificação. Rio de Janeiro, 2009, 12p.

_____.NBR 7.214 - **Normal para ensaio de cimento**. Rio de janeiro. 1982. 7p.

_____.NBR 7.215 - **Cimento Portland:** determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

_____.NBR 7.219 – **Agregados:** determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987. 8p.

_____. NBR 7.222 – **Argamassa e concreto**: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.3p.

_____. NBR 9.935 – **Agregados:** terminologia. Rio de Janeiro, 1987. 6p

_____. NBR 10.004 – **Resíduos Sólidos:** classificação. 2004.

_____. NBR 12.655 – **Concreto:** preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996, 7p.

_____. NBR 15.116 – **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural** – Classificação. 2004.

ANGULO, S.C. et al. **Separação óptica do material cerâmico dos agregados mistos de resíduos de construção e demolição**. Ambient. constr. [online]. 2013, vol.13, n.2, pp. 61-73. ISSN 1678-8621.

ARAGÃO, G.A. **Análise estrutural de lajes pré- moldadas produzidas com concreto reciclado de construção e demolição**. Maceió: 2007. Dissertação (Mestrado em estruturas) – Programa de Pós-graduação em Engenharia civil. Universidade Federal de Alagoas.

BANTHIA, N.; CHAN, C. **USE of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete**. Concrete International, v. 22, n. 06, p. 41-45, 2000.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. 5 ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2011. p. 471.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. s.l: 2002. 33-34p.

_____. **Resolução nº 348, de 16 de agosto de 200**4. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.

_____. **Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001**. Dispõe sobre o estabelecimento do código de cores para diferentes tipos de resíduos, a ser adotados na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Brasília: Diário Oficial da União, edição de 19 de junho de 2001.

_____. Casa Civil. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**, mediante a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acessado 14/03/2015.

BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M. E. **Revisão bibliográfica**: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil (Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry). Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf. Acessado 14/03/2015.

CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.; COSTA. B. et al. **Characterization of C&D waste and processed debris aiming the production of construction materials**. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proccedings…[CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 10p.

CIOCCHI, L. **Reciclagem de concreto**. Revista Pini Web. 24/Setembro/2003. Disponível em: http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/reciclagem-de-concreto-80112-1.aspx. Acesso em: 14/03/2015.

CRUZ, A.L.G. **Uma contribuição Metodológica para o Estudo do Comportamento do Fluxo Material em Processos Construtivos, em Obras de Edificações, na Indústria da Construção Civil**. Uma abordagem logística. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2002.

DORFMAN, G. **História do cimento e do concreto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003.

GALHARDO, P.G. **Estudo do setor cimenteiro**: produção e aplicação. Curso de Engenharia Civil. Projeto de Graduação. Rio de Janeiro: UFRJ, Escola Politécnica, 2014. Disponível em: http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012107.pdf.

GEBUR, C.L. **Utilização do entulho cerâmico da construção civil como agregado para concreto**. Curitiba, 2003.

GONÇALVES, R.D.C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto** - um novo material para dosagens estruturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and mansory.** London: Chapman & Hall, 1992. 316p. Part One: Recycl ed aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction. Technical report Nº 72. Center for Integrated Facility Engineering.** Department of Civil Engineering. Stanford University. 1992. p.75.

LATTERZA, L.M.; MACHADO JR, E.F. **Concreto com agregado graúdo reciclado:** propriedades no estado fresco e endurecido e aplicação em pré-moldados leves. 2003.

LEVY, S.M. **Reciclagem de entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concreto**. p.145-147. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 246p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto**: microestrutura, propriedades dos materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MONTEIRO, P.J.M. **Caracterização da microestrutura do concreto**: fases e interfaces; aspectos de durabilidade e de microfissuração. São Paulo, 1993. p.138. Tese (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MOURÃO, C.A.M.A.; NOVAES, M.V.; KEMMER, S.L.; NUNES, F.R. M. **Gestão de Fluxos Logísticos Internos na Construção Civil:** o caso de obras verticais em Fortaleza-CE http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/322.pdf. 2010. Acesso em: 14/03/2015.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

NOVAES, M.V. e MOURÃO, C.A.M.A. COOPERCON-CE – Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará. **Manual de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos na Construção Civil**, 1ª Ed., Marcos de Vasconcelos Novaes e Carlos Alexandre Martiniano do Amaral Mourão, 2008: Fortaleza, CE. 100 p.

PEREIRA, C.E. **Reaproveitamento do entulho como agregado reciclado em argamassa de revestimento**. Curitiba, 2003.

PETRUCCI, E.G. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1968.

PINTO, A.K.: **"A terceirização na manutenção: redução de custos ou opção estratégica?"**. In: Anais do 8º Congresso Brasileiro de Manutenção, 1993.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. p.189. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PIRES, A.P. **Estudo sobre a utilização de entulho fragmentado como agregado de concreto**. Trabalho de conclusão de curso. UTFPR, Curitiba, 2003.

PINHEIRO, L.M.; MUZARDO, C.D.; SANTOS, S.P. **Estruturas de concreto**. Cap. 1. USP. EESC. Dep. Eng. de Estruturas. Março de 2004. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/introducao.pdf Acesso em: 11/03/2015.

RILEM, T.C. 121-DRG. **Specifications for concrete with recycled aggregates.Materials and Structures**. V.27, p.557-559. Publicações RILEM SARL,1994.

SANTANA, V.M.; PAES, F.P.; SANTANA, D.S.; CERQUEIRA, M.B.S.; SILVA, Francisco G.S.; ARAGÃO, H.G. **UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO NA APLICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)/Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC)

Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas/BA - 44.380-000. 2011. Disponível em http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/0246_0254_01.pdf. Acessado em 14/03/2015.

SINDUSCON-MG; SENAI-MG. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil. Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil**. 3º. Ed. Rev. e Aum. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2008. 72p. CDU: 628.544: 624 – CONSTRUÇÃO CIVIL – RESÍDUOS SÓLIDOS.

SINDUSCON-SP. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil:** A experiência do SindusCon-SP. Tarcísio de P. Pinto – coordenador. São Paulo; Obra Limpa: I&T: SindusCon-SP, 2005. (Publicação SinudCon-SP). 48 p.

SOUZA, U.E. Lemes de. **Como Reduzir Perdas nos Canteiros**: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: PINi, 2005. 128 p.

VÁSQUEZ, E.; Barra, M. **Recycling of aggregates in the construction industry**. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings. [CDROM]. São Paulo: CIB, 2000.

VAZ FILHO, P.; CORDEIRO, J. S. **Gerenciamento de sistemas de drenagem urbana: uma necessidade cada dia mais intensa**. Revista Engenharia. Edição 541. São Paulo: Engenho editora técnica Ltda., p. 63-67, 2000.

XIAO, J.; SUN, Y.; FALKNER, H. **Seismic performance of frame structures with recycled aggregate concrete**. 2005.

ZORDAN, S.E. **Entulho da Indústria da Construção Civil**, 2001. Disponível em: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm. Acesso em: 23 ago. 2015.