



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

José Luiz da Cunha Neto

VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE POSTES COMO
AGREGADO GRAÚDO NA CONSTITUIÇÃO DE CONCRETO PARA FINS
ESTRUTURAIIS.

Palmas – TO

2016

José Luiz da Cunha Neto

VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE POSTES COMO
AGREGADO GRAÚDO NA CONSTITUIÇÃO DE CONCRETO PARA FINS
ESTRUTURAIS.

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado
como requisito parcial para aprovação Trabalho
de Conclusão de Curso II pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Dênis Parente

Palmas – TO

2016

José Luiz da Cunha Neto

VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE POSTES COMO
AGREGADO GRAÚDO NA CONSTITUIÇÃO DE CONCRETO PARA FINS
ESTRUTURAIS.

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado
como requisito parcial para aprovação Trabalho
de Conclusão de Curso II pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Dênis Parente

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Dênis Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Esp. Miguel Ângelo de Negri

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Msc. Murilo de Pádua Marcolini

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2016

RESUMO

CUNHA, J. L.

Viabilidade técnica da utilização de resíduos de postes como agregado graúdo na constituição de concreto para fins estruturais. 2016. 66 f. Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), Palmas-TO, 2016.

A construção civil representa um papel relevante sobre os aspectos socioeconômicos de qualquer país. Em razão disto e do grande crescimento dos centros urbanos nas últimas décadas notou-se a contribuição da construção civil no desenvolvimento de impactos ambientais relevantes, como a ocupação de novas áreas, removendo-se os ecossistemas naturais, e principalmente a geração de resíduos sólidos. Neste contexto a sociedade iniciou um esforço afim de mitigar estes impactos afetando da menor maneira possível o desenvolvimento da atividade de construção civil, haja vista sua grande importância econômica e social. O presente trabalho aborda a viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduos de postes de transmissão de energia elétrica (em concreto) como agregado graúdo na confecção de um novo concreto estrutural. Este estudo justifica-se por apresentar uma alternativa à destinação final de resíduos de postes descartados por empresas de distribuição de energia elétrica bem como uma alternativa ao consumo de produtos provenientes do extrativismo mineral na confecção do concreto. Neste projeto foram propostos diversos índices de substituição do concreto natural pelo agregado reciclado de demolição de postes de concreto e avaliaram-se as propriedades mecânicas e demais características do concreto final projetado. A viabilidade técnica das substituições foi avaliada por meio de testes comuns dos concretos estruturais: abatimento do concreto e resistência à compressão. Os resultados obtidos nos ensaios técnicos foram comparados com um concreto de referência constituído apenas com agregados naturais. E por fim foi realizada a avaliação técnica do concreto reciclado e propostas de utilização de acordo com os resultados apresentados.

ABSTRACT

CUNHA, J. L.

Technical feasibility of the use of concrete poles waste as aggregate in concrete constitution for structural purposes. 2016. 60 f. Research Project prepared and submitted as a partial requirement for approval on completion of Undergraduate Thesis by Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), Palmas-TO, 2016.

The construction is an important role on socioeconomic aspects of any country. Because of this and the great growth of urban centers in recent decades was noted the contribution of construction in the development of relevant environmental impacts such as the occupation of new areas, removing natural ecosystems, especially the generation of solid waste. In this context the company began an effort in order to mitigate these impacts affecting the smallest way possible the development of civil construction activity, given its great economic and social importance. This paper discusses the technical and economic feasibility of using waste electricity transmission poles (concrete) as aggregate in making a new structural concrete. This study is justified by presenting an alternative to disposal of waste discarded poles for electricity distribution companies as well as an alternative to the consumption of products from mineral extraction in the manufacture of concrete. In this project we have been proposed several replacement rates of natural concrete for recycled aggregate concrete poles demolition and evaluated the mechanical properties and other characteristics of the final shotcrete. The technical feasibility of replacements was assessed by common evaluation of structural concrete tests: Specific concrete mass dry, concrete reduction and resistance to compression. The results obtained in technical tests were compared with a reference concrete made with only natural aggregates. Finally the technical evaluation was performed recycled concrete, and proposed use according to the results presented.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção civil com implementação da reciclagem (adaptado: DUARTE, 2015)	18
Figura 2 - Poste em concreto após colisão de transito (Fonte: Lorenzi, 2015)	21
Figura 3 - Agregado reciclado à esquerda e natural à direita.	32
Figura 4 - Gráfico da curva granulométrica do agregado natural.	39
Figura 5 - Gráfico da curva granulométrica do agregado reciclado.	40
Figura 6- Gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo.	42
Figura 7 - Proporcionalamento dos materiais constituintes do concreto.	44
Figura 8 - Slump do concreto de referência.	46
Figura 9- Slump do concreto com 25% de substituição.	48
Figura 10 - Slump do concreto com 50% de substituição.	50
Figura 11 - Slump do concreto com 75% de substituição.	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência a compressão dos CP do concreto de referência.	53
Gráfico 2 - Resistência a compressão dos CP do concreto com 25% de substituição.....	54
Gráfico 3 - Resistência a compressão dos CP do concreto com 50% de substituição.....	56
Gráfico 4 - Resistência a compressão dos CP do concreto com 75% de substituição.....	57
Gráfico 5 - Resistência x Grau de substituição.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantitativo de postes demolidos no ano de 2015.....	21
Tabela 2 - Resultados do ensaio de compressão do concreto de referência.....	53
Tabela 3 - Resultados do ensaio de compressão do concreto com 25% de substituição.	54
Tabela 4- Resultados do ensaio de compressão do concreto com 50% de substituição.	55
Tabela 5 - Resultados do ensaio de compressão do concreto com 75% de substituição.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização dos resíduos de distribuição de energia.	19
Quadro 2 - Composição granulométrica final do agregado natural.	39
Quadro 3 - Composição granulométrica final do agregado reciclado.	40
Quadro 4 - Composição granulométrica final do agregado miúdo.	41
Quadro 5 - Massa específica, aparente e absorção de água.	42
Quadro 6 - Massa específica, aparente e absorção de água.	43
Quadro 7 - Massa específica e aparente.	43
Quadro 8 - Memorial de cálculo para traço de 100% de agregado natural.	45
Quadro 9- Memorial de cálculo para traço de 25% de substituição.	47
Quadro 10 - Memorial de cálculo para traço de 50% de substituição.	49
Quadro 11 - Memorial de cálculo para traço de 75% de substituição.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARC	Agregado reciclado de concreto
ACI	American Concrete Institute
CCR	Concreto compactado com rolo
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CP	Cimento Portland
ENBRI	European Network of Building Research Institute
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
RCD	Resíduo de construção e demolição
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

LISTA DE SÍMBOLOS

m^2	Metros quadrados
N	Newton
Pa	Pascal (N/m ²)
Fck	Resistência à compressão do Concreto
MPa	Mega Pascal
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2. HIPÓTESE	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. <i>Objetivo Geral</i>	14
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	14
1.4. JUSTIFICATIVA.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	15
2.1.1. <i>Definição e classificação dos resíduos de construção civil</i>	15
2.1.2. <i>Impactos ambientais relacionados aos RCD</i>	16
2.1.3. <i>Gestão de resíduos de construção e demolição</i>	17
2.1.4. <i>RCD proveniente de distribuição de energia elétrica</i>	19
2.1.4. <i>Agregados reciclados de RCD</i>	22
2.2. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS RECICLADOS	22
2.2.1. <i>Composição</i>	22
2.2.2. <i>Forma e textura</i>	23
2.2.3. <i>Absorção de água</i>	23
2.2.4. <i>Massa específica</i>	24
2.2.5. <i>Resistência a compressão</i>	24
2.2.6. <i>Granulometria e teor de finos</i>	25
2.2.7. <i>Outras características</i>	25
2.2.8. <i>Normas e especificações para agregados reciclados</i>	25
2.3. CONCRETO ESTRUTURAL	26
2.4. CONCRETOS CONFECCIONADOS COM AGREGADOS RECICLADOS	27
2.4.1. <i>Massa específica</i>	27
2.4.2. <i>Trabalhabilidade</i>	27
2.4.3. <i>Resistência a compressão</i>	28
2.4.4. <i>Resistência a tração</i>	29
2.4.5. <i>Durabilidade</i>	29
2.4.6. <i>Dosagem de concretos com agregados reciclados</i>	30
3. METODOLOGIA	31
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS	31

3.2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	31
3.2.1. <i>Preparação das amostras</i>	31
3.2.2. <i>Caracterização da composição granulométrica dos agregados</i>	32
3.2.3. <i>Caracterização massa específica, aparente e absorção de água do agregado graúdo.</i>	33
3.2.4. <i>Caracterização massa específica, massa específica aparente do agregado miúdo</i>	34
3.2.5. <i>Escolha do método de dosagem do concreto</i>	35
3.2.6. <i>Ensaio de abatimento</i>	37
3.2.7. <i>Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos</i>	37
3.2.8. <i>Ensaio de resistência a compressão</i>	37
3.2.10. <i>Massa específica do concreto</i>	Erro! Indicador não definido.
3.5. CARACTERIZAÇÃO FINAL DO CONCRETO	38
4. RESULTADOS	39
4.1. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS	39
4.1.1. <i>Agregado graúdo natural</i>	39
4.1.2. <i>Agregado graúdo reciclado</i>	40
4.1.3. <i>Agregado miúdo</i>	41
4.2. MASSA ESPECÍFICA, APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA DO A. GRAÚDO	42
4.2.1. <i>Agregado graúdo natural</i>	42
4.2.2. <i>Agregado graúdo reciclado</i>	42
4.3. ANÁLISES DE MASSA ESPECÍFICA, APARENTE DO AGREGADO MIÚDO	43
4.5.1. <i>Concreto de referência</i>	52
4.5.2. <i>Concreto com 25% de substituição</i>	53
4.5.3. <i>Concreto com 50% de substituição</i>	55
4.5.4. <i>Concreto com 75% de substituição</i>	56
5. CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	66

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil representa na atualidade um dos maiores consumidores de recursos naturais em todo o mundo (JOHN, 2000). Além disso é a maior geradora de resíduos em massa e volume nos ambientes urbanos. A falta de políticas e diretrizes que se relacionam com estes resíduos culmina na disposição inadequada dos mesmos nos ambientes urbanos e naturais, acarretando impactos expressivos sobre o meio ambiente, tanto urbano quanto rural (ANGULO, 2002).

De acordo com dados da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental os resíduos de construção e demolição (RCD) representam um montante de 40 a 70% de todos os resíduos sólidos gerados no país. A limpeza deste material disposto inadequadamente nos ambientes urbanos gera aos municípios um alto custo, uma vez que não podem ser dispostos em aterros sanitários comuns (PINTO, 1999), recurso este que poderia ser utilizado em benefício da sociedade e melhoria de infraestrutura urbana.

Desta forma a reciclagem de resíduos de construção civil se mostra uma alternativa eficaz na diminuição da extração de recursos naturais para insumos de construção civil, na manutenção de um ambiente urbano saudável, diminuição dos gastos municipais e aumento da geração de empregos (ANGULO, 2002).

Apesar de se apresentar como uma alternativa viável para todos os problemas supracitados a reciclagem não é um processo simples e o produto gerado necessita passar por rígido controle de qualidade para que este produto possa chegar ao mercado de forma competitiva o suficiente para gerar todos os benefícios que promete. Ou seja, não basta que se adote a reciclagem do RCD, é necessário que se atenda às exigências do mercado, para que o mesmo possa absorver o produto (MOREIRA, 2010).

Desta forma, para que haja viabilidade da reciclagem do RCD devem ser levados em consideração aspectos como desempenho técnico do produto reciclado, impactos ambientais causados pelo próprio processo de reciclagem e disposição do resíduo reciclado ao final da cadeia produtiva e viabilidade de mercado (PIETRA, 2005 apud MOREIRA, 2010).

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos para a viabilizar a utilização destes agregados reciclados na constituição do concreto, entre eles podem ser citados estudos de avaliação de massa específica de agregados provenientes de RCD e seus reflexos nas propriedades do concreto (CARRIJO, 2005), utilização de fibras de aço em concretos produzidos com agregados graúdos reciclados (PIETRA, 2005), utilização de agregados reciclados de RCD em base de estrutura de pavimentação (MIRANDA et al, 2009), estudos dos reflexos da utilização de

agregados graúdos e miúdos provenientes de RCD nas propriedades de concretos estruturais (TENÓRIO, 2007, GOMES & PIMENTEL, 2015) e outros.

Todos estes trabalhos geram um arcabouço importante para os estudos de utilização de materiais reciclados de RCD na constituição de concretos estruturais. Muitos deles mostram resultados positivos para esta área, como o estudo de Carrijo (2005) que estudou a utilização de resíduos de RCD separados por densidade na composição do concreto. Neste estudo o autor verificou a relação direta entre a densidade do agregado e a faixa de resistência final do concreto projetado.

Outros trabalhos como o de Tenório (2007), que realizou o estudo sobre a substituição de agregados miúdo e graúdo na composição de concreto estrutural, obteve resultados ainda mais surpreendentes onde o concreto composto por agregados reciclados obtiveram resistência mecânica superiores aos concretos de referência.

Estes e outros trabalhos são os que motivam o estudo da viabilidade técnica da utilização de RCD proveniente de postes na composição de um concreto com fins estruturais, uma vez que a fonte do agregado garante uma homogeneidade das características do mesmo, tanto em relação à densidade quanto a materiais constituintes e demais características.

A viabilidade da utilização deste agregado possibilita também a sustentabilidade da cadeia produtiva de postes que cresce a cada ano junto com a urbanização, uma vez que o aço oriundo da demolição dos postes já é reciclado e utilizado para outros fins.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

É possível se utilizar resíduos de demolição de postes de concreto na composição de um concreto para fins estruturais?

1.2. HIPÓTESE

A hipótese é de que este agregado reciclado de concreto (ARC) oriundo de postes, devido sua origem e homogeneidade, apresenta característica tão próximas aos naturais que poderiam propiciar a confecção de um concreto com aplicabilidades estruturais, ou mesmo reutilização na cadeia de produção de novos postes.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de concreto de postes como substituto parcial do agregado graúdo na confecção de um novo concreto com fins estruturais.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Investigar porosidade, massa específica e absorção de água dos agregados naturais e reciclados e elaborar o traço mais adequado;
- Analisar a influência do teor de substituição do agregado na resistência do concreto reciclado à compressão;
- Propor uma dosagem dos componentes e teor de substituição adequados para constituição de um concreto passível de utilização para fins estruturais.
- Identificar o melhor teor de substituição de agregado natural por agregados reciclados para constituição de um novo poste.

1.4. JUSTIFICATIVA

Com o aumento da preocupação das nações e empresas com o meio ambiente surgiram diversos esforços e pesquisas no intuito de se diminuir o consumo desenfreado dos bens naturais não renováveis. Dentro desta prerrogativa é que se insere a presente pesquisa, tentando diminuir o volume de resíduo gerado pela atividade de distribuição de energia elétrica e diminuir o consumo das jazidas minerais que produzem material utilizado como agregado graúdo na construção civil. Do ponto de vista acadêmico e científico este trabalho tem perfil extremamente prático e gera informações úteis nos campos de pesquisa da engenharia civil e engenharia ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

2.1.1. Definição e classificação dos resíduos de construção civil

De forma generalizada os resíduos de construção e demolição podem ser caracterizados como todo resíduo produto de construções, reparos, reformas e demolições de estruturas e estradas (LEITE, 2001).

Os resíduos de construção e demolição (RCD) podem ser composto por diversos materiais, a depender de sua origem. Dentre estes materiais constituintes estão asfalto, concreto, concreto armado, solos, pedras, agregados, madeira, cerâmica, vidros, PVC e metais UEST, (2006).

A classificação dos resíduos foi desenvolvida afim de realizar o enquadramento dos mesmos tendo como parâmetro o risco ambiental que representam. No Brasil a norma que se incube de realizar tal enquadramento é a NBR 1004:2004 – “Resíduos Sólidos – Classificação”. Nesta norma os resíduos de construção civil podem ser enquadrados como “Resíduos de Classe II B – Inertes”, uma vez que apresentam baixos riscos ao meio ambiente devido suas características mineralógicas praticamente inertes do ponto de vista químico (ABNT, 2004).

Apesar desta classificação comumente atribuída aos resíduos de construção e demolição (RCD), atualmente já sabe-se que estes resíduos não são tão inofensivos. Os RCD são materiais pesados e de grande volume, podem ocupar grandes áreas em aterros sanitários e quando dispostos em locais indevidos podem contaminar solos e água por meio da lixiviação por materiais de pintura e de tratamento de superfícies solubilizados (TORRING, 1998).

Angulo (2001) afirma que os resíduos de construção e demolição em sua grande maioria volumétrica podem ser classificados como inertes, entretanto devido sua grande variabilidade e a depender de sua origem pode apresentar constituintes que se enquadram em todas as classes citadas na norma, ou seja, perigoso, não inerte e inerte.

Lima (1999) propôs uma classificação específica aos resíduos de construção e demolição, onde os parâmetros de classificação foram elaborados levando em consideração os diferentes tipos de resíduos disponíveis para reciclagem, classificações disponíveis no exterior, condições operacionais das usinas de reciclagem e arcabouço técnico existente na bibliografia. A proposta deste autor contempla 6 classes de RCD, listadas a seguir:

- Classe 1: Resíduo de concreto sem impurezas – Material composto de concreto estrutural simples ou armado, com teores limitados de alvenarias, argamassas e impurezas;
- Classe 2: Resíduo de alvenaria sem impurezas – Material composto de argamassas, alvenaria e concreto, com presença de outros inertes como areia, pedras britadas e etc, com teores limitados de impurezas;
- Classe 3: Resíduos de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas – Material composto por argamassas, concreto e alvenaria com baixo teor de materiais cerâmicos, podendo conter outros materiais inertes como areia e pedra britada;
- Classe 4: Resíduos de alvenaria com presença de terra e vegetação – Material análogo ao da classe 2, porém admite presença limitada presença de terra e vegetação;
- Classe 5: Resíduo composto por terra e vegetação – Material composto em sua maioria por terra e vegetação, pode conter também concretos, argamassas e outros constituintes;
- Classe 6: Resíduo com predominância de material asfáltico – Material composto predominantemente de rejeitos de pavimentação asfáltica com presença de concretos, argamassas e outras impurezas.

Observa-se que a classificação proposta pelo autor não é completamente restritiva em termos das características do rejeito, entretanto devido da construção civil nacional não há a separação dos resíduos na obra, dificultando os processos de reciclagem e sua padronização.

2.1.2. Impactos ambientais relacionados aos RCD

Apesar de reconhecida importância para o desenvolvimento social e econômico de um país, os danos ao meio ambiente oriundos da indústria da construção civil são significativos (CORTE & DUARTE, 2014).

Estes impactos se instauram sobre os mais diversos compartimentos ambientais e muitas vezes implicam em danos irreversíveis. Estes impactos são percebidos em todas as etapas do processo produtivo desta indústria, desde a extração de recursos naturais para fabricação de insumos até a deposição inadequada no fim da cadeia produtiva (PASCHOALIN FILHO & GRAUDENZ, 2012).

Em meio a todos os impactos identificados na cadeia produtiva da construção civil, na etapa da produção de insumos podem-se identificar o esgotamento das jazidas de recursos naturais não renováveis, mudança extrema dos ecossistemas, modificação de paisagens, deterioração da qualidade ambiental, erosão dos solos, desmatamento, emissão de gases

poluentes da atmosfera, lançamento de efluentes e poluição sonora (MENEGUETTI, 2012; PASCHOALIN FILHO & GRAUDENZ, 2012).

Na etapa da construção propriamente dita pode-se observar o desperdício de insumos e a grande geração de resíduos e rejeitos. Estes resíduos quando dispostos inadequadamente geram impactos ambientais negativos tanto nos ambientes urbanos quanto natural. Os resíduos dispostos em áreas urbanas impactam diretamente na qualidade de vida dos habitantes do município, que ficam vulneráveis a vetores de doenças e pragas urbanas que proliferam em meio ao resíduo (MORAIS, 2012).

Quando disposto em regiões de ecossistemas naturais estes resíduos podem vir a contaminar corpos hídricos (tintas, solventes e químicos), modificar ecossistemas, paisagens e a promover a proliferação de espécies faunísticas urbanas (MORAIS, 2012).

Desta forma os resíduos da construção civil se revelam um problema para a sociedade, tanto em âmbito social, econômico e ambiental. A falta de controle por parte do governo na e a má conduta dos construtores disposição dos resíduos prejudicam o meio ambiente, esgotam os recursos naturais não renováveis e diminuem a vida útil dos aterros sanitários (MARZOUK & AZAB, 2014).

Ainda de acordo com Marzouk e Azab (2014), a reciclagem dos resíduos de construção e demolição geram reduções no consumo de energia e nas emissões atmosféricas (na etapa de produção de insumos), economiza espaço em aterros, reduz a exploração de recursos naturais e cria uma nova indústria. Do ponto de vista financeiro é muito mais vantajoso realizar a reciclagem e reutilização destes resíduos do que arcar com os custos diretos da mitigação dos impactos ambientais decorrentes.

2.1.3. Gestão de resíduos de construção e demolição

Na última década, por conta do crescimento da urbanização, o ramo da construção civil experimentou um estrondoso desenvolvimento. Junto com este desenvolvimento cresceu também o volume de resíduos gerados, com destaque para os resíduos de construção e demolição (DUARTE, 2015).

A demolição de edificações em fim de vida representa uma enorme parcela da geração destes resíduos e os materiais utilizados nestas edificações é que caracterizam os resíduos finais produzidos (SILVA, 2004).

A melhoria do desempenho do setor da construção civil deve ser uma prioridade pois sua produção gera uma série de impactos ambientais e sociais (DUARTE, 2015).

A solução encontrada para que os resíduos de construção e demolição deixassem de ser um dos principais problemas inerentes a urbanização foi considerar que estes resíduos poderiam ser reciclados ou reutilizados, dando-lhes assim uma segunda vida (VEIGA & RUIVO, 2004 apud DUARTE, 2015).

A reutilização e reciclagem de RCD permitem a diminuição do volume de recursos naturais extraídos para dar origem aos insumos da construção civil, diminuem o volume ocupado nos aterros e alivia a maioria dos impactos ambientais supracitados (MARTINS, 2008).

A gestão adequada destes resíduos possibilita a sustentabilidade da indústria da construção civil, diminuindo-se os impactos ambientais e fechando a cadeia produtiva (MIRANDA et al, 2009).

Após a fabricação do concreto procede-se a construção das edificações e obras de infraestrutura. Quando sua vida útil chega ao fim recorre-se à demolição, o que gera maior parte dos resíduos. Com a implementação da reciclagem dos materiais, grande parte dos resíduos podem voltar a se tornar matéria prima e entrar na composição de uma nova edificação (DUARTE, 2015).



Figura 1 - Construção civil com implementação da reciclagem (adaptado: DUARTE, 2015)

2.1.4. RCD proveniente de distribuição de energia elétrica

A maioria dos processos produtivos provenientes das relações sociais e econômicas resultam em impactos ambientais, sejam estes a emissão de gases, consumo de recursos naturais ou geração de resíduos sólidos e líquidos (SANCHEZ, 2015).

A distribuição de energia elétrica nos centros urbanos tem seus principais impactos ambientais associados à geração de resíduos de toda ordem. São gerados resíduos de papelão, papel, madeira, óleos minerais, resíduos metálicos, cerâmica e concreto, sendo este último o de maior representatividade em massa e volume. Obviamente os impactos são mínimos diante da importância do serviço prestado para a sociedade em geral, entretanto qualquer ação no sentido de se diminuir este impacto é bem-vinda (GODOY 2011).

No Quadro 1 a seguir podemos observar os resíduos decorrente da atividade de distribuição de energia e sua possível destinação:

Quadro 1- Caracterização dos resíduos de distribuição de energia.

ITEM	RESÍDUO	FONTE	APLICABILIDADE
1	Concreto	Postes dos tipos duplo T e circular	Areia, brita e bica corrida para uso em pavimentação, contenção de encostas, canalização de córregos, e uso em argamassas e pode-se fabricar componentes de construção - blocos, briquetes, tubos para drenagem, placas.
2	Porcelana	Chaves, isoladores e pára-raios	CCR - concreto compactado com rolo de uso recente na construção de barragens de usinas hidroelétricas, e em contra pisos de bases de torres de transmissão e subestações de energia e como agregados na fabricação de pisos, bancos de praças públicas e mesas.
3	Vidro	Lâmpadas e isoladores	Reciclagem
4	Madeira	Postes, pallets, embalagens, ramos e galhos de árvores, cruzetas.	Combustão, mourões para sustentação de cercas e currais, postes particulares para instalação interna em propriedades particulares rurais, briquete, como pilares de sustentação de construção rústica.
5	Sucata Metálica	Acessórios ferrosos e não ferrosos (elos fusíveis, mão francesas, parafusos, alças preformadas, fios e cabos em diversas bitolas e tipos, ou seja, isolados e nus, conectores, cintas, suportes, arruelas e porcas), ferragens de poste de concreto.	Reciclagem

6	Plástico	Caixas de proteção, distribuição e de medidores, pára-raios e materiais isolantes dos condutores	Reciclagem energética, baldes, cabides, garrafas de água sanitária, conduítes, sacos de lixo, cordas, fios de costura e cerdas de vassouras e escovas, manequins plásticos, garrafas de detergentes, carpetes e enchimentos de travesseiros, contentores (carrinhos) para rejeitos, caixa e pallets, “madeira plástica”
7	Papelão	Caixas de embalagens dos equipamentos	Reciclagem
8	Óleos	Equipamentos em geral como transformadores, religadores, reguladores, seccionalizadores	Co-processamento
9	Pilhas e baterias	Banco de baterias de subestações e de celulares, pilhas de coletores, câmeras fotográficas e digitais	Os componentes são encaminhados ao processo químico para obtenção de sais e óxidos metálicos utilizados em indústrias cerâmicas, refratárias, de colorífico cerâmico, de vidro e de química em geral

Fonte: GODOY (2011).

De acordo com dados fornecidos pela empresa concessionária de distribuição de energia elétrica no estado do Tocantins, ENERGISA, no ano de 2015 foram descartados 3940 postes de concreto armado (ENERGISA, 2016).

De acordo ainda com a ENERGISA o principal fator de demolição dos postes de distribuição de energia elétrica é a colisão de automóveis, que danifica completamente os postes como pode-se observar na Figura 2, onde Lorenzi (2015) mostra os resultados da colisão de um automóvel em um poste de concreto de distribuição de energia. Lorenzi (2015) realizou um estudo que avaliou os efeitos das colisões automobilísticas sobre os postes de concreto através da metodologia da tomografia ultrassônica (ENERGISA, 2016).



Figura 2 - Poste em concreto após colisão de transito (Fonte: Lorenzi, 2015)

A seguir a tabela com os quantitativos de postes demolidos no ano de 2015 por mês e a média mensal:

Tabela 1- Quantitativo de postes demolidos no ano de 2015.

Mês	Quantidade
Janeiro	124
Fevereiro	218
Março	297
Abril	222
Maio	293
Junho	243
Julho	371
Agosto	270
Setembro	277
Outubro	515
Novembro	630
Dezembro	480
Total	3940
Média mensal	328

Fonte: ENERGISA, 2016.

2.1.4. Agregados reciclados de RCD

O agregado reciclado é definido como um produto granular obtido através do processamento industrial de materiais inorgânicos obtidos dos rejeitos da construção civil e novamente aplicados à construção civil (LEITE, 2001).

Para que se produza agregados de qualidade para utilização nas obras civis é necessário que seja realizado o adequado beneficiamento para garantir graduação específica, diâmetro máximo característico adequado ao concreto projetado e característica de inércia química (LEVY, 2001).

O beneficiamento dos agregados oriundos de resíduos de construção e demolição reciclados é caracterizado pelas etapas de coleta, transporte, separação de materiais indesejáveis, britagem, peneiramento e estocagem dos agregados até sua utilização. Os equipamentos utilizados no beneficiamento dos agregados naturais, em muitas vezes, podem ser utilizados para o beneficiamento dos agregados de RCD reciclado (MOREIRA, 2010).

O material a ser reciclado terá que ser britado peneirado e quando necessário descontaminado, após o que poderá ser aplicado para vários propósitos como aterros, drenagens de grandes áreas, materiais para base ou sub-base de pavimentos rodoviários e produção de novos concretos. Como se percebe, a qualidade dos agregados na durabilidade dos concretos, será extremamente importante, portanto justifica-se a necessidade e a preocupação em apresentar uma forma de classificação para os mesmos, para isso, serão apresentados critérios de classificação, baseados na origem, na forma e textura, assim como na granulometria (LEVY, 2001).

2.2. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS RECICLADOS

2.2.1. Composição

Segundo TENÓRIO (2007) os agregados oriundos reciclados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) apresentam características bastante diversas devido à variabilidade de seus constituintes. Nestes constituintes podem-se identificar os mais diversos materiais utilizados na indústria da construção civil e este fato torna muito difícil a padronização deste agregado para uma utilização específica.

Entretanto observa-se que a fração mineral do RCD passível de reciclagem como agregado para argamassa e concreto é significativa e revela um importante aspecto ambiental da indústria da construção civil (TENÓRIO, 2007).

A heterogeneidade dos materiais obtidos do RCD se reflete na variabilidade da composição dos agregados resultantes e conseqüentemente em uma variabilidade das

características específicas destes agregados (JOHN et al, 2006), uma vez que dependendo das características da obra podem ser identificadas proporções diferentes de cada material.

Entretanto a atividade de distribuição de energia gera um resíduo de demolição bastante específico, em sua maioria (volumétrica) oriundo de postes em concreto armado. Estes resíduos apresentam uma certa homogeneidade quanto a composição e granulometria após drenagem (GODOY, 2011). O que facilita sua utilização em um concreto específico, no caso deste artigo: concreto com fins estruturais.

2.2.2. Forma e textura

Em sua maioria, os agregados reciclados de RCD apresentam rugosidade superior a de agregados naturais e textura mais áspera. Quanto a sua forma costumam apresentar uma angulosidade bem maior que a de agregados naturais, principalmente quando há grande parcela de materiais cerâmicos na composição volumétrica do RCD em questão (MOREIRA, 2010).

Estas características inerentes aos agregados reciclados de RCD impactam diretamente nas características do concreto em estado fresco, e de uma forma menos significativa no estado endurecido (MOREIRA, 2010). As características do agregado graúdo proveniente de RCD que influenciam o concreto em seu estado endurecido são resistência a compressão e massa específica, que serão abordados a seguir.

Entretanto a rugosidade elevada apresentada pelo agregado reciclado pode ser uma característica apreciável quando se necessita uma maior aderência entre o agregado e a pasta, característica útil para aplicabilidade de determinadas argamassas (SAGOE-CRENTSIL, BROWN, TAYLOR, 2001 apud MOREIRA, 2010).

As especificidades apresentadas pelos agregados de RCD reciclado podem apresentar grande variabilidade em função da metodologia de cominuição e da origem do RCD (LEITE, 2001).

2.2.3. Absorção de água

A característica de absorção de água por parte do agregado é diretamente proporcional à sua porosidade, um fator determinante à utilização do agregado reciclado em um novo concreto (TENÓRIO, 2007).

Em decorrência da grande porosidade encontrada na maioria dos agregados reciclados podemos observar um aumento também na sua propriedade de absorção de água (Angulo, 2000). Desta forma é necessário que se façam ensaios para determinar esta característica antes de propor uma utilização para qualquer agregado reciclado.

Ainda segundo Angulo (2000) a porosidade dos agregados de RCD é maior em resíduos de concreto/argamassa do que em resíduos de rochas, e ambos os resíduos possuem maior porosidade do que o agregado convencional.

De acordo Ternório (2007 apud Hansen e Narud, 1983) esta propriedade de maior porosidade e maior absorção de água presente nos agregados reciclados decorrem da argamassa aderida. Ainda segundo o mesmo autor quanto menor a granulometria deste agregado maior proporção de argamassa aderida em relação a superfície específica do agregado.

Esta característica de absorção maior de água em agregados reciclados não é a única mudança quando se compara com agregados convencionais. Carrijo (2005) constatou em seu estudo que agregados reciclados de RCD também absorvem água mais rapidamente que os convencionais. Segundo ele alguns agregados chegam a 85% da absorção total de água nos primeiros 10 minutos.

2.2.4. Massa específica

A massa específica também é uma característica que se relaciona com a porosidade do agregado, entretanto de forma inversamente proporcional (TENÓRIO, 2007). Carrijo (2005) em seu estudo de classificação e separação do RCD comprovou que o agregado reciclado de RCD tem sempre massa específica menor que o agregado natural, em seus resultados a massa específica do agregado reciclado chegou a 67% da massa específica de um agregado natural.

De acordo com Neville (1997) esta diferença entre as massas específicas do agregado natural e reciclado é fator preponderante no traço de um concreto. Se faz necessário então caracterizar o agregado reciclado adequadamente afim de realizar a dosagem eficaz do concreto para obter a resistência projetada, uma vez que o percentual do volume do agregado no traço do concreto influencia diretamente as propriedades mecânicas do mesmo.

2.2.5. Resistência a compressão

A característica de resistência a compressão do agregado não é usualmente mensurada devido à dificuldade da realização dos ensaios com partículas isoladas. Entretanto também é uma característica que influencia bastante a resistência final do concreto (TENÓRIO, 2007 apud NEVILLE, 1997; MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (1997) uma forma eficaz de avaliar a resistência à compressão de um agregado graúdo de resistência desconhecida é avaliando a resistência final do concreto em relação a outro corpo de prova cujo agregado graúdo tenha resistência conhecida. A avaliação

dos corpos de prova rompidos também podem fornecer informações importantes. Ao observar a face de rompimento podemos constatar se os agregados foram rompidos ou se foi a argamassa.

Carrijo (2005) observou que em corpos de prova com concretos reciclados de RCD apresentaram resistência menor que os agregados naturais e que a grande variabilidade de constituintes de agregados torna a utilização de agregados reciclados difícil de se padronizar.

2.2.6. Granulometria e teor de finos

A granulometria dos agregados reciclados varia de acordo com a composição do resíduo de origem, com o método ou aparelho utilizado na cominuição e operações diversas realizadas em seu beneficiamento, isto dificulta a padronização de sua granulometria (TENÓRIO 2007 apud ANGULO, 2000; LIMA, 1999).

Segundo Bazuco (1999) a granulometria e o material de origem do resíduo de construção e demolição que dará origem ao agregado são o motivo da diminuição de 5 a 10% da massa específica dos agregados reciclados em relação aos naturais.

O teor de finos e materiais pulverulentos presentes em agregados reciclados são maiores que os identificados em agregados naturais devido à presença de cimento nestes resíduos. Durante a cominuição destes agregados é que se forma a maior parcela dos finos e materiais pulverulentos (LIMA, 1999).

Ainda segundo este autor após a retirada desta fração (inferior a 0,15 mm) os agregados reciclados apresentam curvas granulométricas muito próximas às de agregados naturais.

Gomes (et al. 2005) que ensaiou e caracterizou agregados reciclados de RCD constatou que os mesmos atendiam ao parâmetros limite da NBR 15116 (2004) e também dentro da variabilidade reconhecida na literatura.

2.2.7. Outras características

O agregado reciclado pode apresentar uma trabalhabilidade menor do que o agregado natural devido à sua maior rugosidade proveniente da argamassa aderida. Costumam também ser mais lamelares que os agregados naturais variando de acordo com o resíduo de origem e o aparelho de cominuição (CARNEIRO et al. 2001; LEITE, 2001).

2.2.8. Normas e especificações para agregados reciclados

Em diversos países há normativas específicas para utilização de agregados reciclados em concretos para diversos fins, garantindo sua utilização de maneira mais segura e eficaz (LEITE, 2001).

A primeira nação a propor uma normativa para a utilização de agregados reciclados na composição do concreto foi o Japão. A normativa japonesa prevê a quantidade de impurezas encontrada nos agregados, fornece parâmetros de dosagem e resistência de dosagem em relação aos concretos convencionais (LEITE, 2001).

O pioneirismo japonês provavelmente se deve à escassez de matéria prima natural, devido suas próprias condições geográficas.

E às condições geográficas privilegiadas e abundância em matéria prima é que o Brasil só veio ter uma normativa acerca da utilização de agregados reciclados em 2004 com a normativa ABNT NBR 15116, que estabelece as diretrizes e requisitos da utilização de agregados reciclados na composição de concreto sem função estrutural e utilização em pavimentação (ABNT, 2004).

Esta normativa define o agregado reciclado como “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis” (ABNT, 2004).

A normativa ABNT NBR 15116 atende à resolução CONAMA 307 e classifica os agregados reciclados em 4 classes:

- Classe A: São resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados e compreende resíduos de obras de infraestrutura e pavimentação, inclusive solos oriundos de terraplanagem;
- Classe B: São resíduos recicláveis para outras destinações tais como plásticos, madeira, plásticos e metais;
- Classe C: Esta classe abrange os resíduos que ainda não possuem tecnologias ou aplicações que viabilizem sua reutilização na construção civil;
- Classe D: São resíduos perigoso oriundos da construção civil, como resíduos de tintas e solvente.

Esta normativa ainda dispõe os requisitos gerais para a aplicabilidade destes resíduos, de acordo com suas características e origem. Entretanto não atende aos concretos com fins estruturais.

2.3. CONCRETO ESTRUTURAL

O concreto comum é formado por três componentes básicos: aglomerante hidráulico (cimento), agregado graúdo e agregado miúdo. Este tipo de concreto tem por característica básica a grande resistência a compressão e não é destinado a peças que deveriam suportar tração, como vigas. O concreto comum é destinado a pisos, calçamentos e peças comprimidas

em geral. O concreto destinado a suportar tração deve possuir armadura metálica em seu interior (concreto armado) (KISHIMOTO, 2013).

A avaliação técnica do concreto é a identificação das propriedades pertinentes a cada tipo de concreto e enquadramento do mesmo quanto aos parâmetros exigidos na normativa pertinente. Para os concretos simples (sem armadura metálica interna) a normativa que classifica o mesmo como concreto estrutural é a ABNT NBR 8953:2015.

Segundo esta normativa ABNT NBR 6118:2014 o concreto estrutural é definido como “Termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural”. Mais especificamente a ABNT NBR 8953:2015 define e define concreto estrutural mais especificamente de acordo com sua resistência a compressão, que é fixada e classificada de 25 a 100 MPa.

2.4. CONCRETOS CONFECCIONADOS COM AGREGADOS RECICLADOS

2.4.1. Massa específica

De forma geral, devido às características de seus componentes, os agregados reciclados apresentam massa específica menor quando comparados a agregados naturais. Conseqüentemente o concreto confeccionado com este tipo de agregado é um concreto mais leve e de menor massa específica. A massa específica do concreto diminui na proporção em que se substitui o agregado natural pelo reciclado (GOMES & PIMENTEL, 2015).

Alguns autores identificaram reduções de 4 a 10% de redução na massa específica do concreto reciclado em relação ao concreto de referência, confeccionados com agregados naturais (LEITE, 2001 apud GOMES & PIMENTEL, 2015).

A massa específica de concretos comuns, com agregados naturais está em torno de 2250g/cm³, enquanto estudos recentes obtiveram como resultado concretos com agregados reciclados de massa específica em torno de 2000 a 2170g/cm³ o que os torna fortes candidatos para utilização quando o peso próprio da estrutura é um problema (CABRAL, 2007).

2.4.2. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade de concretos dosados com agregados reciclados é um fator problemático quanto a sua utilização, uma vez que esta característica fica comprometida quanto se compara a um concreto com agregados naturais com um mesmo teor de argamassa. Este fato se deve a própria geometria do agregado reciclado e suas características de absorção de água (GOMES & PIMENTEL, 2015).

A trabalhabilidade é uma característica que reflete a quantidade de água livre na mistura, ou seja, a água fora dos poros do agregado, e devido à maior absorção de água por parte dos agregados reciclados fica comprometida (CARRIJO, 2005 apud GOMES & PIMENTEL, 2015).

A perda da trabalhabilidade pode ser constatada através do ensaio de abatimento e pode apresentar diferença considerável quando comparada ao concreto com agregados naturais. Entretanto existem medidas que podem ser tomadas afim de se diminuir o efeito de perda de trabalhabilidade realizando a compensação da absorção de água, pré saturação do agregado, adicionando-se filler, aditivos plastificantes e super-plastificantes (MOREIRA, 2010; CABRAL, 2007).

As características de maior rugosidade, geometria mais lamelar e absorção de água elevada são razão pela qual o concreto com agregado reciclado de RCD acaba por consumir uma pasta maior para obter a uma determinada trabalhabilidade, quando comparado com um concreto com agregados naturais (MEHTA; MONTEIRO, 1994 apud MOREIRA, 2010).

Esta forma e textura apresentada pelos agregados reciclados propiciam um certo travamento durante a mistura, aumentando a necessidade da pasta ou aditivos para fluidificar a mistura (RASHWAN; ABOURIZK, 1997 apud MOREIRA, 2010).

2.4.3. Resistência a compressão

A resistência à compressão é a propriedade do concreto de maior importância quando se trata de dimensionamento de estruturas. Esta característica influencia diretamente na segurança estrutural, sendo que a obra em concreto deve ser realizada com concretos de resistência igual ou superior a de projeto (LEVY, 2001).

Desta forma a propriedade do concreto estrutural que melhor lhe qualifica é sua resistência a esforços de compressão. Desde que não sejam deixadas de lado outras características como durabilidade, curva granulométrica, tipo e classe de cimento, e relação a/c resultando consequentemente na resistência projetada (LEVY, 2001).

Todos os materiais constituintes do concreto têm repercussão na resistência a compressão final obtida pelo concreto projetado. Desta forma, por constituírem uma grande fração do volume final do concreto, a resistência à compressão dos agregados é diretamente proporcional à resistência final do concreto (LEITE, 2001).

De acordo com Coutinho (1997a) a resistência à compressão do concreto somente deixa de ser afetada pela resistência à compressão do agregado graúdo quando esta passa a ser superior à da argamassa.

Vale lembrar que a resistência final do concreto depende também do percentual de substituição do agregado graúdo, a origem dos RCD dos quais se produziu o agregado e seus níveis de resistência. E para concretos com resistência de projeto mais baixos a diferença entre a resistência de concretos convencionais e reciclados diminui bastante (LEITE, 2001).

Levy e Helene (2000) realizaram um estudo que avaliava a resistência à compressão de concretos confeccionados com agregados graúdos provenientes de concreto e alvenaria e chegaram à conclusão de que concretos com agregados reciclados de resíduos de concreto obtiveram resistência semelhante ao concreto de referência, enquanto o concreto feito com resíduos de alvenaria teve resistência até 20% menor.

2.4.4. Resistência a tração

Sabendo que a resistência a compressão é a principal característica física dos concretos e para a qual ele é projetado, temos como característica secundária a resistência à tração, haja vista que o concreto é sabidamente um material que não apresenta uma grande resistência à compressão. Entretanto quando se estudam novos materiais para composição do concreto todas suas características devem ser consideradas, e esta propriedade mecânica não deve ser desprezada (LEITE, 2001).

Alguns estudos mostram que a resistência à tração de concretos com agregados graúdos reciclados apresenta pouca diferença quando se compara com o concreto de referência (LEITE, 2001). E em alguns casos pode apresentar resistência a tração superior, quando utilizados resíduos específicos como resíduos fibrosos (PEREZ, 2016).

Segundo estes estudos revela-se que a relação entre a resistência a compressão e a resistência a tração de concretos com agregados graúdos reciclados respeita a mesma proporcionalidade que concretos convencionais de mesma classe (LEITE, 2001).

2.4.5. Durabilidade

A durabilidade do concreto é uma característica que representa a capacidade do concreto a resistir às agressões proporcionadas pelo meio em que está inserido. Desta forma a durabilidade representa um parâmetro importante para que o concreto projetado possa desempenhar de forma satisfatória ao propósito que foi projetado, como estabilidade e resistência mecânica, ao longo de sua vida útil (CORREA, 2015).

A durabilidade do concreto pode ser comprometida por diversos fatores exógenos, tais como (CORREA, 2015):

- Ações físicas: variações volumétricas e umidade;

- Ações mecânicas: impacto, abrasão, erosão e cavitação;
- Ações químicas: reações álcali-sílica e álcali-carbonato.

Durabilidade do concreto, seja ele convencional ou com agregados reciclados é uma característica intimamente ligada a sua porosidade e permeabilidade final. Quando se trata de concretos com agregados reciclados estudos indicam que a durabilidade do concreto decresce à medida em que se aumenta a proporção do agregado reciclado na constituição do concreto. Este fato se deve a maior porosidade dos agregados reciclados, principalmente aqueles com forte composição cerâmica (LEITE, 2001).

2.4.6. Dosagem de concretos com agregados reciclados

Devido às características de absorção de água, textura e rugosidade do agregado graúdo reciclado se faz necessário o ajustamento na dosagem do concreto para que seja obtida a resistência de projeto no concreto (BANTHIA; CHAN, 2000).

De acordo com Leite (2001) se faz necessária a pré-umidificação do agregado reciclado para compensar sua alta absorção de água, ou realizar-se o estudo e ensaio de absorção de água do agregado utilizado e compensar esta água durante a fase de mistura.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados no desenvolvimento deste projeto os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP II – Z- 32;
- Agregado miúdo natural;
- Agregado graúdo natural;
- Água;
- RCD proveniente da demolição de postes.

Para preparação do agregado reciclado, caracterização dos agregados e confecção dos corpos de prova foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Betoneira elétrica;
- Balança de grande porte e balança de precisão;
- Peneira mecânica;
- Picnômetro;
- Conjunto de peneiras de série normal;
- Estufa;
- Britador de mandíbula;
- Molde para corpos de prova cilíndricos.

3.2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.2.1. Preparação das amostras

Nesta etapa foi realizado o beneficiamento dos resíduos de demolição de postes. Uma vez que os postes são construídos em concreto armado se faz necessária a remoção das ferragens, separando-se as barras de aço da fase de concreto.

A remoção da ferragem é realizada em ambiente industrial na empresa de fabricação dos postes. Após a separação o aço é enviado para reciclagem enquanto o resíduo de concreto é armazenado no pátio até que haja volume considerável (volume suficiente para que seja viável economicamente sua remoção) e então seguiria para aterro de resíduos de construção civil.

Os resíduos foram coletados no pátio da fabricante e levados para o Laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas onde foi realizada a fragmentação com britador simples de mandíbula.

O britador foi regulado para produzir agregados com um diâmetro máximo de 19 mm, o mesmo diâmetro máximo característico em que se encontra o agregado natural. Este diâmetro máximo característico foi adotado para garantir o slump do concreto projetado (100mm).

Após a britagem foi realizado o peneiramento do agregado para garantir a característica de diâmetro máximo característico desejado e eliminar o material pulverulento oriundo da argamassa existente na amostra.



Figura 3 - Agregado reciclado à esquerda e natural à direita.

3.2.2. Caracterização da composição granulométrica dos agregados

Esta etapa foi realizada inicialmente com o agregado natural, onde foram verificadas as frações granulométricas da amostra, para garantir o diâmetro máximo característico de 19mm.

Após os ensaios realizados com o agregado graúdo natural foi realizado o ensaio com o agregado graúdo reciclado e posteriormente com o agregado miúdo.

A caracterização granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com a normativa ABNT NBR NM 248:2003.

O primeiro passo foi a coleta dos agregados, realizada de acordo com o preconizado na normativa ABNT NM 26.

No ensaio dos agregados graúdos foi utilizado uma quantidade de 5kg e para o agregado miúdo a amostra avaliada foi de 1kg, de acordo com o preconizado na normativa para garantir a confiabilidade experimental dos resultados. As peneiras utilizadas foram as da série normal, com aberturas especificadas em norma.

Em ambiente laboratorial foi realizada a secagem das amostras em estufa (durante 24 horas a 80°), para posterior determinação das massas.

As peneiras foram limpas com escova de aço para eliminar amostras de ensaios anteriores que poderiam prejudicar os resultados e montadas de maneira crescente (abertura) de baixo para cima (4,75mm/6,3mm/9,5mm/12,5mm/19mm/25mm).

A agitação foi realizada por agitadores mecânicos durante o tempo de 1 minuto, tempo necessário para que sejam separados adequadamente as frações granulométricas distintas.

Posteriormente os agregados foram coletados de cada peneira e devidamente pesados em balança. As porcentagens médias acumuladas e retidas foram calculadas com precisão de 1%. A determinação do módulo de finura também foi calculada com aproximação de 1%.

O relatório de ensaio contém a porcentagem média contida em cada peneira, a porcentagem média acumulada em cada peneira, a dimensão máxima característica e o módulo de finura do agregado ensaiado.

Nesta etapa foram identificadas características como módulo de finura, diâmetro máximo característico e a curva de composição granulométrica de cada agregado. Estas características foram importantes para o desenvolvimento do projeto, uma vez que forneceram as primeiras informações acerca das propriedades do agregado graúdo reciclado em relação ao natural. Além disso são informações necessárias para a elaboração do dimensionamento do concreto com agregado graúdo reciclado e para o concreto de referência.

3.2.3. Caracterização massa específica, aparente e absorção de água do agregado graúdo

Nesta etapa foram realizados ensaios para identificar a massa específica, aparente e absorção de água tanto dos agregados naturais quanto reciclados.

A determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos agregados graúdos foi determinada através da normativa NM 53:2009. As amostras foram coletadas de acordo com a NM 27 e reduzidas para ensaio de acordo com a NM 27.

Os procedimentos estabelecidos nesta norma permitiram identificar a massa específica, massa específica aparente e absorção de água do agregado graúdo garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos.

Para isso foram removidos da amostra as frações do agregado não pertencentes à classificação de “agregado graúdo”, ou seja, inferiores a 4,75mm. Também foi respeitada a massa mínima da amostra de acordo com a dimensão máxima característica do agregado, neste caso a massa ensaiada foi de 3kg.

De acordo com a norma não se faz necessária a secagem dos agregados quando o objetivo deste ensaio é propiciar informações para o dimensionamento de um concreto, desta forma o agregado foi ensaiado em condições de umidade naturais.

A primeira pesagem do material foi realizada em condições naturais e posteriormente foi realizada a saturação do agregado por um período de 24 horas em água à temperatura ambiente. Parte do agregado foi levada ao picnômetro para aferição do peso em água.

Após a retirada dos agregados da saturação foi realizada a secagem dos mesmos com tecido seco até que a amostra atingisse a condição de saturação com superfície seca, e neste estado foi realizada a pesagem da amostra.

Posteriormente os agregados saturados foram levados à secagem até que atingiram massa constante e foram pesados novamente.

Os resultados de massa específica e massa específica aparente são apresentados em gramas por centímetros cúbicos com precisão de 1%. O resultado da absorção de água foi representado em porcentagem, também com precisão de 1%.

A massa específica do agregado foi identificada através da avaliação e cálculos previstos na norma, utilizando-se as massas do picnômetro com água e do picnômetro com água e agregado.

A massa aparente ou unitária foi aferida através de análises volumétricas, onde o agregado em estado de umidade natural foi adicionado a um recipiente de volume conhecido.

A característica de absorção de água foi avaliada através da diferença de massa da amostra de agregado seco e em estado de saturação com superfície seca.

Os ensaios foram realizados rigorosamente para que os resultados atendessem aos parâmetros de repetitividade e reprodutibilidade previstos em norma.

3.2.4. Caracterização massa específica, massa específica aparente do agregado miúdo

A determinação da massa específica e massa específica aparente dos agregados miúdos foi determinada através da normativa NM 52:2009, lembrando que no projeto foram utilizados apenas agregados miúdos naturais destinados à construção civil. As amostras foram coletadas de acordo com a NM 27 e reduzidas para ensaio de acordo com a NM 27.

Os procedimentos descritos na normativa permitiram determinar massa específica e massa específica aparente dos agregados miúdos através de mensurações de volume, massa e cálculos específicos.

Neste ensaio foram realizados praticamente os mesmos processos do ensaio para agregados graúdos, entretanto a amostra avaliada foi de 500g, e foi eliminada a avaliação de absorção de água, bem como foram utilizadas peneiras de aberturas adequadas às dimensões deste agregado.

Os ensaios foram realizados rigorosamente para que os resultados de massa específica e massa específica aparente atendessem à precisão descrita no item anterior (1%) e também aos parâmetros de repetitividade e reprodutibilidade previstos em norma.

3.2.5. Escolha do método de dosagem do concreto

O próximo passo para a realização do experimento foi realizar a dosagem do concreto para compor os corpos de prova a serem avaliados. O traço é a dosagem e o proporcionamento dos constituintes do concreto e só pode ser realizado após a caracterização dos agregados a serem utilizados.

O concreto de referência para o presente projeto será o mesmo utilizado na IPASA, fábrica de pré-moldados onde são construídos os postes seção “duplo T” comumente utilizados na distribuição de energia nos municípios brasileiros, inclusive no município de Palmas pela concessionária ENERGISA.

Segundo a normativa NBR 8452:1998 a padronização dos postes em concreto armado tipo duplo T se refere a características geométricas e de resistência a flexão, não fazendo referência à resistência do concreto constituinte.

Entretanto para garantir tal resistência à flexão, tendo fixada a geometria e armaduras utilizadas no poste é necessário um concreto com resistência à compressão superior a 25MPa.

Na fábrica IPASA é utilizado concreto com f_{ck} de 30MPa, com 100mm de abatimento, sendo este o traço de referência, necessário para a utilização do concreto proposto neste projeto na constituição de novos postes.

O traço proposto para o projeto foi projetado para obter uma resistência a compressão mínima de 30 MPa e Slump de 100mm. Após estabelecer o proporcionamento dos constituintes foi executado o traço do concreto em betoneira de acordo com a normativa de moldagem e cura dos corpos de prova NBR 5738.

A dosagem dos corpos de prova com agregados reciclados foi realizada de maneira a prever a absorção de água por parte deste agregado.

Foram avaliados 2 métodos de dosagem para a o experimento, o método ESUSP/IPT (HELENE; TERZIAN, 1992) e o método do American Concrete Institute – ACI.

O método de dosagem da ESUSP/IPT (HELENE; TERZIAN, 1992), leva em consideração as características do agregado gráudo e o teor de argamassa ótimo para elaboração dos diagramas de dosagem com base nas leis de comportamento do concreto.

O método ACI preocupa-se com a trabalhabilidade através de vários fatores relativos aos materiais, condições de execução, adensamento e dimensão das peças. O método vincula o

volume de agregado graúdo ao módulo de finura do agregado miúdo utilizado e à dimensão máxima do agregado graúdo. Este método permite desenvolver traços de concretos plásticos com baixos teores de areia.

O método IPT apesar de suas vantagens foi descartado pois se baseia na dosagem experimental do teor de argamassa, o que iria proporcionar dois concretos com teores de argamassa distintos, o que poderia camuflar os resultados da substituição do agregado natural pelo reciclado.

O método escolhido para a dosagem experimental do concreto foi o método ACI, uma vez que durante o experimento o agregado reciclado será britado para atingir a mesma dimensão máxima característica do natural e irá ser utilizado o mesmo agregado miúdo tanto no concreto de referência quanto no concreto com agregado graúdo reciclado. Essas medidas foram tomadas afim de homogeneizar o experimento e obter a melhor condição de comparação entre o concreto projetado com agregado reciclado e o concreto de referência.

De acordo com os resultados do trabalho de Gomes e Pimentel (2015), o valor de substituição de agregado graúdo mais vantajosos para produção de um novo concreto das classes C20 e C30 foi de 30%. Haja vista que os agregados utilizados pelos autores foram resíduos de CLASSE A em geral isso significa que possuíam fração de diversos materiais como cerâmica e etc.

Observando-se a homogeneidade dos resíduos de demolição de postes e a inexistência de fração cerâmica, propôs-se neste trabalho realizar a dosagem do concreto com agregado graúdo reciclado com percentuais de substituição de 25%, 50% e 75%.

A resistência procurada é de 30 MPA, resistência recomendada para reutilização do concreto na fabricação de novos postes. O abatimento procurado foi de 100mm, que é o abatimento adotado na fábrica de postes onde foram coletados os resíduos.

Desta forma foram realizados então 4 betonadas para análise, a primeira com 100% de agregados graúdos naturais e então mais 3 com percentuais de substituição de 25%, 50% e 75%.

A primeira betonada deu origem corpos de prova testemunho, com o agregado graúdo convencional em granulometria análoga à do agregado reciclado, utilizando-se os mesmos materiais, afim de se realizar uma análise crítica do desempenho dos corpos de prova com agregado reciclado.

Após estabelecida a dosagem dos concretos reciclados e concreto de referência, foram rodados os traços no laboratório de materiais e estruturas do CEULP ULBRA.

3.2.6. Ensaio de abatimento

A trabalhabilidade dos concretos foi avaliada através do ensaio de abatimento do tronco de cone, através deste ensaio pode ser observado o impacto da porcentagem de substituição do agregado natural pelo reciclado na trabalhabilidade final do concreto projetado.

Este ensaio teve o objetivo nortear a dosagem adequada para o concreto observando-se o teor de argamassa do traço proposto e a relação entre o abatimento do concreto reciclado e o concreto de referência.

O abatimento (SLUMP) é um teste simples onde a massa do concreto recém misturado é colocada em um tronco de cone vazado nas duas extremidades, apoiado no solo pela base maior. O concreto é compactado com soquete e então retira-se o molde e mede-se o quanto se abateu o concreto imediatamente de acordo com a normativa ABNT NBR NM 67:1998.

3.2.7. Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos

A moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos foi realizada dentro das diretrizes estabelecidas pela NBR 5738, e foram moldados 8 corpos de prova para cada percentual de substituição do agregado natural bem como mais 8 corpos de prova sem agregados reciclados.

Os corpos de prova cilíndricos têm altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro adotado no ensaio foi de 15cm. As medidas diametrais têm tolerância de 1% e a altura, 2%. Os planos das bordas circulares extremas do molde são perpendiculares ao eixo longitudinal do molde.

Os moldes foram devidamente revestidos internamente com óleo mineral para facilitar o desmolde.

Os corpos de prova foram adensados manualmente com haste de acordo com sua dimensão básica, através de valores tabelados dispostos na normativa. A cura e preparação das bases para ensaio de compressão foram realizados estritamente como disposto na norma.

3.2.8. Ensaio de resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão do concreto foi realizado de acordo com a normativa NBR 5739. Neste ensaio os primeiros passos são de caracterização dos corpos de prova (diâmetro e comprimento).

O rompimento dos corpos de prova foi realizado aos 7 e 28 dias de cura úmida, em prensa específica para tal. Durante o ensaio o corpo de prova é colocado na prensa e esta inicia a compressão contínua e progressiva. Durante todo o processo a prensa calcula quanta força está sendo aplicada, até o momento do rompimento da amostra (ABNT, 2007).

Este ensaio revela a característica mais importante do experimento, a resistência à compressão do concreto projetado, e a partir dos dados obtidos é possível realizar a análise do reflexo da substituição do agregado natural pelo reciclado na resistência mecânica do concreto.

3.5. CARACTERIZAÇÃO FINAL DO CONCRETO

A última etapa da caracterização do concreto reciclado foi o enquadramento do mesmo nas classes de trabalhabilidade (teste de abatimento), resistência (f_{ck} do concreto obtido no teste de compressão) e massa específica do mesmo de acordo com a normativa NBR 8953 – Concretos para fins estruturais.

Desta forma foram obtidas as principais características funcionais do concreto, suas limitações e principais aplicabilidades.

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

Após a realização dos ensaios de caracterização granulométrica, de acordo com o descrito na etapa metodológica, foi possível obter-se os valores de massa retida em cada peneira da série normal, elaborar as respectivas curvas granulométricas e identificar o diâmetro máximo característico e módulo de finura das amostras.

4.1.1. Agregado graúdo natural

O ensaio realizado com o agregado graúdo natural obteve os resultados apresentados a seguir:

Quadro 2 - Composição granulométrica final do agregado natural.

Peneira	Retido (g)	Retido %	Retido acumulado (%)	Retido acumulado (%x100)
25	0	0,000	0,000	0,00
19	226,5	0,045	0,045	4,53
12,5	3482	0,696	0,742	74,17
9,5	1229,8	0,246	0,988	98,77
6,3	57,5	0,012	0,999	99,92
4,75	2	0,000	1,000	99,96
fundo	2	0,000	1,000	100,00
TOTAL	4999,8			

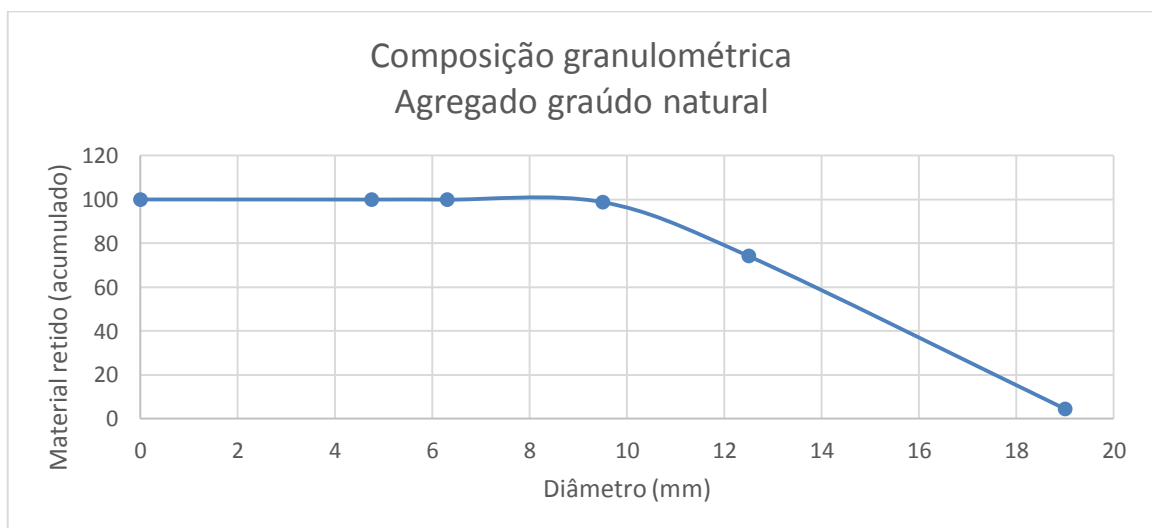


Figura 4 - Gráfico da curva granulométrica do agregado natural.

Como pode-se observar o agregado graúdo natural utilizado na constituição do concreto projetado apresenta uma curva granulométrica que nos mostra uma pequena heterogeneidade

quanto ao diâmetro. Ao observar os valores apresentados anteriormente e a curva granulométrica em si observa-se que cerca de 98% de toda a amostra em massa está entre 9,5mm e 19mm de diâmetro característico.

A quantidade de material pulverulento é pequena e o diâmetro máximo característico realmente atende ao valor de 19mm, adotado para o traço desejado e escolhido na pedreira onde foi adquirido o mesmo.

4.1.2. Agregado graúdo reciclado

O ensaio realizado com o agregado graúdo reciclado obteve os resultados apresentados a seguir:

Quadro 3 - Composição granulométrica final do agregado reciclado.

Peneira	Retido (g)	Retido %	Retido acumulado (%)	Retido acumulado (%x100)
25	0	0,000	0,000	0,00
19	308	0,062	0,062	6,16
12,5	618	0,124	0,185	18,52
9,5	3135	0,627	0,812	81,22
6,3	450	0,090	0,902	90,22
4,75	168	0,034	0,936	93,58
fundo	321	0,064	1,000	100,00
TOTAL	5000			

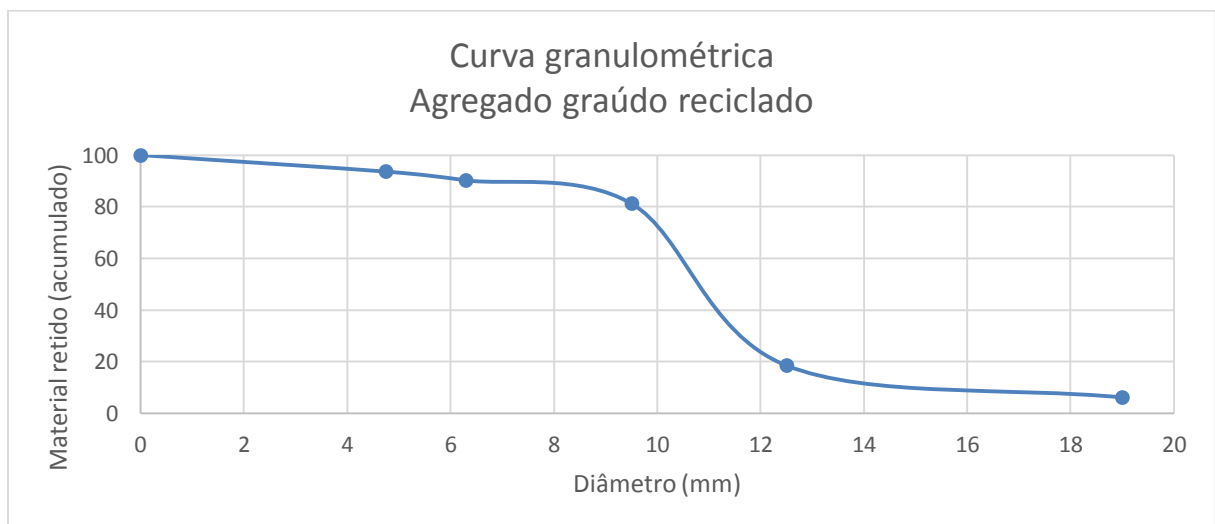


Figura 5 - Gráfico da curva granulométrica do agregado reciclado.

Na análise dos resultados obtidos na caracterização granulométrica do agregado reciclado observou-se uma maior heterogeneidade nos diâmetros característicos da amostra e uma melhor distribuição entre as frações retidas nas peneiras.

O reflexo disso é uma maior porcentagem de material de diâmetro inferior a 9,5mm bem como uma maior quantidade de material pulverulento na amostra, que pode impactar diretamente na resistência e no abatimento do concreto projetado, uma vez que este material pode roubar a água de amassamento e hidratação do cimento.

Este resultado se faz preocupante, uma vez que durante a preparação da amostra de agregados reciclados já havia sido removida grande parte do material pulverulento encontrado no resíduo de concreto.

O diâmetro máximo característico da amostra também foi de 19mm, uma vez que foi preconizado que o agregado reciclado deveria estar com características mais próximas o possível do agregado natural, para que os resultados dos testes de abatimento e resistência pudessem ser comparados de maneira mais precisa.

4.1.3. Agregado miúdo

O ensaio de caracterização granulométrica realizado com o agregado miúdo obteve os resultados apresentados a seguir:

Quadro 4 - Composição granulométrica final do agregado miúdo.

Peneira	Retido (g)	Retido %	Retido acumulado (%)	Retido acumulado (%x100)
4,8	0,00	0,000	0,000	0,00
2,4	2,20	0,004	0,004	0,44
1,2	45,80	0,092	0,096	9,60
0,6	317,60	0,635	0,731	73,13
0,3	110,20	0,220	0,952	95,18
0,15	21,10	0,042	0,994	99,40
fundo	3,00	0,006	1,000	100,00
TOTAL	499,9			



Figura 6- Gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo.

Os resultados do ensaio de caracterização granulométrica do agregado miúdo revelaram um diâmetro máximo característico de 2,4mm e módulo de finura de 2,8.

4.2. MASSA ESPECÍFICA, APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA DO AGREGADO GRAÚDO

4.2.1. Agregado graúdo natural

Os ensaios de massa específica, aparente e absorção de água foram realizados de acordo com a rotina descrita na etapa metodológica.

Os valores de massa específica, aparente e absorção de água encontrados podem ser observados na tabela a seguir:

Quadro 5 - Massa específica, aparente e absorção de água.

Massa unitária:	1,4333 Kg/dm ³
Massa Específica:	2,647 g/cm ³
Absorção de água:	2 %

4.2.2. Agregado graúdo reciclado

Os ensaios de massa específica, aparente e absorção de água foram realizados de acordo com a rotina descrita na etapa metodológica.

Os valores de massa específica, aparente e absorção de água encontrados podem ser observados na tabela a seguir:

Quadro 6 - Massa específica, aparente e absorção de água.

Massa unitária:	1,213 Kg/dm ³
Massa Específica:	2,521 g/cm ³
Absorção de água:	6 %

4.3. ANÁLISES DE MASSA ESPECÍFICA, APARENTE DO AGREGADO MIÚDO

Os ensaios de massa específica e aparente foram realizados de acordo com a rotina descrita na etapa metodológica. Os valores de massa específica e aparente encontrados podem ser observados na tabela a seguir:

Quadro 7 - Massa específica e aparente.

Massa Aparente:	1,553 Kg/dm ³
Massa Específica:	2,62 g/cm ³

4.4. DOSAGEM DO CONCRETO

As informações obtidas nos ensaios de caracterização granulométrica, massa específica dos agregados, massa aparente e absorção de água dos agregados foram utilizadas na elaboração do dimensionamento do concreto projetado (traço).

A metodologia adotada: Método do ACI (Instituto Americano do Concreto), foi escolhida em detrimento do método do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) por apresentar uma alternativa com menos variações entre os traços.

Uma vez que a metodologia do ACI utiliza-se de tabelas e índices para a elaboração do traço pôde-se analisar mais precisamente as influências da substituição do agregado natural pelo reciclado nos resultados de abatimento e resistência à compressão. A metodologia do IPT preconiza o aumento do teor de argamassa até que se chegue ao traço ideal, o que poderia mascarar a influência das substituições nos resultados de abatimento e resistência.

Na elaboração do traço foi preconizada a resistência a compressão de 30 MPA, que é a resistência adequada para a fabricação do concreto para novos postes e o abatimento de projeto foi de 100mm. Foram adotados estes parâmetros afim de propiciar a utilização do agregado

reciclado de postes dentro da cadeia produtiva da própria empresa, diminuindo custos de transporte.

Para elaboração do traço foi adotado o desvio padrão de 5,5 para concreto produzido com controle razoável.

Os valores de massa específica dos agregados utilizados no cálculo foram os mesmos apresentados nos resultados da caracterização dos agregados.

Os traços elaborados com substituição do agregado natural pelo agregado reciclado foram corrigidos uma vez que os valores de massa específica e aparente dos mesmos se apresentaram menores do que do agregado natural, através de média ponderada.



Figura 7 - Proporcionalamento dos materiais constituintes do concreto.

Os resultados dos traços podem ser observados a seguir:

- **Concreto com agregado graúdo natural**

A elaboração do traço do concreto de referência, com 100% de agregados graúdos naturais foi elaborada através dos dados obtidos nos ensaios dos agregados e metodologia prática do método do ACI.

A produção do concreto ocorreu dia 22 de agosto de 2016 no laboratório de materiais e estruturas de CEULP ULBRA.

No quadro a seguir podem ser consultados os valores de entrada nos cálculos, os valores retirados das tabelas do método e o traço resultante:

Quadro 8 - Memorial de cálculo para traço de 100% de agregado natural.

Entradas de cálculo	
Dados de projeto	
slump	100 mm
Dmax	19 mm
Agregado Graúdo	
Mesp	2647 Kg/m ³
Munit	1433 Kg/m ³
Agregado Miúdo	
Mesp	1553,3 Kg/m ³
Munit	2620,5 Kg/m ³
MF	2,778
Cimento	
Mesp	3150 Kg/m ³
Munit	3150 Kg/m ³
Dados tabelados	
teor de água	205 L/m ³
ar incorporado	2 %
fcj	39,08 MPa
a/c	0,43

Saídas de cálculo	
Cimento	
M. cim.	477,58 Kg
V. cim.	0,15 m ³
Ag. Graúdo	
V. brita	0,62 m ³
M. brita	888,46 Kg
V. brita	0,34 m ³
Ag. Miúdo	
V. areia	0,29 m ³
M. areia	754,02 Kg

TRAÇO				
	cimento	areia	brita	agua
T Massa	1,00	1,58	1,86	0,43
T Vol	1,00	3,20	4,09	1,35

Durante a confecção desta betonada foram seguidos à risca os valores do traço em massa para a dosagem do concreto na betoneira, e o abatimento atingido foi de 95mm, dentro da variabilidade aceitável.



Figura 8 - Slump do concreto de referência.

- **Concreto com 25% de substituição do agregado graúdo natural**

A elaboração do traço do concreto com 25% de substituição dos agregados graúdos naturais por reciclados foi elaborada através dos dados obtidos nos ensaios dos agregados e metodologia prática do método do ACI. Para a adequação dos valores de massa específica e aparente utilizada em cálculo foi realizada média ponderada.

A produção do concreto ocorreu dia 07 de julho de 2016 no laboratório de materiais e estruturas de CEULP ULBRA.

No quadro a seguir podem ser consultados os valores de entrada nos cálculos, os valores retirados das tabelas do método e o traço resultante:

Quadro 9- Memorial de cálculo para traço de 25% de substituição.

Entradas de cálculo	
Dados de projeto	
slump	100 mm
Dmax	19 mm
Agregado Graúdo	
Mesp	2647 Kg/m ³
Munit	1378 Kg/m ³
Agregado Miúdo	
Mesp	1553,3 Kg/m ³
Munit	2620,5 Kg/m ³
MF	2,778
Cimento	
Mesp	3150 Kg/m ³
Munit	3150 Kg/m ³
Dados tabelados	
teor de água	205 L/m ³
ar incorporado	2 %
fcj	39,08 MPa
a/c	0,43

Saídas de cálculo	
Cimento	
M. cim.	477,58 Kg
V. cim.	0,15 m ³
Ag. Graúdo	
V. brita	0,62 m ³
M. brita	854,36 Kg
V. brita	0,32 m ³
Ag. Miúdo	
V. areia	0,30 m ³
M. areia	787,78 Kg

TRAÇO				
	cimento	areia	brita	agua
T Massa	1,00	1,65	1,79	0,43
T Vol	1,00	3,35	4,09	1,35

Durante a confecção desta betonada não foram seguidos à risca os valores do traço em massa para a dosagem do concreto na betoneira aqui foi necessária a adição de água para balancear a absorção de água do agregado reciclado.

Foram adicionados 200ml de água, para garantir o abatimento necessário, e para registro de cálculo o valor do fato água/cimento foi para 0,45.

Esta medida foi adotada prevendo a absorção por parte do agregado reciclado e com vistas na questão econômica, uma vez que adicionando cimento para garantir o fator a/c previsto no traço o concreto ficaria mais caro.

O abatimento atingido foi de 85mm, dentro da variabilidade aceitável.



Figura 9- Slump do concreto com 25% de substituição.

- **Concreto com 50% de substituição do agregado gráudo natural**

A dosagem do concreto com 50% de substituição dos agregados gráudos naturais por reciclados foi elaborada através dos dados obtidos nos ensaios dos agregados e metodologia prática do método do ACI. Para a adequação dos valores de massa específica e aparente utilizada em cálculo foi realizada média ponderada.

A produção do concreto ocorreu dia 08 de julho de 2016 no laboratório de materiais e estruturas de CEULP ULBRA.

No quadro a seguir podem ser consultados os valores de entrada nos cálculos, os valores retirados das tabelas do método e o traço resultante:

Quadro 10 - Memorial de cálculo para traço de 50% de substituição.

Entradas de cálculo	
Dados de projeto	
slump	100 mm
Dmax	19 mm
Agregado Graúdo	
Mesp	2584 Kg/m ³
Munit	1323 Kg/m ³
Agregado Miúdo	
Mesp	1553,3 Kg/m ³
Munit	2620,5 Kg/m ³
MF	2,778
Cimento	
Mesp	3150 Kg/m ³
Munit	3150 Kg/m ³
Dados tabelados	
teor de água	205 L/m ³
ar incorporado	2 %
fcj	39,08 MPa
a/c	0,43

Saídas de cálculo	
Cimento	
M. cim.	477,58 Kg
V. cim.	0,15 m ³
Ag. Graúdo	
V. brita	0,62 m ³
M. brita	820,26 Kg
V. brita	0,32 m ³
Ag. Miúdo	
V. areia	0,31 m ³
M. areia	801,74 Kg

TRAÇO				
	cimento	areia	brita	agua
T Massa	1,00	1,68	1,72	0,43
T Vol	1,00	3,40	4,09	1,35

Durante a confecção desta betonada não foram seguidos à risca os valores do traço em massa para a dosagem do concreto na betoneira aqui foi necessária a adição de água para balancear a absorção de água do agregado reciclado.

Foram adicionados 400ml de água, para garantir o abatimento necessário, e para registro de cálculo o valor do fato água/cimento foi para 0,48.

Esta medida foi adotada prevendo a absorção por parte do agregado reciclado e com vistas na questão econômica, uma vez que adicionando cimento para garantir o fator a/c previsto no traço o concreto ficaria mais caro.

O abatimento atingido foi de 95mm, dentro da variabilidade aceitável.



Figura 10 - Slump do concreto com 50% de substituição.

- **Concreto com 75% de substituição do agregado graúdo natural**

A dosagem do concreto com 75% de substituição dos agregados graúdos naturais por reciclados foi elaborada através dos dados obtidos nos ensaios dos agregados e metodologia prática do método do ACI. Para a adequação dos valores de massa específica e aparente utilizada em cálculo foi realizada média ponderada.

A produção do concreto ocorreu dia 08 de julho de 2016 no laboratório de materiais e estruturas de CEULP ULBRA.

No quadro a seguir podem ser consultados os valores de entrada nos cálculos, os valores retirados das tabelas do método e o traço resultante:

Quadro 11 - Memorial de cálculo para traço de 75% de substituição.

Entradas de cálculo				
Dados de projeto				
slump	100 mm			
Dmax	19 mm			
Agregado Graúdo				
Mesp	2552,5 Kg/m ³			
Munit	1268 Kg/m ³			
Agregado Miúdo				
Mesp	1553,3 Kg/m ³			
Munit	2620,5 Kg/m ³			
MF	2,778			
Cimento				
Mesp	3150 Kg/m ³			
Munit	3150 Kg/m ³			
Dados tabelados				
teor de água	205 L/m ³			
ar incorporado	2 %			
fcj	39,08 MPa			
a/c	0,43			
Saídas de cálculo				
Cimento				
M. cim.	477,58 Kg			
V. cim.	0,15 m ³			
Ag. Graúdo				
V. brita	0,62 m ³			
M. brita	786,16 Kg			
V. brita	0,31 m ³			
Ag. Miúdo				
V. areia	0,32 m ³			
M. areia	826,49 Kg			
TRAÇO				
	cimento	areia	brita	agua
T Massa	1,00	1,73	1,65	0,43
T Vol	1,00	3,51	4,09	1,35

Durante a confecção desta betonada não foram seguidos à risca os valores do traço em massa para a dosagem do concreto na betoneira, aqui foi necessária a adição de água para balancear a absorção de água do agregado reciclado.

Foram adicionados 600ml de água, para garantir o abatimento necessário, e para registro de cálculo o valor do fato água/cimento foi para 0,50.

Esta medida foi adotada prevendo a absorção por parte do agregado reciclado e com vistas na questão econômica, uma vez que adicionando cimento para garantir o fator a/c previsto no traço o concreto ficaria mais caro.

O abatimento atingido foi de 105mm, dentro da variabilidade aceitável.



Figura 11 - Slump do concreto com 75% de substituição.

4.5. RESULTADOS DE SLUMP E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

4.5.1. Concreto de referência

O ensaio de compressão axial do concreto de referência foi realizado no dia 19 de setembro de 2016, aos 28 dias de cura.

Após realizados os ensaios de resistência à compressão do concreto com 100% de agregados graúdos naturais foi possível observar que o proporcionamento dos constituintes do concreto fornecido pelo método do ACI foi capaz de produzir um concreto com resistência média de 31 MPA, como pode ser observado nos relatórios de ensaio apresentados em anexo.

O desvio padrão dos resultados foi de 3, onde a tensão máxima de ruptura foi de 36 MPA e a tensão mínima foi de 27,2 MPA.

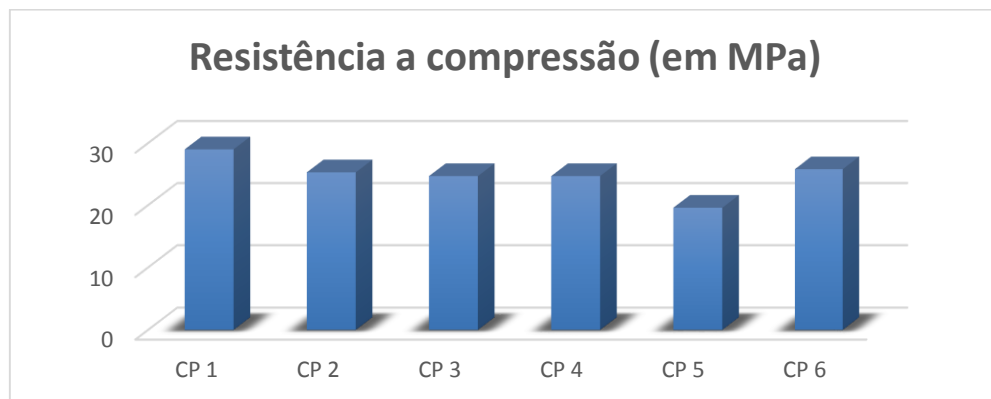
Os resultados de abatimento e resistência média mostram a eficácia da metodologia de dosagem aplicada ao trabalho, tendo como resultado um concreto perfeitamente aplicável para

fins estruturais e que pode ser utilizado na composição de postes de concreto armado, alvo deste projeto. A seguir os resultados obtidos:

Tabela 2 - Resultados do ensaio de compressão do concreto de referência.

Resultados do ensaio de compressão		
	Força de ruptura	Tensão de ruptura
CP 1	24512 Kgf	30,6 MPa
CP 2	21780 Kgf	27,2 MPa
CP 3	26344 Kgf	32,9 MPa
CP 4	28794 Kgf	36 MPa
CP 5	23579 Kgf	29,4 MPa
CP 6	24783 Kgf	30,9 MPa
Média	24970 Kgf	31,17 MPa
Desv. Padrão	2403 Kgf	3 MPa
Mínimo	21780 Kgf	27,19 MPa
Máximo	28790 Kgf	35,95 MPa

Gráfico 1 - Resistência a compressão dos CP do concreto de referência.



4.5.2. Concreto com 25% de substituição

Realizou-se o ensaio de compressão axial do concreto com 25% de substituição de agregado natural por reciclado na data de 04/08/2016, aos 28 dias de cura.

Ao final do ensaio de resistência a compressão realizado pode-se observar que a adição de água sem cimento neste concreto não afetou sua resistência, de forma que o concreto atingiu a resistência projetada na etapa de cálculos do método do ACI. A resistência média dos corpos de prova avaliados foi de 31,57 MPa.

A variabilidade dos resultados, representada pelo desvio padrão dos resultados de resistência à compressão foi de 2,86. A tensão máxima de ruptura identificada foi de 27,1 MPa, enquanto a tensão máxima foi de 34,8 MPa.

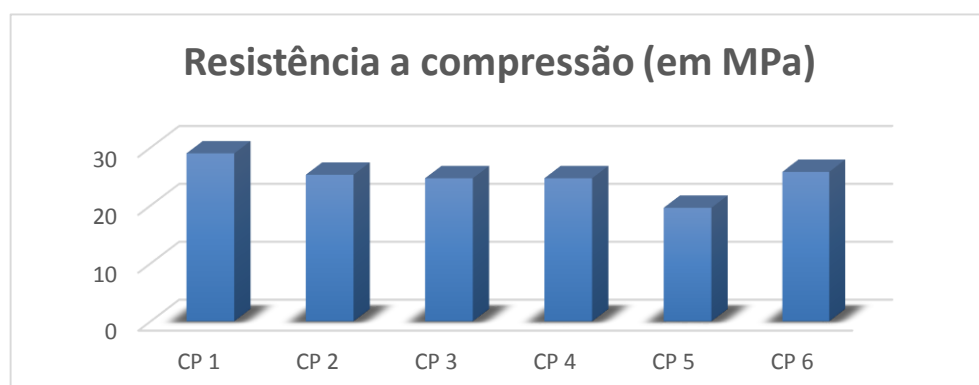
Os resultados apresentados mostram um pequeno ganho de resistência, porém devido sua pequena magnitude não pode ser apresentado como um dado significativo, uma vez que representa apenas a variabilidade natural do concreto.

Os dados apresentados nas tabelas a seguir mostram os resultados de resistência a compressão de cada corpo de prova em isolado. De acordo com os dados apresentados se mostra claro a viabilidade técnica da utilização de um percentual de 25% de substituição de agregados graúdos naturais por reciclados sem perda no desempenho do concreto para aplicação na constituição de novos postes de concreto.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de compressão do concreto com 25% de substituição.

Resultados do ensaio de compressão		
	Força de ruptura	Tensão de ruptura
CP 1	23970 Kgf	29,9 MPa
CP 2	21726 Kgf	27,1 MPa
CP 3	24761 Kgf	30,9 MPa
CP 4	25932 Kgf	32,4 MPa
CP 5	27439 Kgf	34,3 MPa
CP 6	27862 Kgf	34,8 MPa
Média	25280 Kgf	31,57 MPa
Desv. Padrão	2297 Kgf	2,87 MPa
Mínimo	21730 Kgf	27,13 MPa
Máximo	27860 Kgf	34,79 MPa

Gráfico 2 - Resistência a compressão dos CP do concreto com 25% de substituição.



4.5.3. Concreto com 50% de substituição

Na data de 04/08/2016 foi realizado o ensaio de compressão axial dos corpos de prova do concreto com 50% de substituição do agregado graúdo natural por reciclado, aos 28 dias de cura.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão atestaram que com 50% de percentual de substituição ainda é possível atingir o resultado esperado. O resultado do ensaio mostrou que os corpos de prova atingiram uma resistência média de 30,86 MPA.

De acordo com os cálculos estatísticos o desvio padrão encontrado neste concreto ensaiado foi de 2,43. A tensão máxima de ruptura encontrada foi de 33,31 MPA e a tensão mínima foi de 27,64 MPA.

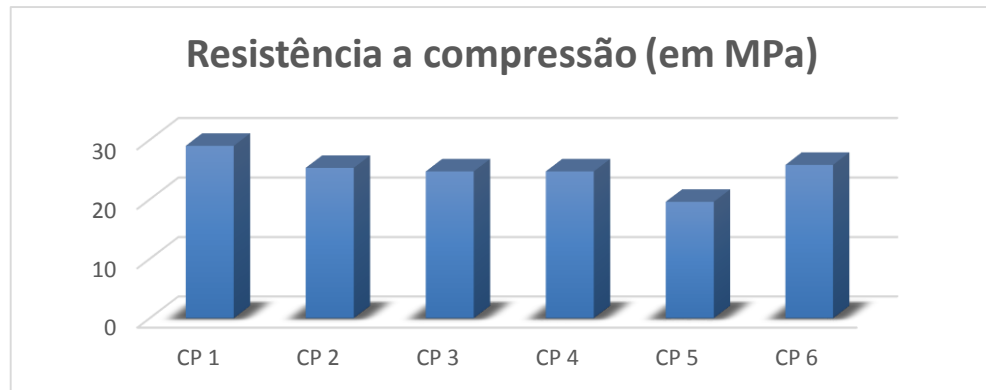
O aumento da adição de agregado reciclado na constituição do concreto começa a refletir na resistência à compressão dos corpos de prova como pode ser observado na tabela 4.

Com 50% de substituição de agregados naturais por agregados reciclados a resistência à compressão apresenta valor ligeiramente inferior ao concreto de 25% de substituição, e ao concreto de referência. Adota-se que a resistência média ligeiramente inferior não representa perda de desempenho significativa, uma vez que não chega a 1 MPA, e que a resistência apresentada ainda capacita este concreto a ser utilizado para constituição de postes de concreto (resistência mínima solicitada de 20MPa).

Tabela 4- Resultados do ensaio de compressão do concreto com 50% de substituição.

Resultados do ensaio de compressão		
	Força de ruptura	Tensão de ruptura
CP 1	22875 Kgf	28,6 MPa
CP 2	26571 Kgf	33,2 MPa
CP 3	22137 Kgf	27,6 MPa
CP 4	24132 Kgf	30,1 MPa
CP 5	26680 Kgf	33,3 MPa
CP 6	25888 Kgf	32,3 MPa
Média	24710 Kgf	30,86 MPa
Desv. Padrão	1952 Kgf	2,44 MPa
Mínimo	22140 Kgf	27,64 MPa
Máximo	26680 Kgf	33,31 MPa

Gráfico 3 - Resistência a compressão dos CP do concreto com 50% de substituição.



4.5.4. Concreto com 75% de substituição

O ensaio de compressão axial dos corpos de prova com 75% de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado reciclado foi realizado na data de 04/08/2016, aos 28 dias de cura.

Através do ensaio foi possível observar que 75% de substituição é uma porcentagem que chega a impactar diretamente na resistência à compressão do concreto projetado. O ensaio de resistência à compressão axial revelou para estes corpos de prova uma tensão de ruptura média de 24,84 MPA.

O desvio padrão identificado entre os resultados de todos os corpos de prova avaliados foi de 3,01. A tensão máxima de ruptura foi de 29 MPA e a tensão mínima foi de 19,6 MPA.

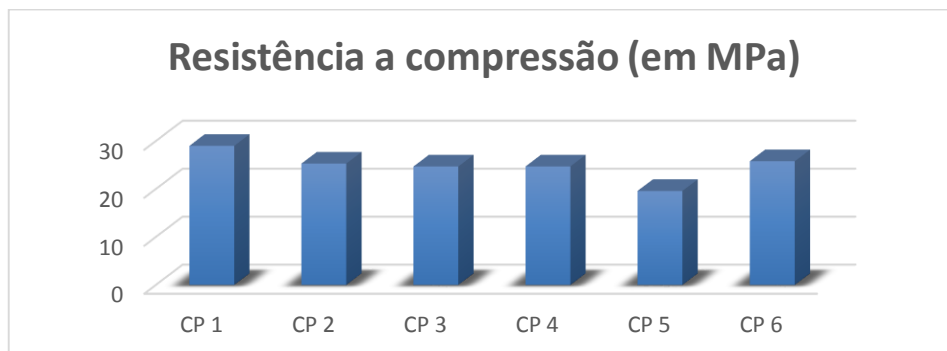
O grau de substituição de 75% já mostra que a maior porosidade do agregado reciclado impacta diretamente na resistência do concreto, incapacitando o mesmo na utilização em fabricação de postes, entretanto ainda apresenta resistência suficiente para utilização para fins estruturais em estruturas de menor desempenho solicitado, como fundações que corriqueiramente são projetadas com F_{ck} de 20 MPA.

É provável que uma adequação na dosagem do concreto possa apresentar resultados mais significativos, entretanto a adoção de mais cimento ou menos água impacta diretamente na característica do abatimento, que é bastante importante para utilização do concreto para fins estruturais em concreto armado.

A seguir podem ser observados os resultados apresentados pelos corpos de prova individualmente:

Tabela 5 - Resultados do ensaio de compressão do concreto com 75% de substituição.

Resultados do ensaio de compressão		
	Força de ruptura	Tensão de ruptura
CP 1	23211 Kgf	29 MPa
CP 2	20262 Kgf	25,3 MPa
CP 3	19752 Kgf	24,7 MPa
CP 4	19774 Kgf	24,7 MPa
CP 5	15730 Kgf	19,6 MPa
CP 6	20641 Kgf	25,8 MPa
Média	19900 Kgf	24,84 MPa
Desv. Padrão	2411 Kgf	3,01 MPa
Mínimo	15730 Kgf	19,64 MPa
Máximo	23210 Kgf	28,98 MPa

Gráfico 4 - Resistência a compressão dos CP do concreto com 75% de substituição.

5. CONCLUSÕES

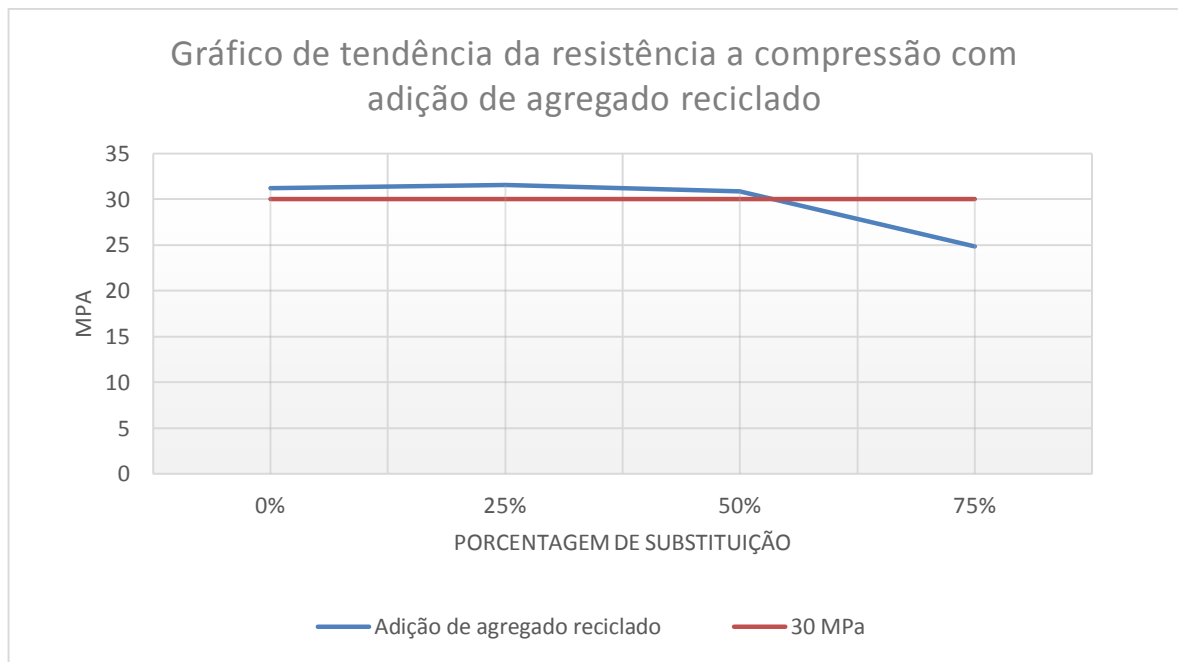
De acordo com o desenvolvimento da metodologia proposta, pautada em normativas reconhecidas no âmbito da engenharia, e os resultados obtidos nos ensaios realizados foi possível concluir-se que:

- A utilização de agregados reciclados de concreto traz significativas vantagens em detrimento dos agregados reciclados da construção civil em geral. Uma vez que o mesmo possui certa homogeneidade da natureza e proporções de seus constituintes, que faz possível a sua utilização em concretos com finalidades que requerem maior resistência mecânica;
- O grande teor de materiais pulverulentos na sua constituição e a porosidade característica de resíduos de concreto conferem ao concreto uma grande absorção da água de amassamento, que deve ser devidamente calculada para garantir o abatimento do novo concreto dosado. O abatimento é a principal característica afetada com a adição de agregado reciclado de concreto, devido às características lamelares do agregado reciclado;
- A dificuldade de se atingir o abatimento requerido pela fábrica de postes representa um agravante na dosagem do concreto. A adição indiscriminada de água poderá afetar a resistência do concreto e o aumento do teor de argamassa na dosagem irá tornar o concreto mais caro;
- Durante a pesquisa foi adotada a metodologia de adição de água em valores calculados de acordo com o percentual de absorção de água do agregado reciclado para compensar a absorção da água de amassamento, que apresentou bons resultados até o grau de substituição de 50%. A partir deste ponto a adição de água afetou a resistência do concreto, mostrando que a quantidade de argamassa aderida a este agregado quando em grandes proporções dentro do concreto passa a conferir menor resistência. É possível que com equipamentos mais adequados na remoção do material pulverulento este efeito seja minimizado;
- Através dos ensaios de compressão axial realizados foi possível observar que substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de concreto não chega a impactar a resistência à compressão do concreto até 50% de substituição, e a partir de 75% de substituição os corpos de prova não atingiram a resistência necessária de 30 MPA necessária para a constituição de um novo poste em concreto armado.

Dados os fatos observados conclui-se que os agregados reciclados de concreto oriundos de resíduos de postes em concreto armado podem ser utilizados na constituição de um novo concreto com fins estruturais, observando-se o grau de substituição utilizado.

Para sua utilização em novos postes de concreto armado os resultados mostram que sua utilização apresenta-se segura até o grau de substituição de 50%. Entretanto não deve-se eliminar a possibilidade da sua utilização em outras estruturas de menor desempenho mecânico, uma vez que são considerados concretos estruturais a partir da classe C20 (concreto com fck de 20 MPA).

Gráfico 5 - Resistência x Grau de substituição.



Entretanto ressalta-se que a utilização do agregado reciclado de concreto depende de sua preparação prévia, britagem adequada e remoção da parcela de pulverulentos existente. Os custos do seu beneficiamento devem ser levados em consideração antes de se adotar esta medida na cadeia produtiva dos postes, e somente a análise quantitativa dos investimentos necessários podem garantir a viabilidade econômica da utilização dos agregados reciclados de postes em concreto na constituição de um novo concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, Sé. C.; JOHN, V. M. Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade. **IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 1613-1624, 2002.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo: USP, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 12655: **Concreto de cimento Portland-Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5739: **Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7217: **Agregado - determinação da composição granulométrica, especificação**. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7211: **Agregados para concreto**. Rio de Janeiro, 2009, 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais—Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecido—Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil** – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004: **Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR. 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil-Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural-Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NM 248: **Agregados-Determinação da composição granulométrica**, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NM 53: **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NM 27: **Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**, 2011.

BILODEAU, A.; MALHOTRA V. A. **High-volume fly ash system: concrete solution for sustainable development**. In: ACI Materials Journal, USA, v. 96, n. 1, p. 41-48, 2000.

CABRAL, A.E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. São Carlos – SP, 2007. 280p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2007.

CARNEIRO, F.P. et al. **Resíduos de construção e demolição na região metropolitana do Recife - RMR: um estudo de caso**. In: Conferência Latino Americana de Construção

Sustentável - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais. São Paulo: Antac. 1 CD-ROM.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005.

DUARTE, U. E. S. **Estudo da Resistência Mecânica do Betão com Agregado Cerâmico Vermelho.** 2015. Tese de Doutorado.

ENERGISA. **Relatório interno de geração de resíduos sólidos.** Palmas, Tocantins. 2016.

GODOY, C. M. R. P. J.; RABELO, S. K. L.; FREIRE, M. G. M. Reaproveitamento dos resíduos operativos provenientes de uma concessionária distribuidora de energia elétrica. **Perspectivas Online**, v. 5, n. 17, 2011.

GOMES, P. C. C. et al. **Projeto desentulho para a cidade de Maceió.** Maceió: Sebrae, Fundepes, Ufal, 2005. Relatório Técnico.

GONÇALVES, J. P. **Utilização de resíduos de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos.** Dissertação de curso de pós graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2000.

GOMES, S. C.; PIMENTEL, L. L. **Análise da viabilidade de incorporação de agregados reciclados provenientes do beneficiamento de resíduo classe A na produção de concretos c20 e c30.** 2015.

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

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; KAHN, H. **Controle da qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização.** 2006.

JOHN, V. M. **Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos**. In: Workshop sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, São Paulo: PCC-USP, Departamento de Engenharia Civil, p. 21-30, 1996.

JOHN, V. M. **Cimentos de escória de auto forno ativada com silicatos de sódio**. Tese de Doutorado, São Paulo: EPUSP, p. 112, 1995.

JOHN, V. M. **Panorama da reciclagem na construção civil**. In: Revista qualidade na construção. São Paulo, n. 20, v. 1, ano III, 1999.

KISHIMOTO, T. M.; OLIVEIRA-FORMOSINHO, J. **Tecnologia do Concreto**. Bookman Editora, 2013.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry**. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE. São Paulo, 2000.

LORENZI, A. et al. **Utilização de tomografia ultrassônica para avaliação de postes de concreto após sinistro**. COMPAT, Lisboa. 2015.

MARTINS, I., ANTUNES, A., FREIRE, A., BATISTA, F., FORTUNATO, E., & ROQUE, A. **Utilização de RCD em Betão**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2008.

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

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável**. 2012.

MOREIRA, L. H. H. **Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

PIETRA, L. **Avaliação do concreto com agregados graúdos reciclados e resíduos de construção e demolição reforçado com fibras de aço**. 2005. 129 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

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

SAGOE-CRENTSIL, K. K.; BROWN, T.; TAYLOR, A. H.. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. **Cement and concrete research**, v. 31, n. 5, p. 707-712, 2001.

SANCHÉZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**. Oficina de Textos, 2015.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Ministério das Cidades. **Resíduos Sólidos: gerenciamento de resíduos da construção civil: guia do profissional em treinamento: nível 2**. 2008, 68p.

SILVA, C. **A problemática dos Resíduos de Construção e Demolição: custos e benefícios da triagem**. Lisboa: Trabalho realizado no âmbito de um estágio curricular, CEIFA ambiente. 2004.

TENÓRIO, J. J. L. et al. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais.** 2007.

UEST, U. **Development of the best management system for high priority waste streams in Cyprus.** Project LIFE 03 TCY/CY/018, chapter 1. 2006.

VEIGA, J., & RUIVO, J. **Resíduos de construção e demolição: estratégia para um modelo de gestão.** Lisboa: Licenciatura em Engenharia do Ambiente, IST. 2004.

ANEXOS