



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

José Luiz de Assis Neto

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Palmas – TO

2019

José Luiz de Assis Neto

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CERÂMICO COMO
AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dênis Cardoso Parente

Palmas – TO

2019

José Luiz de Assis Neto

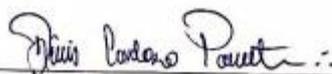
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO
AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado
como requisito parcial para aprovação na
disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia
Civil do Centro Universitário Luterano de
Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Denis Cardoso Parente.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA



Prof. Msc. Denis Cardoso Parente

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Eng.º Esp. João Pedro Noleto Barbosa

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento não pode ser diferente senão a Deus, que nos dá a vida e saúde para que possamos concluir as etapas mais difíceis de nossas vidas.

Agradeço aos meus pais e meu irmão pelo amor que me é dado todos os dias e por sempre estarem presentes me ajudando quando tomo minhas decisões. Vocês foram os responsáveis por me ensinar o verdadeiro significado do amor.

Aos meus amigos Diego Araujo, Salomão Arraes, José Manuel, Vitor Hugo, Thaís Menezes, Gabriela Queiroz, Isabel Cristina, Andrew Alexandre e Victória Cristina que em momentos me ajudaram e apoiaram na execução desta pesquisa e no decorrer da graduação. Também aos técnicos laboratoriais Miller e João Pedro que me deram suporte nos ensaios desta pesquisa.

Ao meu orientador Dênis Cardoso, pelo suporte, por sua dedicação e incentivo, em todos os momentos que precisei de ajuda

O agradecimento se estende também a todos os professores que compartilharam suas sabedorias contribuindo com meu crescimento profissional.

Todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram, o meu muito obrigado!

RESUMO

Diante da problemática do grande impacto ambiental causado pela indústria da construção civil, foi realizado um estudo de produção de concreto com a utilização agregados de resíduo cerâmico, substituindo de forma parcial o agregado miúdo do concreto convencional. Foram feitos ensaios para a caracterização do resíduo cerâmico e o mesmo atingiu uma granulometria semelhante ao agregado miúdo natural. Para a pesquisa, foram fabricados concretos com diferentes teores de substituições de agregado miúdo natural para o agregado miúdo residual, esses teores foram de 0, 10, 20 e 30%. No estado fresco, os concretos foram analisados quanto sua consistência. Estando em estado endurecido os concretos foram ensaiados quanto a sua compressão nas idades de 3, 7 e 28 dias. Para análise dos concretos quanto a tração por compressão diametral os concretos foram ensaiados na idade de 28 dias. Os ensaios de absorção de água por imersão e índice de vazios foram aconteceram quando os concretos estavam com idade de 30 dias de cura úmida. Os resultados obtidos através dos ensaios com os concretos com a substituição parcial da areia foram comparados com um concreto referência, para avaliar a influência do resíduo nas propriedades do concreto. A consistência do concreto foi diminuindo conforme foi aumentado o teor de resíduo do concreto. Os ensaios de tração e compressão apresentaram a resistência abaixo do concreto referência, conforme o teor de substituição foi aumentado a resistência diminuiu. Os ensaios de absorção de água e índice de vazios justificou a porosidade do material utilizado, uma vez que conforme a substituição aumentava o concreto absorveu mais água e teve um maior índice de vazios quando comparados com o concreto referência. Sendo assim, foi observado que o resíduo cerâmico não trouxe benefícios consideráveis ao concreto.

Palavras-chave: Resíduo cerâmico. Agregado miúdo. Concreto.

ABSTRACT

Faced with the problematic of the great environmental impact caused by the construction industry, a concrete production study was carried out with the use of ceramic waste aggregates, partial replacement or small aggregate of conventional concrete. Tests were performed to characterize the ceramic residue and it obtained a grain size like the natural fine aggregate. For a research, concretes with different substitution levels of natural aggregate or residual, were manufactured, these contents of 0, 10, 20 and 30%. In the fresh state, the concretes were analyzed for their consistency. Being in a stable state, the concretes were tested for their compression at the ages of 3, 7 and 28 days. For analysis of concretes for diametrical compression pressure or concretes were tested at the age of 28 days. The immersion water absorption tests and leakage rate occurred when the concretes were 30 days old of wet cure. The results obtained using partial sand replacement concrete tests were compared with a concrete reference to evaluate the influence of the residue on the concrete properties. The consistency of the concrete was decreased as it was increased or the residue content of the concrete. Exposure and compression tests showed resistance below the reference concrete as the substitution content was increased or decreased. Water absorption tests and leak rate justify the porosity of the material used as it is necessary to replace the water or concrete absorption filter and absorb more water and had a higher leak rate when compared to the reference calculation. Thus, it was observed that the ceramic residue did not bring considerable benefits to the concrete.

Keywords: Ceramic waste. Household kid. Concrete.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades obtidas para o agregado miúdo natural.....	32
Tabela 2 - Composição granulométrica do agregado graúdo.....	33
Tabela 3 – Dados da granulometria do agregado miúdo artificial.	39
Tabela 4 - Traços utilizados nesta pesquisa	40
Tabela 5 - Consumo dos insumos por metro cúbico de concreto.....	41
Tabela 6 - Corpos de prova para os ensaios.....	43
Tabela 7 - Resultado dos ensaios com o resíduo cerâmico	50
Tabela 9 - Consistência do concreto com e sem substituição do agregado miúdo por resíduo cerâmico	51
Tabela 10 - Média da resistência a compressão dos corpos de prova nas idades de 3, 7 e 28 dias.....	52
Tabela 11 - Valores médios do rompimento de tração dos corpos de prova com e sem substituição do agregado miúdo por areia de resíduo cerâmico	54
Tabela 12 - Média dos valores de massa seca, massa saturada e a porcentagem da absorção de água.....	56
Tabela 13 - Índice de vazios do concreto no estado endurecido.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Granulometrias das brita.....	19
Figura 2 - Ilustração quanto a classificação das areias.	20
Figura 3 - Resíduos de bloco cerâmicos.....	22
Figura 4 - Total de resíduo coletados por região no Brasil.....	23
Figura 5 - - Microestrutura do Concreto Convencional	26
Figura 6 - Série de peneiras apoiadas sobre o agitador utilizado para o ensaio de granulometria do agregado miúdo.....	31
Figura 7 - Resíduo de bloco cerâmico coletado na indústria.	37
Figura 8 - Resíduo de bloco cerâmico após o processo de britagem.	38
Figura 9 – Abatimento do concreto de 20% de substituição	42
Figura 10 - Corpos de prova no tanque destinado a cura úmida	44
Figura 11 - Corpo de prova durante o ensaio de compressão	45
Figura 12 - Corpos de prova após o rompimento, em sequência: traço referência, 10, 20 e 30% de substituição	45
Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	46
Figura 14 - Corpo de prova ainda úmido passando pela pesagem.....	47
Figura 15 - Estufa onde foram secados os corpos de prova.....	48
Figura 16 - Balança hidrostática utilizada para o ensaio de índice de vazios	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia	32
Gráfico 2 - Curva granulométrica da brita	33
Gráfico 3 - Faixa granulométrica do agregado reciclado	51
Gráfico 4 - Resistência a compressão para cada traço e para cada idade	53
Gráfico 5 - resistência a tração aos 28 dias para cada traço	55
Gráfico 6 - Média dos valores referentes a absorção de água (%)	56
Gráfico 7 - Valores médio dos índices de vazios para cada teor de substituição.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Corpo de Prova

DMC – Diâmetro Máximo Característico

MF – Módulo de Finura

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

RCV – Resíduo de Cerâmica Vermelha

μm - Micrômetro

Sumário

1	Introdução.....	14
1.2	Problema de pesquisa.....	15
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	Justificativa.....	15
2.	Referencial teórico.....	17
2.1	Concreto Convecional	17
2.1.1	Agregados	18
2.1.2	Definição.....	18
2.1.3	Origem.....	19
2.1.4	Agregado graúdo	19
2.1.5	Agregado miúdo	20
2.2	Resíduos de construção civil.....	20
2.2.1	Classificação quanto aos resíduos	21
2.3	Resíduo de cerâmica vermelha.....	22
2.3.1	Resíduos gerados em indústrias de cerâmica vermelha	23
2.4	Microestrutura do concreto.....	24
2.4.1	Microestrutura da fase agregado (concreto convencional)	24
2.4.2	Zona de Transição	25
2.5	Dosagens do concreto	26
2.5.1	Tamanho e forma dos corpos de prova	27
2.5.2	Resistência à compressão do concreto	27
2.5.2.1	Conceito de resistência à compressão	27
2.5.2.2	Determinação da resistência à compressão	27

2.5.3 Resistência à tração por compressão diametral	27
2.5.4 Absorção de água, índice de vazios	28
3.0 Materiais e métodos.....	29
3.1 Tipo de estudo.....	29
3.2 Local de pesquisa	29
3.3 Objeto de estudo	29
3.4 Materiais.....	29
3.4.1 Cimento Portland	29
3.4.2 Agregado miúdo	30
3.4.3 Agregado graúdo	30
3.4.4 Resíduo da cerâmica vermelha	30
3.4.5 Água	30
3.5 Caracterização dos materiais	30
3.5.1 Agregados	30
3.5.1.1 Determinação da composição granulométrica	30
3.5.1.2 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman	34
3.5.1.3 Determinação da massa unitária – NBR NM 45 (2006)	35
3.5.1.4 Material fino passante pela peneira 75 µm (°200).....	36
3.5.1.5 Impurezas orgânicas.....	36
3.5.2 Etapas para o beneficiamento dos resíduos cerâmicos	37
3.6 Dosagem do concreto	39
3.7 Ensaio do concreto.....	41
3.7.1 Estado Plástico	41
3.7.1.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	41
3.7.2 Estado endurecido	43

3.7.2.1 Resistência a compressão	44
3.7.2.2 Resistência a tração.....	46
3.7.2.3 Absorção de água e índice de vazios no concreto endurecido	46
4.0 Resultados e Discussões.....	50
4.1 Característica dos materiais	50
4.1.1 Resíduo de cerâmica vermelha	50
4.2 Concreto.....	51
4.2.1 Estado fresco.....	51
4.2.2 Estado endurecido.....	52
4.2.2.1 Resistência a compressão	52
4.2.2.2 Resistencia a tração.....	54
4.2.2.4 Absorção de água por imersão	55
4.2.2.5 Índice de Vazios.....	57
5.0 Conclusões	58
6.0 Referências.....	60

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material construtivo que contém uma estrutura altamente complexa. Ter ciência do seu comportamento como um todo e ter a habilidade de interpretá-lo através do estudo das propriedades no estado fresco e endurecido é algo indispensável na engenharia civil, visto que podemos garantir o aumento da vida útil das estruturas e, sobretudo sua segurança. (GIROTTI, 2012).

Conforme Pedroso (2009), O concreto é um material amplamente disseminado no mundo, podendo ser encontrado desde nossas casas de alvenaria mais pequenas até nos edifícios mais altos do mundo. Atualmente, estima-se que são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto por ano, o que dá, segundo a Federación Ibero Americana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água.

A facilidade de moldagem e a grande resistência a compressão é o que torna o concreto uma das soluções construtivas mais viáveis e mais utilizadas no mundo.

Uma grande solução da engenharia para minimizar o impacto ambiental gerado pela construção civil é o reaproveitamento dos resíduos de construção, uma das maneiras adotadas para fazer o reaproveitamento de tais resíduos é transformação dos mesmos em agregados para a reutilização em novos concretos. Atualmente a construção civil gera uma gama de resíduos que podem ser, dentre eles telhas, tijolos, concretos, argamassas, aço, entre outros.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Diversos fatores ambientais preocupam quanto a geração de resíduos sólidos provenientes da construção civil. A reutilização desses resíduos, como forma de agregado, está se tornando uma prática comum na obtenção de novos materiais.

Qual será a influência da utilização de resíduo de bloco cerâmico em substituição da areia natural nas propriedades do concreto?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a influência da utilização de resíduo cerâmico em substituição do agregado miúdo. Esse estudo utilizará o resíduo cerâmico como substituição parcial do agregado miúdo convencional pelo resíduo em 10, 20 e 30%

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar o resíduo cerâmico;
- b) Avaliar a influência da substituição do agregado miúdo por resíduo de bloco cerâmico no estado plástico (Consistência);
- c) Avaliar a influência da substituição do agregado miúdo por resíduo de bloco cerâmico no estado endurecido (resistência à compressão, resistência a tração; absorção de água e índice de vazios);
- d) Analisar os resultados obtidos nos ensaios realizados em laboratório.

1.4 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, com alto consumo dos recursos naturais do meio ambiente a preocupação com a sustentabilidade vem sendo debatida nas mais diversas áreas. A busca por inovações e a produção por novos métodos que minimizem os impactos gerados pela construção civil é algo que está em crescimento constante, no intuito de possibilitar a reutilização dos materiais como meio de preservação dos recursos naturais.

Conforme Sales e Alferes Filho (2014), sabe-se que a indústria da construção civil e todas as áreas que a assistem pertencem a um dos maiores setores da economia mundial. Com o crescimento acelerado, o setor é um grande consumidor

de matérias primas, que em sua maioria são naturais e não renováveis, tendo por consequência um grande volume de resíduos, seja na fase da construção ou demolição.

Muitos estudos vêm sendo realizados para provar que o reaproveitamento dos resíduos de construção civil pode ser uma solução viável e sustentável de realocação desse material. A reutilização do resíduo de tijolo cerâmico, quando substituído pelo agregado miúdo, pode ser uma saída para a obtenção de um concreto estrutural, desde que os resultados não deem abaixo do esperado para o que caracteriza um concreto leve estrutural, no qual será estudo nessa pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO CONVECIONAL

O concreto é um material compósito constituído por cimento Portland, água e agregados. Os agregados são materiais granulares como britas, seixos, ou também outros tipos de resíduos.

Conforme descrito por Mehta; Monteiro (1994), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos. No Egito já se empregava a argamassa com função e composição parecidas com a de um concreto na construção das estruturas das pirâmides e das sepulturas onde a mesma servia como material responsável pela junção das peças. O concreto é um material que ao longo do tempo apresenta variações significativas de suas propriedades. Variações das quais apresentam velocidades individualizadas ao longo da vida.

Uma das funções principais da pasta misturada é envolver todos os agregados, preenchendo grande parte dos vazios formados e gerar possibilidades de manuseio do mesmo. No estado endurecido, a pasta tem função de aglutinar os agregados, estabelecendo um sistema com algumas características, dentre elas: uma certa impermeabilidade, durabilidade e a resistência aos esforços mecânicos.

Ao preparar concretos é necessário ter grande atenção quanto ao fator água/aglomerante, uma vez que seu valor seja menor que o necessário, o cimento não atinge a hidratação adequada e caso o fator for superior ao ideal, a permeabilidade e a resistência serão afetadas, pois podem surgir vazios e canalículos, quando a água se apresenta em excesso ela é carregada para a superfície e o próximo passo é a evaporação (SCOBAR, 2016).

No concreto, a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, devido ao alto custo do cimento, faz se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada consistência, também há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/gráudo) que minimiza a quantidade de pasta. Seu desempenho depende das propriedades das matérias-primas, e das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

As características do concreto dependem do seu estado físico. No seu estado fresco, é importante observar um atributo, a trabalhabilidade, que é responsável por

facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido suas principais características são: a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência.

Estudos vem sendo feitos para atingir o melhoramento das propriedades do concreto através de diversas adições e aditivos como: a sílica ativa, os aceleradores de pega e incorporadores de ar. (SCOBAR, 2016)

2.1.1 Agregados

O agregado é um dos componentes mais importantes na elaboração da dosagem do concreto, pois aproximadamente 70 a 80% do volume do concreto é composto por agregados, o que torna o custo mais baixo por unidade de volume, devido os mesmos serem de menor custo que o cimento. A atuação dos agregados trabalha de forma decisiva em certas propriedades, entre as quais: redução de retração na pasta do cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhoria na trabalhabilidade entre outros (NEVES, 2009).

A utilização dos agregados se justificam ao fato que quanto maior a quantidade de agregado menor será o fator água/cimento efetivo, em outros casos, um teor maior de agregados resultaria em uma menor retração e menor exsudação e, portanto, menor dano à aderência entre o agregado e a pasta do cimento e também seriam menores as variações térmicas devidas ao calor de hidratação do cimento. (NEVILLE,1997).

Segundo Neville (1997), a influência do agregado na resistência do concreto não é somente atribuída a sua resistência mecânica, mas também e significativamente, à sua absorção e às características de aderência. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. Um exemplo que podemos dar a cerca desse conceito é que uma superfície mais áspera como a de partículas britadas, resulta em uma melhor aderência devido ao intertravamento mecânico e a maior superfície de aderência.

2.1.2 Definição

A NBR 9935/2011 define o agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de concreto e argamassa (NEVES, 2009).

2.1.3 Origem

Os agregados naturais são facilmente encontrados na natureza já fragmentados, sob a forma particulada de agregado, como: Areias de barranco, minas, rios, dunas. (NEVILLE, 1997).

2.1.4 Agregado graúdo

Tanto a brita quanto o seixo britado são materiais granulares produzidos pela indústria extrativa mineral que se caracterizam por apresentar dimensões e propriedades físicas, químicas e tecnológicas adequadas para uso como agregado graúdo na construção civil. Ambos são obtidos da exploração de jazidas minerais, sendo que a brita passa por uma etapa a mais de tratamento mineral, a de britagem, antes de sua comercialização. São provenientes de rochas cristalinas sendo que, para o seixo, a desagregação se dá por processos naturais (DNPM, 2012).

Os agregados graúdos podem ser classificados conforme os tamanhos das partículas componentes (diâmetros máximos e mínimos), segundo o Ministério de Minas e Energia (2009) os tamanhos mais utilizados na construção civil, no Brasil são:

- Brita 0 – 4,8 a 9,5 mm
- Brita 1 – 9,5 a 19mm
- Brita 2 – 19 a 25mm
- Brita 3 – 25 a 50mm

Figura 1 – Granulometrias das brita



Conforme o Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON) os agregados graúdos devem ser escolhidos pelo tamanho do grão e a forma geométrica. É de grande importância a composição granulométrica do agregado, pois pode haver alterações na composição do concreto.

2.1.5 Agregado miúdo

As areias são divididas entre grossas, médias finas e muito finas, conforme o valor de seu módulo de finura. Esse resultado é obtido através da soma das percentagens do acumulado em cada peneira. As areias se dividem o seu módulo de finura como mostra a norma NBR 7211 (2009) onde estão descritas a seguir:

- Areia grossa - módulo de finura entre 3,35 e 4,05;
- Areia média – módulo de finura entre 2,40 e 3,35;
- Areia fina – módulo de finura entre 1,97 e 2,40;
- Areia muito fina – módulo de finura menor que 1,97.

Figura 2 - Ilustração quanto a classificação das areias.



Fonte: Grupo Aleixo

2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Com o passar do tempo o setor da construção civil tem aprimorado suas técnicas construtivas com o avanço das tecnologias. Porém, O aprimoramento tem a tendência de ser o setor que mais consome os recursos naturais, conseqüentemente sendo um dos maiores geradores de grandes volumes de resíduos. (Caldeira; Serradilha; Rodrigues; 2016)

Em tese, os Resíduos provenientes de construção civil são considerados como de baixa periculosidade, o principal problema é o grande volume que é gerado, nesses resíduos é possível encontrar, materiais orgânicos e uma variedade considerável de embalagens que podem favorecer o acúmulo de água, conseqüentemente possibilitando a proliferação de vetores e doenças. (Fernandez, apud KARPINSK, 2009)

Os resíduos provenientes de construção civil representam grandes problemas em vários centros urbanos brasileiros. A má disposição desses resíduos gera problemas que podem ser de ordem estética, na saúde pública e problemas ambientais. Esta má disposição também representa um problema no sistema de coleta e limpeza pública, uma vez que no Brasil, os RCC podem representar de 50 a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

O CONAMA (2002) também define o agregado reciclado com um material granular de origem de resíduos de construção que apresentem as características necessárias para a aplicação em outras obras de edificação, infraestrutura, aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

2.2.1 Classificação quanto aos resíduos

O artigo 3º do CONAMA (2012) Classifica os resíduos de construção civil da seguinte maneira:

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

De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solo provenientes de terraplanagem;

a) De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; b) De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II – Classe B – são resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

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

IV – Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais a saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais contêm amianto ou outros produtos nocivos à saúde”

O presente trabalho utilizará resíduos que se caracterizam dentro dos padrões de classe A do CONAMA (2002), como ilustrado na figura 3 que mostra uma quantidade de resíduos de bloco cerâmicos.

Figura 3 - Resíduos de bloco cerâmicos



Fonte: disponível em: <<http://www.ipt.br/noticia/780.htm>>]

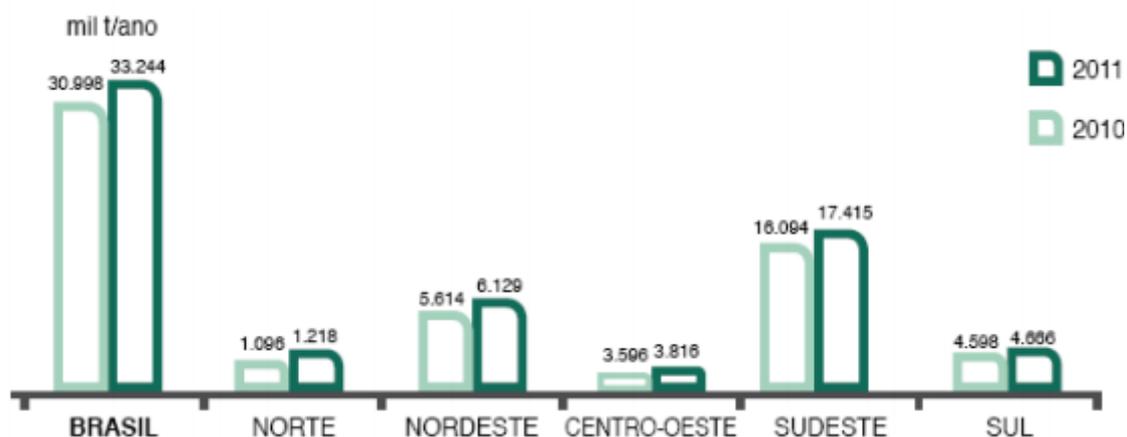
2.3 RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são constituídos em cerca de 90% por frações de natureza mineral (concretos, argamassas, rochas naturais, solos e cerâmicas), tanto no Brasil como na Europa (CARNEIRO et al., 2000; FERRAZ et al., 2001; EC, 2000). Do ponto de vista químico, a composição estimada do RCD brasileiro, em óxidos, seria majoritariamente sílica, seguido de alumina e óxido de cálcio (ÂNGULO et al., 2001).

Pesquisas realizadas pela ABRELPE em 2011 revelam o comportamento dos municípios brasileiros relativamente aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Os municípios pesquisados representam 51% da população urbana total do Brasil

indicada pelo IBGE em 2011. A Figura 4 mostra que os municípios coletaram mais de 33 milhões de toneladas de RCD em 2011, um aumento de 7,2% em relação a 2010.

Figura 4 - Total de resíduo coletados por região no Brasil



Fonte: ABRALPE

2.3.1 Resíduos gerados em indústrias de cerâmica vermelha

As indústrias cerâmicas são importantes fornecedoras de produtos para o setor da construção civil, produzindo materiais de grande utilização, como tijolos, telhas e lajotas. Este tipo de indústria é importante geradora de impactos ambientais, sendo que os principais provêm da deterioração das áreas onde é explorada a matéria prima, do consumo de energia e consequente emissão de poluentes na atmosfera, além da geração de resíduos sólidos (Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), 2013). A produção de cerâmica vermelha no Brasil atinge cerca de 130 milhões de toneladas por ano, sendo feita, em sua maioria, por empresas de pequeno e médio porte. O estado de Minas Gerais desponta neste ramo ceramista como o segundo maior produtor do país, atrás do estado de São Paulo, apresentando grandes jazidas de argila que constitui a matéria prima da produção das cerâmicas. Do total da produção de todo o país, pelo menos 5% de produto final é rejeitado e algumas vezes utilizado como cascalho (FIEMG, 2013; IPT, 2014). Os resíduos gerados pelas indústrias cerâmicas provêm de várias etapas da produção, sendo os principais: resíduos comuns (recicláveis ou não), resíduos perigosos, cinzas, material cru não conforme e produto final fora de especificação. (FIEMG, 2013). Os resíduos sólidos finais fora de especificação constituem-se de peças quebradas e outras que não se

encontram de acordo com as normas técnicas existentes destinadas a esta produção (FIG. 2). A destinação final deste produto é de responsabilidade do produtor que geralmente o deixa disposto nos pátios da empresa para que mais tarde seja descartado ou utilizado no cascalhamento de estradas ou pátios de empresas, o que não traz lucratividade alguma à empresa. Novos métodos de reaproveitamento destes rejeitos vêm sendo estudados, objetivando uma nova forma de lucratividade econômica às empresas do setor e também a minimização de danos ao meio ambiente, gerados pela produção dos produtos cerâmicos, implantando com isto uma produção mais sustentável. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2014), existem duas potenciais utilizações aos resíduos sólidos: —como matéria-prima (chamote) retornando à massa cerâmica (estabelecendo o tipo de moagem e a proporção em que podem ser 36 usados), e como aditivo mineral ativo, de ação pozolânica, em argamassas e artefatos de cimento (IPT, 2014).

2.4 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

A microestrutura do concreto é constituída pelo tipo, tamanho, forma e distribuição das fases presentes no material. Os concretos apresentam uma complexa e heterogênea microestrutura. (MEHTA, 2008)

A microestrutura do concreto se particiona em 3 fases:

1. A pasta de cimento hidratada;
2. Agregado;
3. Zona de transição.

Sendo a zona de transição uma das fases mais importantes para tal estudo.

2.4.1 Microestrutura da fase agregado (concreto convencional)

Conforme Mehta e Monteiro (2008) as propriedades do concreto como: módulo de elasticidade, massa unitária e estabilidade dimensional do concreto estão diretamente ligadas com a microestrutura do concreto na fase do agregado. A característica física dos agregados (resistência e densidade) são mais determinantes para tais propriedades que a composição química dos mesmos.

Outros fatores determinantes quanto as propriedades do concreto são a textura e a forma do agregado graúdo, uma vez que tal material (britado) pode possuir

partículas achatadas ou alongadas que desfavoreçam a interação com a pasta de cimento. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

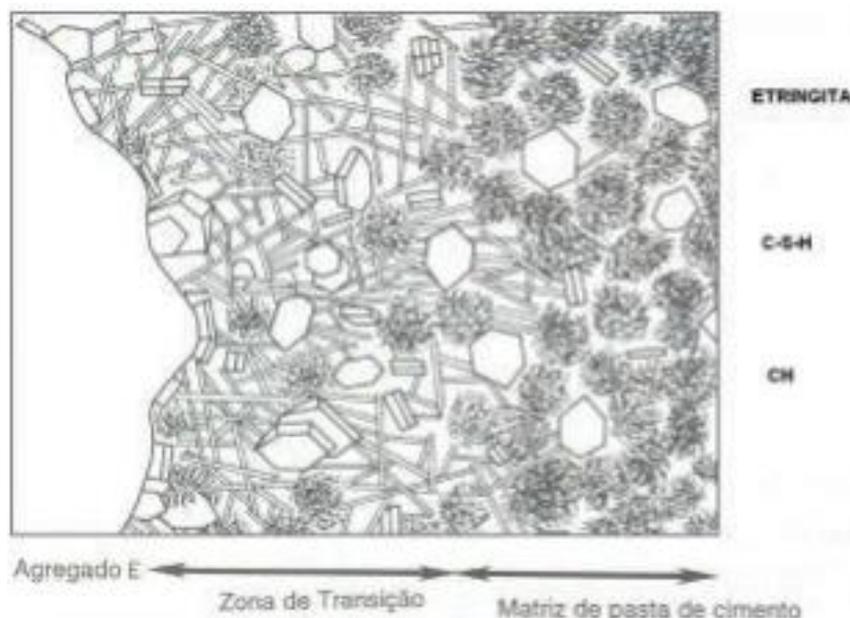
Embora a fase do agregado possua a maior resistência entre as outras fases, ela não é um fator que influencie diretamente na resistência do concreto, exceto se os agregados apresentarem porosidades altas ou estiverem quebradiços. No contexto geral, a forma e o tamanho do agregado gráudo são os fatores que podem determinar indiretamente na resistência do concreto, tendo a relação proporcional de quanto maior o tamanho e a características (alongadas e achatadas) maior será a água presente na superfície do agregado, tornando, assim, a zona de transição pasta-agregado fraca (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

2.4.2 Zona de Transição

De acordo com Rossignolo (2009), a zona de transição interfere, diretamente, as características relacionadas à resistência mecânica, o módulo de deformação, o mecanismo de propagação de fissura e a permeabilidade de agentes agressivos nos concretos, demonstrando assim, a grande importância de pesquisas e estudos sobre a zona de transição pasta-agregado.

A zona de transição na interface pasta-agregado é normalmente a parte com menor resistência do concreto, e pode ser considerada a fase limitante da resistência mecânica do concreto. Geralmente a resistência mecânica na zona de transição é menor em relação às duas outras fases, rompendo primeiro nesta. No concreto fresco, filmes de água são formados ao redor do agregado, aumentando o fator água/cimento nesta área. Em seguida, íons decorrentes da dissolução de componentes do cimento se combinam e formam etringita, hidróxido de cálcio e silicato de cálcio hidratado. Em consequência da maior relação água/cimento, os produtos cristalinos ao redor do agregado apresentam cristais maiores, formando uma estrutura mais porosa e mais rica em etringita e hidróxido de cálcio. Em decorrência do apresentado que a resistência na fase de transição é menor, pois quanto mais compacta for a pasta e menos cristalinos forem os compostos de hidratação maior será a resistência mecânica do concreto. A figura 5 mostra a zona de transição do concreto.

Figura 5 - - Microestrutura do Concreto Convencional



Fonte: MEHTA e MONTEIRO, (1994).

2.5 DOSAGENS DO CONCRETO

Na dosagem do concreto o principal objetivo é de produzir uma pasta de ótima qualidade que atenda as especificações necessárias para obter um material resistente de modo atender uma boa resistência e uma plasticidade suficiente para atender as exigências da construção civil. De acordo com o instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON), no proporcionalmente de dosagem do concreto é necessário colocar o cimento em um misturador definido com uma proporção de cimento, geralmente número de sacos, ou na unidade definida pela central de concreto para em seguida adicionar os agregados. Os agregados são adicionados de acordo com a norma de dosagem de concretos convencionais. A mistura do concreto é uma operação de grande importância, geralmente realizadas por betoneiras, caminhões “mixer”, e de forma manual, através dela que obterá uma homogeneidade que determinará a resistência do concreto, assim definindo sua qualidade.

A resistência adotada como referência para a dosagem é a resistência média com 28 dias obtidos em corpos de provas padronizados de acordo com a Associação Brasileira de Normas técnicas (NBR 5739:2007).

2.5.1 TAMANHO E FORMA DOS CORPOS DE PROVA

O tamanho e forma dos corpos de prova têm significativa influência nos resultados dos ensaios de resistência à compressão e pode se tornar um problema para análise comparativa visto que diferentes países utilizam diferentes formas e tamanhos de corpos de prova. No Brasil, são utilizados, corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm, nos Estados Unidos o corpo de prova padrão é um cilindro de 150 mm x 300 mm, já a norma britânica determina que possam ser utilizados cubos, cilindros ou prismas de diferentes dimensões (BS EN 12390-1, 2000; RAO et. al., 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

2.5.2.1 Conceito de resistência à compressão

No concreto, a resistência está relacionada com tensão máxima necessária para causar a ruptura. Mesmo sem sinais visíveis de fratura externa, o corpo de prova é considerado rompido quando não suportar uma carga maior, isso devido ao estado avançado de fissuração interna atingida (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A resistência à compressão do concreto é determinada conforme a NBR 5739:2007, que prescreve um método de ensaio para corpos de prova cilíndricos de concreto. Basicamente, o ensaio consiste em posicionar o corpo de prova em uma prensa que aplicará um carregamento a uma velocidade constante de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s até que haja uma queda de força indicando sua ruptura.

2.5.2.2 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto é determinada conforme a NBR 5739:2007, que prescreve um método de ensaio para corpos de prova cilíndricos de concreto. Basicamente, o ensaio consiste em posicionar o corpo de prova em uma prensa que aplicará um carregamento a uma velocidade constante de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s até que haja uma queda de força indicando sua ruptura.

2.5.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Idealizado pelo brasileiro Lobo Carneiro, este ensaio mede a resistência à tração simples do concreto, baseando-se no princípio de que um cilindro, carregado

diametralmente, recebe tensões de tração, além das de compressão; sendo a resistência à tração do concreto numericamente bem menor que a de compressão, ele rompe por tração. (ABNT NBR 7222:2010)

2.5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Estruturas de concreto sem revestimento estão, em maior ou menor grau, sujeitas à ação de agentes agressivos como o gás carbônico existente no ar, o sal da água do mar, os gases sulfurosos de uma rede de esgoto etc. Quanto mais poroso for o concreto, mais rapidamente esses agentes prejudicam a integridade da peça. Este ensaio avalia a porosidade do concreto em corpos-de-prova extraídos de estruturas ou moldados para o ensaio. (ABNT NBR 9778: 2009). Manual de Ensaios de agregados, concreto fresco e concreto endurecido MT 6” da Associação Brasileira de Cimento Portland. ABCP.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE ESTUDO

O presente trabalho pode ser classificado como qualitativo e quantitativo, uma vez que as avaliações foram feitas através de análises dos resultados de ensaios realizados em laboratório.

Como base para o estudo, o método de dosagem de concreto convencional foi definido nos parâmetros do método do ACI 211.1-91.

Para atingir os objetivos propostos, a metodologia empregada no presente trabalho foi desenvolvida de acordo com as etapas a seguir.

3.2 LOCAL DE PESQUISA

Todos os ensaios necessários para realização dessa pesquisa foram feitos no laboratório do Departamento acadêmico de Engenharia Civil e de Engenharia de Minas do CEULP/ULBRA.

3.3 OBJETO DE ESTUDO

O presente trabalho tem como objeto de estudo a avaliação das propriedades do concreto com a substituição parcial da areia natural pela areia artificial (areia de resíduo cerâmico) nas proporções de 10, 20 e 30% para a produção de concreto. Os resultados obtidos nesta pesquisa foram comparados com o traço referência (sem a substituição da areia natural). A substituição aconteceu de forma direta em relação a massa do agregado miúdo.

3.4 MATERIAIS

3.4.1 Cimento Portland

O cimento que foi empregado para a produção dos concretos com a substituição parcial da areia natural e para o traço referência foi o cimento CII F-40 da marca CIMENTOS GOIÁS. A justificativa da escolha desse material é dada pelo mesmo não conter adição mineral, como pozolana ou escória de alto forno.

3.4.2 Agregado miúdo

Os agregados miúdos empregados nessa pesquisa foram: a areia natural média, proveniente da empresa MMC Ferramentas.

3.4.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo que foi usado na pesquisa é a brita 1 no qual foi obtida no comércio local.

3.4.4 Resíduo da cerâmica vermelha

Toda a cerâmica vermelha utilizada nesta pesquisa foi obtida dos resíduos da indústria Cerâmica Paraíso que fica nas dependências do município de Paraíso – Tocantins.

3.4.5 Água

Para preparação do concreto foi utilizada água do laboratório de materiais do CEULP/ULBRA, proveniente da rede de abastecimento da cidade.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.5.1 Agregados

3.5.1.1 Determinação da composição granulométrica

A NBR NM 248 (2003) instruiu como foi feito o ensaio de composição granulométrica dos agregados desde o peneiramento do mesmo, sendo possível determinar o módulo de finura e o diâmetro máximo dos agregados como mostrado abaixo.

Para realização do ensaio foram separadas duas amostras de 500g do agregado miúdo e 5kg do agregado graúdo que foram colocados na estufa por 24 horas para que houvesse a secagem do mesmo. Após tal processo montou-se a sequência de peneiras (figura 6) (tanto para o agregado miúdo quanto para o graúdo) estabelecidas pela norma. Para o agregado miúdo foi depositado a amostra de 500g de areia na parte superior da série de peneiras, para o agregado graúdo foi depositado a amostra de 5kg e iniciou-se o processo de agitação com o auxílio do agitador de peneiras.

Após finalizado os processos de peneiramento, o material retido em cada peneira foi pesado separadamente.

Figura 6 - Série de peneiras apoiadas sobre o agitador utilizado para o ensaio de granulometria do agregado miúdo



Fonte: Próprio Autor (2019)

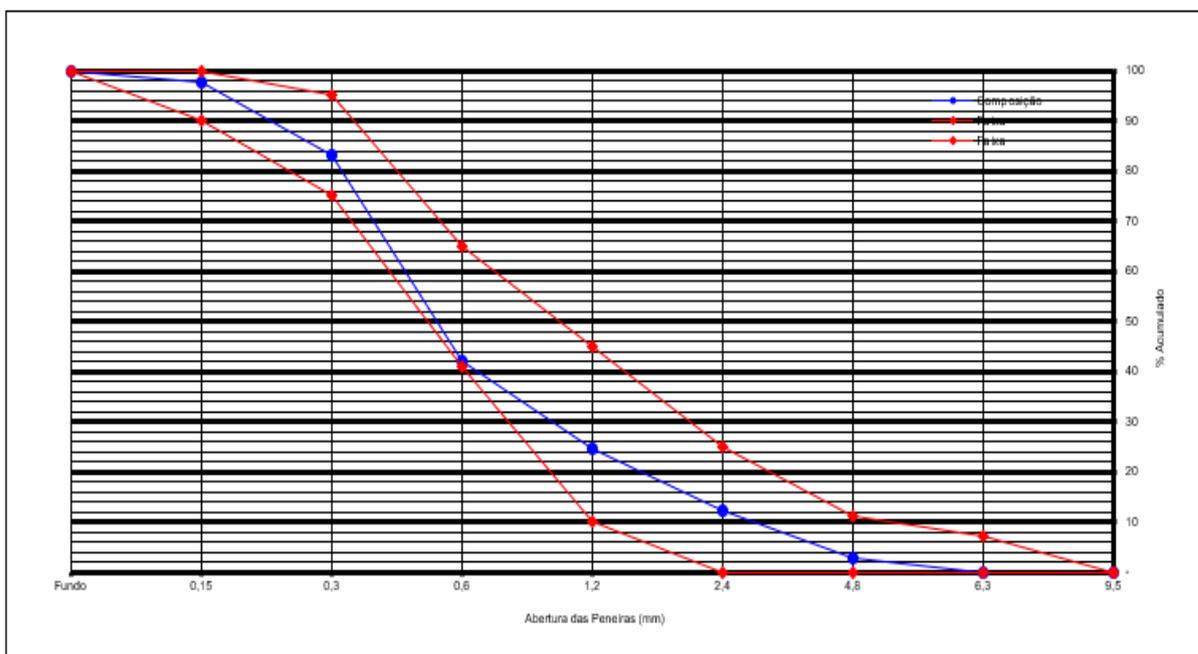
Após o ensaio do agregado miúdo obteve-se os valores do módulo de finura e o diâmetro máximo característico da areia natural, sendo o módulo de finura de 2,63 e o diâmetro máximo característico de 4,8, o que classifica a areia como uma areia média. A tabela 1 e o gráfico 1 apresentam valores referentes ao ensaio de granulometria do agregado graúdo.

Tabela 1 - Propriedades obtidas para o agregado miúdo natural.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		Faixas GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO			
		MASSA		% RETIDA	MASSA		% RETIDA	Simples	Acumul.	ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
Por / Nº	(mm)	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.			MUITO FINA FINA MÉDIA GROSSA			
3/8	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
1/4	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4	4,8	14,00	2,80	2,80	15,50	3,10	3,10	2,95	2,95	0 - 5	0 - 10	0 - 11	0 - 12
8	2,4	53,30	10,66	13,46	40,00	8,00	11,10	9,33	12,28	0 - 5	0 - 15	0 - 25	5 - 40
16	1,2	66,20	13,24	26,70	57,00	11,40	22,50	12,32	24,60	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70
30	0,6	88,60	17,72	44,42	84,80	16,96	39,46	17,34	41,94	0 - 20	21 - 40	41 - 65	66 - 85
50	0,3	204,30	40,86	85,28	207,40	41,48	80,94	41,17	83,11	50 - 85	60 - 88	70 - 92	80 - 95
100	0,15	64,60	12,92	98,20	81,00	16,20	97,14	14,56	97,67	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
FUNDO		9,00	1,80	100,00	14,30	2,86	100,00	2,33	100,00	100	100	100	100
TOTAL		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		DETERMINE A ZONA:			
DF. DA AMOSTRA		-	-		-	-		-		3			
MÓDULO DE FINURA		2,71			2,54			2,63		MÉDIA			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		4,8			-								

Fonte: O autor.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia



Fonte: O autor (2019)

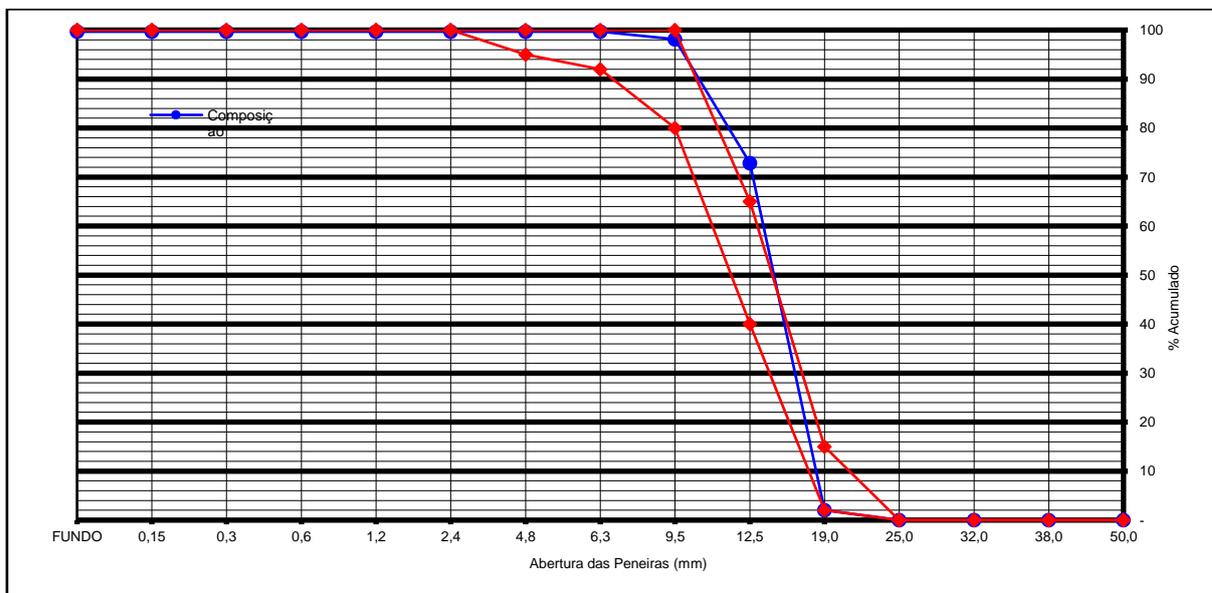
O mesmo processo foi feito para o agregado graúdo e os resultados e a curva granulométrica se encontram na tabela 2 e no gráfico 2

Tabela 2 - Composição granulométrica do agregado graúdo

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 ÁGR P/CONCRETO			
Pol / Nº	(mm)	MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA				GRADUAÇÃO			
		RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	0	1	2	3
2	50,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0 - 5
1 1/2	38,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 0	0 - 0	0 - 0	5 - 30
1 1/4	32,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 0	0 - 0	0 - 5	75 - 100
	25,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 0	0 - 0	5 - 25	87 - 100
	19,00	100,00	2,00	2,00	105,00	2,10	2,10	2,05	2,05	0 - 0	2 - 15	65 - 95	95 - 100
	12,50	3.545,00	70,90	72,90	3.531,67	70,63	72,73	70,77	72,82	0 - 5	40 - 65	32 - 100	100 - 100
	3,50	1.245,00	24,90	97,80	1.283,33	25,67	98,40	25,28	98,10	5 - 15	80 - 100	35 - 100	100 - 100
	6,30	110,00	2,20	100,00	48,00	0,96	99,36	1,58	99,68	40 - 30	32 - 100	100 - 100	100 - 100
	4,80	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	85 - 100	35 - 100	100 - 100	100 - 100
	2,40	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	35 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
	1,20	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
	0,60	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
	0,30	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
	0,15	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
FUNDO		-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
TOTAL		5.000,00	100,00		4.968,00	99,36		99,68		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00		DETERMINE GRADUAÇÃO: 1			
DIF. DA AMOSTRA		-	-		32,00	0,64		0,32		Brita			
MÓDULO DE FINURA				8,73			8,69	8,71					
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		19,0											

Fonte: Autoria própria (2019)

Gráfico 2 - Curva granulométrica da brita



Fonte: Autoria própria (2019)

Após finalizado o ensaio foi possível obter o valor do diâmetro máximo característico de 19 mm.

3.5.1.2 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman

O método do frasco de Chapman foi utilizado para determinação da massa específica do agregado miúdo, método esse regido pela NBR 9776 (1988). Primeiramente foram separadas duas amostras de 500g de areia natural, em seguida o frasco foi preenchido com água até a marca de 200 cm³, tal marcação fica localizada entre os dois bulbos do frasco de Chapman, posteriormente foi introduzida a amostra de areia cuidadosamente, então agitou-se o frasco para que fossem retiradas as bolhas de ar e fosse feita uma nova medição.

A norma apresenta a seguinte equação para tal determinação:

$$\gamma = \frac{500}{(L - 200)}$$

onde:

γ = Massa específica do agregado miúdo, em (g/cm³)

L = Leitura do volume ocupado no frasco.

Após feito o ensaio, os valores foram jogados na equação acima onde o resultado encontrado foi de que a massa específica do agregado miúdo foi de 2,60 g/cm³

Para aferição da massa específica do agregado graúdo foi utilizado o método do picnômetro. Para tal ensaio foi-se utilizado um picnômetro de 1000ml e 500g da brita. Primeiramente o picnômetro foi preenchido com água até seu limite máximo, em seguida colocou-se a tampa e foi feita a pesagem e anotada. Posteriormente foi retirado um pouco da água para que fosse introduzida a amostra de agregado graúdo, após a amostra introduzida, o picnômetro foi tampado e pesado e o valor foi anotado. Após tal procedimento os valores foram jogados na seguinte fórmula:

$$\text{Massa específica} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{500}{A + 500 - B}$$

No qual:

A é a massa do Picnômetro somente com água;

B é a massa do Picnômetro com água e a amostra.

Após a realização do ensaio chegamos ao resultado de 2,64 g/cm³ para a massa específica do agregado graúdo.

3.5.1.3 Determinação da massa unitária – NBR NM 45 (2006)

A massa unitária dos agregados foi obtida através das instruções da NBR NM 45 (2006), cujo especifica como obter a massa unitária de agregados graúdos e miúdos compactos ou em estado solto. Tal característica foi alcançada com a aplicação da seguinte fórmula:

$$Pa\rho = \frac{Mar - Mr}{V}$$

Onde:

Pap = massa unitária do agregado, em (Kg/m³);

Mar = massa do recipiente mais o agregado, em (Kg);

Mr = massa do recipiente vazio, em (Kg);

V = volume do recipiente, em (m³);

Para a realização do ensaio da massa unitária foi-se utilizado uma padiola metálica com um volume de 15 dm³. O primeiro passo foi tarar a padiola na balança de precisão, em seguida o foi depositado o material (tanto o agregado graúdo quanto miúdo) na padiola, utilizando uma concha e despejando o material de uma altura de 5 cm acima da borda do recipiente, até que atingisse sua capacidade máxima. Após atingido a capacidade máxima do recipiente o material foi nivelado rente a borda do mesmo, utilizando uma haste metálica para executar tal ação, e por fim pesou-se novamente o recipiente. O presente procedimento foi repetido três vezes para cada um dos agregados.

Após a realização do ensaio foi possível concluir que a massa unitária do agregado miúdo foi de 1470 kg/m³ e a massa unitária encontrada para o agregado graúdo foi de 1340 kg/m³.

3.5.1.4 Material fino passante pela peneira 75 µm (°200)

O ensaio de material fino passante na peneira 75 µm é regido pela NBR NM 46 (2003), que indica padrões a serem adotados para a determinação por lavagem, de agregados miúdos e graúdos.

A lavagem com água é a primeira etapa para realização do ensaio, posteriormente o material é passado pela estufa para que houvesse a secagem do material, após a secagem o material é resfriado a temperatura ambiente. Após tal processo o material foi pesado e colocado em um Becker, posteriormente o Becker foi preenchido com água. Posteriormente a amostra foi agitada até que o material pulverulento ficasse em suspensão. Esse processo foi repetido até que a água ficasse límpida. Para finalizar, o material que ficou retido na peneira foi colocado novamente no Becker e depois voltou a estufa. Em seguida o material seco foi pesado.

A funcionalidade parte do princípio que materiais como argilas e outros materiais se dispersam com a lavagem, assim como materiais não solúveis em água foram removidos durante o ensaio. Para o cálculo da quantidade do material passante pela peneira de nº 200 por lavagem de acordo com a expressão:

$$m = \frac{m_i \times m_f}{m_i} \times 100$$

Onde:

M = Material mais fino que a peneira de 75 µm por lavagem, em (%)

Mi = Massa original da amostra seca, em (g)

Mf = Massa da amostra seca após a lavagem, em (g)

Ao final do ensaio pode-se aferir que a areia obteve 0,9% de material fino passante pela peneira 75 µm.

3.5.1.5 Impurezas orgânicas

A NBR NM 49 (2001) rege os parâmetros para utilizados para a determinação colorimétrica de impurezas orgânicas presentes em agregados miúdos destinados ao preparo de concretos.

Para a execução do ensaio foi utilizado 200g do agregado miúdo. Posteriormente a amostra foi inserida no frasco Erlenmeyer que contém 100 cm³ de uma solução de hidróxido de sódio, tal mistura foi agitada e colocada em repouso em um ambiente com pouca luminosidade pelo período de 24 horas. Após esse período de repouso, a solução que estava em contato com o agregado foi filtrada e colocada em um recipiente, posteriormente a solução foi comparada com outra solução que continha 97 cm³ de hidróxido de sódio e 3 cm³ de ácido tânico a 2%.

Após a realização do ensaio concluiu-se que o material analisado obteve <300 (ppm) de impurezas.

3.5.2 ETAPAS PARA O BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS CERÂMICOS

O resíduo cerâmico utilizado nessa pesquisa foi coletado em uma indústria ceramista, localizada na cidade de Paraíso – TO. O resíduo foi coletado no pátio da empresa, em um local destinado ao depósito de rejeitos de blocos e telhas cerâmicas, constituído apenas de rejeitos de tijolos e telhas cerâmicas quebrados como apresentado na figura 7.

Figura 7 - Resíduo de bloco cerâmico coletado na indústria.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para utilizar o resíduo cerâmico, primeiramente foi feita a secagem do material na estufa pelo período de 24 horas com finalidade de diminuir a umidade presente no mesmo, após as 24 horas foi esperado que o resíduo alcançasse a temperatura ambiente para dar continuidade ao processo de beneficiamento do mesmo. Com finalidade de utilizar o resíduo como agregado miúdo no concreto foi necessário utilizar o Britador de mandíbulas localizado no laboratório de Engenharia de Minas do CEULP/ULBRA como mostra a figura 8, com a finalidade de diminuir a granulometria do material. É importante salientar que foi necessário passar o material duas vezes pelo britador para que o mesmo se aproximasse da granulometria da areia natural.

Figura 8 - Resíduo de bloco cerâmico após o processo de britagem.



Fonte: Autoria própria (2019).

Após a britagem, o material foi passado na série de peneiras para que atendesse a NBR 7211 que classifica como agregado miúdo os grãos passantes pela

peneira com abertura de malha de 4,75 mm e os retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm.

Dos 45 quilos de resíduos obtidos no pátio da empresa, foram conseguidos 15 quilos de areia artificial feita com o material cerâmico. Após a obtenção desse material foram feitos os ensaios de granulometria, massa específica e unitária. Os ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária para a areia artificial feita de resíduo cerâmico foram executados da mesma forma que o da areia natural, como citado acima. A tabela 3 apresenta os valores pesados referente ao agregado miúdo artificial.

Tabela 3 – Dados da granulometria do agregado miúdo artificial.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO			
Pol / Nº	(mm)	RETIDA (g)	% RETIDA		RETIDA (g)	% RETIDA		Simple	Acumul.	ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
			Simple	Acumul.		Simple	Acumul.			MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA
3/8	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
1/4	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4	4,8	25,00	5,00	5,00	24,10	4,82	4,82	4,91	4,91	0 - 5	0 - 10	0 - 11	0 - 12
8	2,4	42,40	8,48	13,48	46,80	9,36	14,18	8,92	13,83	0 - 5	0 - 15	0 - 25	5 - 40
16	1,2	65,40	13,08	26,56	73,65	14,73	28,91	13,91	27,74	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70
30	0,6	92,70	18,54	45,10	83,75	16,75	45,66	17,65	45,38	0 - 20	21 - 40	41 - 65	66 - 85
50	0,3	200,30	40,06	85,16	185,60	37,12	82,78	38,59	83,97	50 - 85	60 - 88	70 - 92	80 - 95
100	0,15	65,00	13,00	98,16	73,00	14,60	97,38	13,80	97,77	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
FUNDO		9,20	1,84	100,00	13,10	2,62	100,00	2,23	100,00	100	100	100	100
TOTAL		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		DETERMINE A ZONA:			
DIF. DA AMOSTRA		-	-		-	-		-		3			
MÓDULO DE FINURA		2,73			2,74			2,74		MÉDIA			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		4,8			-								

Fonte: Autoria própria (2019).

3.6 DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem de um traço referência foi-se necessária para que houvesse a comparação de suas características com os traços com a substituição parcial da areia pelo resíduo cerâmico nos teores de 10, 20 e 30%, possibilitando a análise da influência de tal substituição no concreto. Como método de dosagem para o traço referência foi-se usado o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) no qual se utilizou os dados retirados dos ensaios dos agregados citados anteriormente. O traço foi calculado para que na idade de 28 dias atingisse

características esperadas, como f_{ck} 25 Mpa, desvio padrão de (S_d) de 4,0 Mpa, f_{cj} de 31,6 Mpa e o abatimento de 100 ± 20 mm.

Para a elaboração do traço referência foram utilizados como materiais: O cimento CP II F – 40, areia média, brita 1 e água. Após o cálculo obtivemos os seguintes traços, como mostrado na tabela 4:

Tabela 4 - Traços utilizados nesta pesquisa

Traços	Cimento	Areia natural	Areia residual	Brita	Água
TR	1	1,98	0	2,36	0,52
T10	1	1,78	0,20	2,36	0,52
T20	1	1,58	0,40	2,36	0,52
T30	1	1,39	0,59	2,36	0,52

Fonte: Autoria própria (2019)

Onde:

- Tr = Traço Referência
- T10 = Traço com 10% de substituição de areia natural por areia de resíduo cerâmico.
- T20 = Traço com 20% de substituição de areia natural por areia de resíduo cerâmico.
- T30 = Traço com 30% de substituição de areia natural por areia de resíduo cerâmico.

Após a obtenção desses dados foi possível fazer o cálculo do consumo desses materiais por metro cúbico de concreto, mantendo assim, as respectivas quantidades e o fator água/cimento. A tabela 5 mostra o consumo por metro cúbico de cada material para os quatro traços.

Tabela 5 - Consumo dos insumos por metro cúbico de concreto

Concreto	Cimento (kg/m ³)	Areia natural (kg/m ³)	Areia residual (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Água (L/m ³)	Fator água/cimento
Concreto Referência	395	781,00	0	929	205	0,52
Concreto c/ 10% de Substituição	395	702,90	78,10	929	205	0,52
Concreto c/ 20% de Substituição	395	624,80	156,20	929	205	0,52
Concreto c/ 30% de Substituição	395	546,70	234,30	929	205	0,52

Fonte: Aatoria própria (2019)

Após término do cálculo dos traços para os concretos todos os insumos foram devidamente pesados, conforme os valores encontrados e levados a betoneiras como rege a NBR 12655 (2015). É importante salientar que, nos concretos que houve a substituição direta pela massa de areia natural por areia de resíduo cerâmico, esses materiais foram misturados antes de serem introduzidos na betoneira.

Após esses procedimentos os insumos foram introduzidos pouco a pouco na betoneira e misturados por um tempo procurando garantir a homogeneidade do concreto.

3.7 ENSAIOS DO CONCRETO

3.7.1 Estado Plástico

3.7.1.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

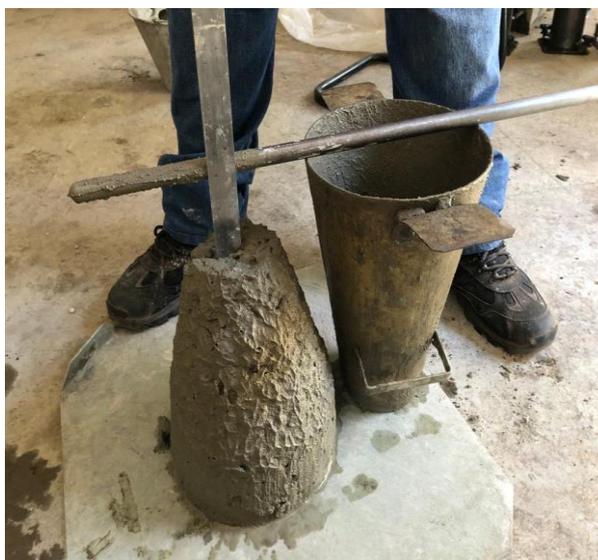
A NBR NM 67 (1998) instruiu o método utilizado para apontar a consistência do concreto feito através da média de seu assentamento. Tendo como objetivo a avaliação do concreto em seu estado plástico, foi realizado o ensaio de consistência

pelo abatimento do tronco de cone, ensaio esse que pode ser aplicável a concretos plásticos e coesivos.

Como materiais necessários para execução desse ensaio foi usado o tronco de cone metálico, uma base quadrada metálica que garantisse o apoio do tronco em toda sua superfície e uma haste metálica. O primeiro passo para execução do ensaio foi umedecer todos os materiais citados acima, para que os mesmos não absorvessem água do concreto, podendo assim, modificar os resultados do ensaio. Após o umedecimento dos instrumentos o concreto foi lançado em 3 camadas no cone metálico, cada camada preencheu 1/3 da altura total do cone. Após o lançamento de cada camada é necessário fazer a uniformização das camadas utilizando a haste metálica, para uniformização de cada camada foi necessário que se golpeasse a camada com 25 golpes distribuídos na superfície da camada. Após a última camada ter sido uniformizada foi-se retirado o excesso de material na superfície superior do cone utilizando uma colher de pedreiro. Após esse processo o cone é retirado do chão de forma lenta e no sentido vertical sem que haja torções ou movimentos bruscos que comprometam o ensaio.

Posteriormente a retirada do cone, foi medido o abatimento do concreto, a medição vai altura do eixo do corpo de prova ao topo do cone de abatimento como apresentado na figura 9.

Figura 9 – Abatimento do concreto de 20% de substituição



3.7.2 Estado endurecido

Para obtenção dos resultados deste trabalho, foi feito a rodagem de 4 traços de concreto, sendo um traço referência (sem a substituição da areia natural pelo resíduo), e 3 com substituições de 10, 20 e 30% da areia natural por resíduos cerâmicos. A tabela 6 mostra a quantidade de corpos de prova por ensaio.

As formas para moldar os corpos de prova que foram utilizadas são pertencentes ao Laboratório de Materiais do CEULP/ULBRA. As formas têm dimensões cilíndricas (100 mm x 200 mm) e excepcionalmente para os ensaios a tração foram usados os moldes cilíndricos com as dimensões maiores (150 mm x 300 mm).

Tabela 6 - Corpos de prova para os ensaios

Ensaio	Substituição do agregado miúdo por resíduos (%)	Tração	Compressão				Absorção de água e índice de vazios	Corpos de prova por traço
		Idades	Idades			Idades		
		28 dias	3 dias	7 dias	28 dias	30 dias		
TR	0	3	3	3	3	3	15	
T10	10	3	3	3	3	3	15	
T20	20	3	3	3	3	3	15	
T30	30	3	3	3	3	3	15	
Total de Cp's							60	

Fonte: Autoria própria (2019)

Após o concreto ter sido produzido e passado pela verificação do abatimento com o ensaio de consistência pelo tronco de cone, o concreto foi lançado nos moldes em duas camadas, sendo a primeira camada preenchida até a metade do molde, após o preenchimento parcial foi-se necessário fazer o adensamento do concreto utilizando a haste metálica golpeando por 12 vezes com distribuição uniforme indo até o limite máximo da camada, posteriormente foi preenchido o restante do molde e foi-se necessário novamente fazer o processo de adensamento com mais 12 golpes com a haste metálica, mas nessa fase (segunda camada) a haste penetrou

aproximadamente 20 mm da camada anterior, em seguida foi feito a regularização da superfície rente a borda superior do molde com o auxílio de uma colher de pedreiro.

Após o término da moldagem dos corpos de prova foi necessário o período de 24 horas, no mesmo local onde eles foram produzidos, para que houvesse a cura inicial e então eles fossem desmoldados sem que houvesse danos. Posteriormente a desmoldagem dos mesmos eles foram marcados de acordo com seus teores de substituição e foram alocados no tanque com água para o processo de cura úmida Como mostra a figura 10.

Figura 10 - Corpos de prova no tanque destinado a cura úmida



Fonte: Autoria própria

3.7.2.1 Resistência a compressão

Para realização do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos foi utilizado a prensa localizado no laboratório de materiais do CEULP/ULBRA. A NBR 5739 (2018) rege os parâmetros para realização dos ensaios que determina a resistência a compressão das CPs cilíndricos moldados.

Como foi mostrado anteriormente na tabela 6 foram moldados 3 corpos de provas por idade e por traço resultando no total de 36 corpos de prova que foram ensaiados nas idades de 3, 7 e 28 dias.

Nas idades de rompimento dos corpos de prova, os mesmos foram retirados do tanque de cura para que houvesse a secagem a temperatura ambiente,

posteriormente os CPs foram colocados na prensa hidráulica para a execução do ensaio, como é mostrado na figura 11 e na figura 12 é possível ver os corpos de prova após o rompimento.

Figura 11 - Corpo de prova durante o ensaio de compressão



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 12 - Corpos de prova após o rompimento, em sequência: traço referência, 10, 20 e 30% de substituição



Fonte: Autoria própria (2019)

3.7.2.2 Resistência a tração

O ensaio de resistência a tração por compressão diametral é instruído pela NBR 7222 (2011). Esse ensaio foi realizado no laboratório de materiais do CEULP/ULBRA, também com a utilização da prensa hidráulica.

Como foi mostrado anteriormente na tabela 6 foram moldados 3 corpos de prova por traço para serem ensaiados na idade de 28 dias, totalizando 12 corpos de prova de dimensão maior (150 mm x 300 mm).

É importante salientar que após a retirada dos CPs do tanque de cura úmida, os mesmos foram secados em temperatura ambiente, posteriormente foram levados para a prensa hidráulica para que fosse feito o ensaio.

A imagem 13 apresenta o exato momento do ensaio a tração:

Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autoria própria (2019)

3.7.2.3 Absorção de água e índice de vazios no concreto endurecido

A NBR 9778 (2009) instruiu sobre o ensaio de absorção de água e índices de vazios de concreto endurecido. Para esse ensaio foi utilizado 3 corpos de prova por traço, que deverão ser ensaiados na idade de 30 dias, totalizando 12 corpos de prova.

Para a realização do ensaio de absorção de água, os CPs foram pesados em duas etapas, na primeira eles foram pesados logo após a retirada do tanque de cura úmida (Figura 14) com o auxílio da balança de precisão 0,01g e os valores foram anotados, posteriormente a pesagem e a anotação os CPs foram levados para a estufa (Figura 15) para a secagem. Durante o processo de secagem os CPs ficaram na estufa por um período de 72 horas. Posteriormente a secagem, os mesmos foram retirados e pesados novamente para que pudéssemos aferir os dados para o cálculo de absorção de água do corpo de prova. Para obtenção dos resultados utilizamos a seguinte expressão:

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100$$

Onde:

A = absorção, em (%);

msat = massa da amostra saturada em água após imersão;

ms = massa da amostra seca em estufa.

Figura 14 - Corpo de prova ainda úmido passando pela pesagem



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 15 - Estufa onde foram secados os corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2019)

Para a execução do ensaio de índice de vazios foi utilizado a balança hidrostática como mostra a figura 16, o ensaio necessita de 3 dados do mesmo corpo de prova, a massa saturada, a massa seca e a massa imersa do CP. após aferido todos esses dados é possível encontrar o valor do índice de vazios. O primeiro passo para execução do ensaio foi pesar o CP aos 30 dias de cura, e então faz a pesagem do CP imerso em um tanque com água utilizando a balança hidrostática. Após isso o corpo de prova é colocado na estufa a 105°C pelo período de 72 horas, posteriormente a secagem o peso do corpo de prova seco foi aferido, então utilizou-se a seguinte equação para a determinação do índice de vazios.

$$I_v = \frac{msat - ms}{msat - mi} \times 100$$

Onde:

I_v = índice de vazios, em (%);

m_{sat} = massa da amostra saturada em água após imersão;

m_s = massa da amostra seca em estufa;

m_i = massa da amostra saturada imersa em água.

Figura 16 - Balança hidrostática utilizada para o ensaio de índice de vazios



Fonte: Autoria Própria (2019)

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERÍSTICA DOS MATERIAIS

4.1.1 Resíduo de cerâmica vermelha

Para a utilização do resíduo cerâmico, em forma de agregado miúdo, foram feitos alguns ensaios para que fosse possível ser feita a análise de suas propriedades físicas. Os ensaios executados foram a granulometria do material, massa específica e massa unitária.

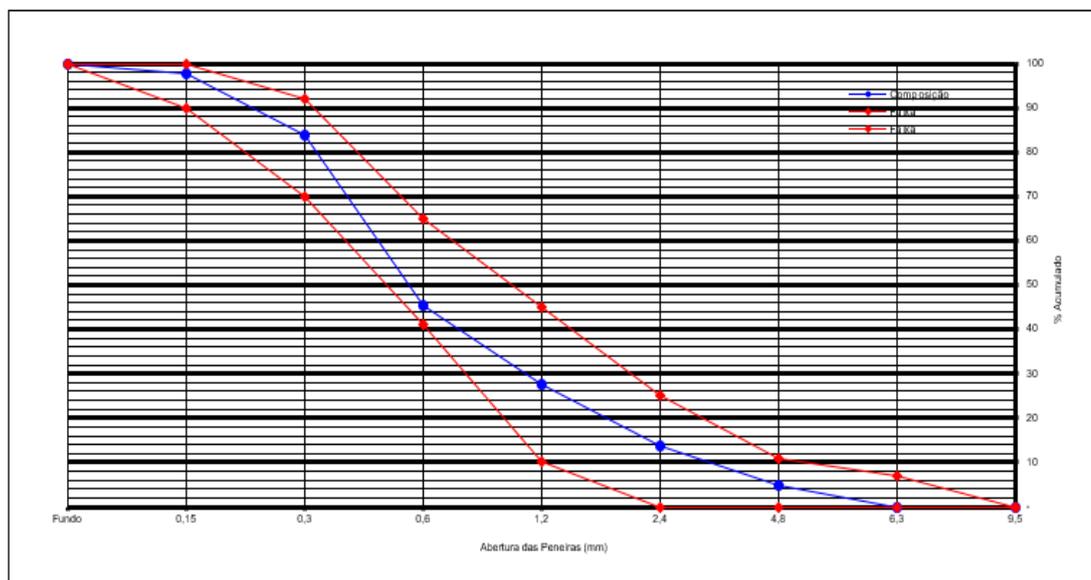
A tabela 7 apresenta os valores dos resultados de tais ensaios.

Tabela 7 - Resultado dos ensaios com o resíduo cerâmico

Resíduo Cerâmico	
Módulo de finura	2,74
Massa específica (g/cm ³)	1,29
Massa unitária (kg/m ³)	917,4

Fonte: Autoria própria (2019)

Após a realização dos ensaios de granulometria do material, foi possível observar que o mesmo está caracterizado como uma areia média, uma vez que a NBR 7211 (2009), que rege os parâmetros de agregados para o concreto, apresenta que a areia média deve estar dentro de um intervalo de módulo de finura 2,40 e 3,35, do qual o valor encontrado é de 2,74. Os valores do módulo de finura do agregado miúdo natural e do agregado miúdo artificial se aproximam muito. A gráfico 3 mostra a faixa granulométrica do ensaio tornando possível observar que o material ficou dentro dos limites superiores e inferiores.

Gráfico 3 - Faixa granulométrica do agregado reciclado

Fonte: Autoria própria (2019)

4.2 CONCRETO

4.2.1 Estado fresco

Com finalidade de estudar a influência da substituição parcial da areia natural pela areia de resíduo cerâmico, foram feitos os ensaios de abatimento do tronco de cone para cada traço e analisar a trabalhabilidade do concreto com substituição. A tabela 9 apresenta os valores aferidos após a realização dos ensaios.

Tabela 8 - Consistência do concreto com e sem substituição do agregado miúdo por resíduo cerâmico

Ensaio	Concreto referência	Concreto c/ 10% de substituição	Concreto c/ 20% de substituição	Concreto c/ 30% de substituição
Slump (mm)	105	85	75	60

Fonte: Autoria própria (2019)

Como pode ser observado com os valores aferidos do o ensaio, a consistência da massa concreto foi diminuindo conforme a quantidade da substituição foi aumentando. Tal efeito pode ser justificado pelo material cerâmico ser um material

poroso, que quando comparado com a areia natural pode-se observar então o mesmo absorveu a água durante a rodagem do concreto e dois concretos não alcançaram o abatimento para os quais foram calculados inicialmente de 100 ± 20 mm.

4.2.2 Estado endurecido

4.2.2.1 Resistência a compressão

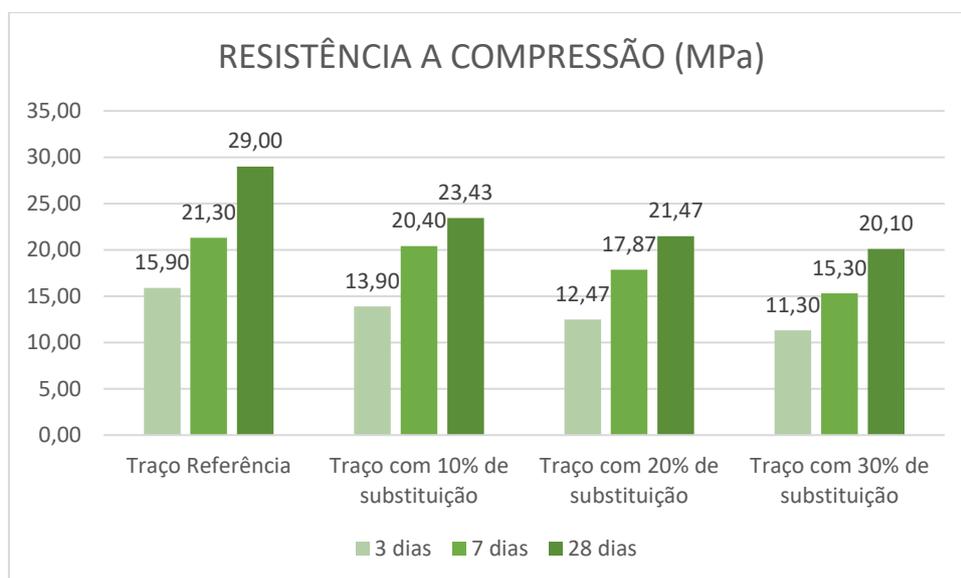
Os resultados de resistência a compressão foram aferidos a partir dos rompimentos dos corpos de prova de concreto com e sem substituição da areia natural pela areia feita com resíduo cerâmicos. Os CP's foram rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias, sendo 3 corpos de prova por idade para cada traço. A tabela 10 apresenta os valores referente as médias dos valores encontrados para cada teor de substituição e para cada idade.

Tabela 9 - Média da resistência a compressão dos corpos de prova nas idades de 3, 7 e 28 dias.

Concreto	Dimensão do CPs (mm)	Resistência média aos 3 dias (Mpa)	Resistência média aos 7 dias (Mpa)	Resistência aos 28 dias (Mpa)
Traço Referência	100 x 200	15,90	21,30	29,00
Traço com 10% de substituição	100 x 200	13,90	20,40	23,43
Traço com 20% de substituição	100 x 200	12,47	17,87	21,47
Traço com 30% de substituição	100 x 200	11,30	15,30	20,10

Fonte: Aatoria própria (2019)

Todos os resultados aferidos nesse ensaio foram comparados com o traço referência que não tem nem um tipo de substituição, tal feito tem o objeto de possibilitar a análise das resistências nas idades de 3, 7 e 28 dias. O gráfico 4 apresenta os valores das médias das resistências.

Gráfico 4 - Resistência a compressão para cada traço e para cada idade

Fonte: Autoria própria (2019)

A valores médios referente a resistência a compressão dos corpos de prova ensaiados nas idades de 3, 7 e 28 dias estão apresentados no gráfico acima.

Para a idade de 3 dias o concreto referência alcançou a resistência de 15,90 MPa, já o concreto com 10, 20 e 30% de substituição do agregado miúdo natural por resíduo alcançaram os valores de 13,90, 12,47 e 11,30 MPa, ou seja, houve uma redução na resistência de 12,58, 21,57 e 28,93% em todos os traços com os teores de substituição do resíduo para essa idade.

Na idade de 7 dias a resistência do concreto referência alcançou 21,30 MPa, mas a média das resistências dos concretos com teores de substituição ainda foram inferiores ao valor da referência. Os concretos com 10, 20, e 30% alcançaram, respectivamente, 20,40, 17,87 e 15,30 MPa, havendo assim uma redução na resistência de 4,23, 16,10 e 28,17%.

Aos 28 dias de idade o concreto de referência alcançou 29,00 MPa de resistência. Já os concretos com os teores de substituição de 10, 20 e 30% do agregado miúdo natural por resíduo de cerâmica vermelha ainda continuaram a baixo da resistência do concreto referência, alcançando os valores respectivos de 23,43, 21,47 e 20,10 MPa, tendo assim, uma redução de 19,21, 25,97 e 30,69% da média das resistências quando comparados com o concreto referência.

É importante salientar que apenas o concreto referência alcançou os 25 MPa aos 28 dias, nenhum dos concretos com substituição alcançou essa resistência, tal fenômeno pode ter acontecido provavelmente em consequência do aumento da porosidade da mistura e também pela dificuldade do adensamento no estado fresco, uma vez que 2 dos concretos com adição não alcançaram o abatimento necessário. O material cerâmico é um material de alta absorção por ser um material poroso, pode ter sido o responsável por absorver a água durante o amassamento do concreto, interferindo diretamente na hidratação do concreto, fazendo com que a resistência mecânica tenha sido diminuída.

4.2.2.2 Resistência a tração

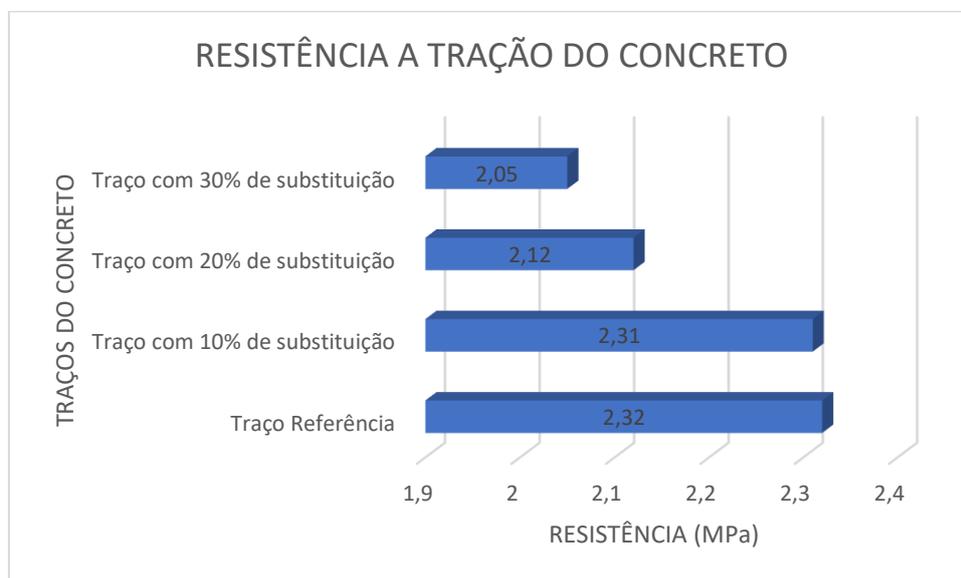
Para o ensaio de resistência a tração os valores foram obtidos através do rompimento dos corpos de prova dos concretos com e sem a substituição do agregado miúdo natural pela areia de resíduos. Para tal ensaio os corpos de prova foram rompidos na idade de 28 dias de cura. A média dos valores referente a cada traço é apresentado pela tabela 11.

Tabela 10 - Valores médios do rompimento de tração dos corpos de prova com e sem substituição do agregado miúdo por areia de resíduo cerâmico

Concreto	Dimensão do CP (mm)	Resistência média aos 28 dias (MPa)
TR	150 x 300	2,32
T10	150 x 300	2,26
T20	150 x 300	2,12
T30	150 x 300	2,05

Fonte: Autoria própria (2019)

Após o aferimento dos resultados dos rompimentos os corpos de provas foram comparados com o concreto referência (TR), com a finalidade de fazer a verificação de resistência a tração aos 28 dias de cura, como mostra o gráfico 5.

Gráfico 5 - resistência a tração aos 28 dias para cada traço

Fonte: Autoria própria (2019)

A partir da análise do gráfico 5 é perceptível que os valores médios da resistência a tração do concreto vão diminuindo conforme são aumentados os teores de substituições. O traço contendo 10% de substituição do concreto teve uma perda de resistência equivalente a 4,74% quando comparado com o traço referência. Já os traços com 20 e 30% de substituição, obtiveram uma maior perda quando comparados com o traço referência, alcançando 8,62 e 11,64% de perda de resistência.

A possível justificativa para essa perda de resistência ainda está ligada com a absorção de água do agregado artificial, uma vez que o mesmo é um material poroso e pode ter absorvido a água necessária para o amassamento e para a hidratação do concreto, diminuindo a resistência do concreto.

4.2.2.4 Absorção de água por imersão

Para a determinação da absorção de água por imersão dos concretos com e sem a substituição do agregado miúdo por resíduo cerâmico foram ensaiados 3 corpos de provas por traço de concreto, sendo executado com a idade de 30 dias.

A tabela 12 apresenta os valores obtidos referentes a massa seca, massa saturada e o teor de absorção de água em porcentagem. Todos os valores serão comparados com o traço que não contém a substituição do agregado graúdo.

Tabela 11 - Média dos valores de massa seca, massa saturada e a porcentagem da absorção de água

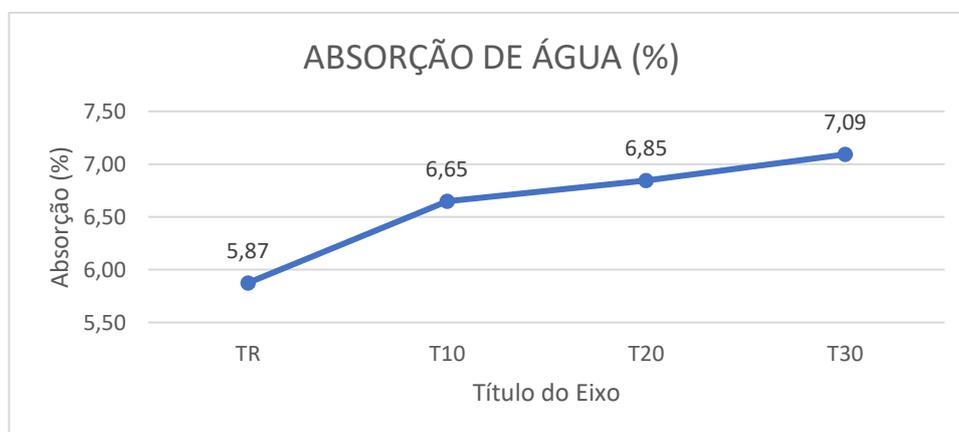
Traço	Massa Seca	Massa Saturada	Teor de absorção de água (%)
Tr	3,47	3,67	5,87
T10	3,45	3,68	6,65
T20	3,36	3,59	6,85
T30	3,34	3,58	7,09

Fonte: Autoria própria (2019)

A partir da leitura do gráfico 6 é possível observar que conforme houve o aumento no teor de substituição do agregado miúdo, maior é a absorção de água pelo concreto. Para os concretos com 10, 20 e 30% de substituição, os valores de absorção foram respectivamente 13,15%, 16,61% e 20,69% maiores que o concreto referência.

Esse efeito pode ser justificado ainda através da porosidade do material cerâmico, que por sua vez pode ter absorvido água durante o amassamento da massa de concreto e durante o processo de cura úmida, após a secagem do material na estufa essa água foi evaporada deixando os vazios e tornando o concreto mais leve.

Gráfico 6 - Média dos valores referentes a absorção de água (%)



Fonte: Autoria própria (2019)

4.2.2.5 Índice de Vazios

Para a obtenção dos resultados foram ensaiados 3 corpos de prova por traço na idade de 30 dias. A tabela 13 apresenta os valores médios encontrados da massa saturada, massa seca, massa imersa e o índice de vazios do concreto no estado endurecido.

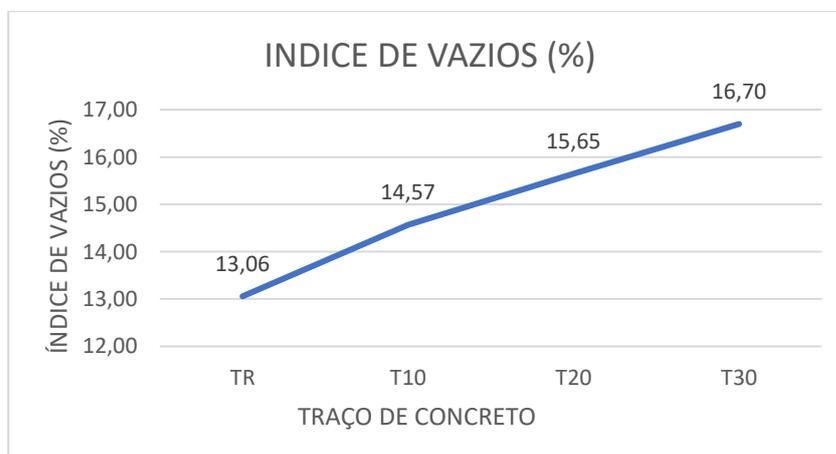
Tabela 12 - Índice de vazios do concreto no estado endurecido

ÍNDICE DE VAZIOS	
CONCRETO	INDICE DE VAZIOS (%)
TR	13,06
T10	14,57
T20	15,65
T30	16,70

Fonte: Autoria própria (2019)

Após a obtenção dos dados, notou-se que conforme o agregado miúdo natural foi substituído pelo resíduo cerâmico o índice de vazios aumentou no concreto, possivelmente pela porosidade do agregado reciclado. O valor do índice de vazios aumentou de 13,06 a 16,70% quando comparamos o traço com 30% de substituição com o traço referência. O gráfico 7 mostra o aumento do índice de vazios conforme o teor de substituição.

Gráfico 7 - Valores médio dos índices de vazios para cada teor de substituição.



Fonte: Autoria própria (2019)

5.0 CONCLUSÕES

No presente trabalho, foi-se estudado a influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha como substituição do agregado miúdo natural nas propriedades do concreto. Portando, pode-se concluir que:

- Foi possível obter um agregado miúdo reciclado com a granulometria próxima ao da areia natural.
- Observou-se que conforme o teor de substituição aumentava a consistência do concreto diminuía, influenciando diretamente a trabalhabilidade do concreto quando comparado com o concreto referência.
- Os resultados dos ensaios mostram que a resistência à compressão do concreto reciclado foi menor que a do concreto convencional em todas as idades por apresentar uma alta absorção de água e índice de vazios, diminuindo assim sua resistência mecânica.
- A absorção por imersão do concreto com substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo cerâmico apresentou um resultado alto quando comparado com o concreto referência, também pode ser justificado pela alta porosidade do concreto.
- Notou-se o aumento significativo no índice de vazios dos concretos com substituição quando comparados com o concreto referência, esse aumento pode ser devido ao material apresentar característica porosa e tal porosidade pode ser responsável pela diminuição da resistência do concreto e comprometimento da durabilidade do mesmo, uma vez que concreto com grandes índices de vazios ficam mais suscetíveis ao ataque de agentes agressivos.

É importante salientar que, em todos os traços, a quantidade de água adicionada para a fabricação do concreto se manteve constante, isso pode ter ocasionado uma deficiência de água para o processo de hidratação, uma vez que o resíduo cerâmico apresentou uma maior absorção que a areia natural.

Portanto chega-se à conclusão que o concreto com substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo feito de resíduo cerâmico pode ser utilizado na construção civil, lembrando que o mesmo não pode apresentar funções estruturais e deve ser utilizado em locais onde não exijam grandes esforços mecânicos, como, por exemplo, em lastros de concretos magros e em calçadas.

6.0 REFERÊNCIAS

American Concrete Institute –ACI. Guide For structural lightweight aggregate concrete, ACI 213R-03. ACIA Manual of Concrete Practice, 2003.

ANGELIN, A.F. **Concreto leve estrutural -Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267702/1/Angelin_AndressaFernanda_M.pdf. Acesso em: 27 fev. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739 – Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211 – Agregados para concreto: especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7222 – Agregados e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9776 – Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248 – Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45 – Agregados: determinação da massa unitária e volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 46 – Agregados: determinação do material fino que passa através da peneira de 75 µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67 – Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

Borja, E.V. **Efeito da adição da argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves auto adensáveis.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CHEN, S. W.; SCHNEIDER, U. **Microhardness and Mechanical Behavior of the Expanded Shale Concrete.** In: KATZ A et al. (ed.) **The Interfacial Transition Zone in Cementitious Composites.** Londres: E&FN SPON, 1998. p. 243-250.

COBAR, R.L. **CONCRETO LEVE ESTRUTURAL: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida.** 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6892/1/CM_COECI_2016_1_29.pdf. Acesso em: 4 abr. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, D. **Sumário Mineral.** 2012, 2012. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2012>. Acesso em: 10 abr. 2019.

GIROTTI, L. S. **Investigação da retração plástica e da fissuração da argamassa do concreto auto-adensável.** Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011.

Maycá, J.; Recena, F.A.P.; Cremonini, R.A. **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais.** Curso de especialização em construção civil – NORIE/UFRGS, 2008.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, IBRACON, 2008.

Mehta, P.K.; Monteiro, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição, São Paulo, IBRACON, 2008.

NEVES, Idércio França Das. **Materiais de construção: Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, ADAM. **Propriedades do concreto**, II Edição, São Paulo, Pini, 1997

PEDROSO, F. L. **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**, São Paulo, n. 53, p. 14-19, jan.-fev.-mar, 2009.

Rossignolo, J. A.; Agnesini, M.V.C. **Concreto leve estrutural**. In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações, São Paulo, IBRACON, v.2, p. 333-62, 2005.

Rossignolo, J.A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo, PINI, 2009.

SALES, A.T.C; ALFERES FILHO, R.S.A. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. **Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto**, Scielo, 2013.

TANAKA, G.M; PINTO, M.C.C. **Análise da utilização de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) da região metropolitana de Curitiba em argamassa de revestimento e na fabricação de blocos de concreto**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2011. Disponível em: http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/7b/TCC_2011_Maria_e_Graciele.pdf. Acesso em: 1 abr. 2019.

