



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

Salomão Arrais Almeida Júnior

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA.

Palmas – TO

2019

Salomão Arrais Almeida Júnior

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA.

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. M.Sc. Roldão Pimentel de Araújo
Junior

Palmas – TO

2019

Salomão Arrais Almeida Júnior

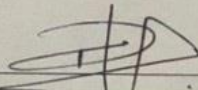
AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA.

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. M.Sc. Roldão Pimentel de
Araújo Júnior.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

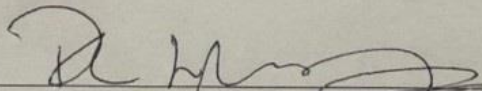
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. Roldão Pimentel de Araújo Júnior

Orientador

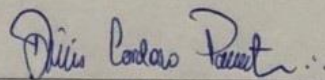
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro.

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Denis Cardoso Parente

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, que me deu saúde e força para concluir esta etapa de minha vida.

Aos meus pais e avó pelo apoio e conselho e como exemplo de determinação e luta e minha irmã que sempre me apoio com tudo que eu precisava durante a minha vida.

Aos meus amigos Diego Araujo, José Luiz e José Manuel que em momentos me ajudaram e apoiaram na execução desta pesquisa e no decorrer da graduação. Também aos técnicos laboratoriais Miler e João que me deram suporte nos ensaios e conhecimento durante esta pesquisa.

Ao meu orientador Dr. Roldão Pimentel, pelo suporte, por sua dedicação e incentivo, e 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

ALMEIDA, Salomão Arrais Júnior. **Avaliação das propriedades do concreto com a substituição parcial do cimento resíduo de cerâmica vermelha.** Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, Palmas, 2019.

Esta pesquisa teve como objetivo averiguar a possibilidade de utilização dos resíduos de cerâmica vermelha em concretos, como substituto parcial do cimento Portland. Para tal, foram feitos ensaios para caracterizar o resíduo cerâmico e de determinação do índice de atividade pozolânica com o cimento, com o propósito de verificar se o mesmo atendia os requisitos estabelecidos pela norma 12653 (2014). Foram fabricados concretos com diferentes teores de substituição de cimento por resíduo cerâmico, os teores foram de 0, 5, 10 e 20%. Os concretos passaram pelos ensaios de teste slump para a análise da consistência no estado fresco, resistência a compressão simples aos 3, 7 e 28 dias de cura, resistência a tração por compressão diametral aos 28 dias de cura, absorção de água por imersão. Os resultados obtidos nos ensaios executados dos concretos com substituição foram comparados com os do concreto de referência, para avaliar a influência da substituição parcial do cimento por resíduo de cerâmica vermelha. O índice de atividade pozolânica do resíduo cerâmico apresentou um valor de 94,79%, ficando 4,79% acima do mínimo prescrito pela norma. A consistência foi diminuindo conforme os teores foram aumentando para uma mesma relação de água/cimento. A resistência a compressão aumentou nos teores de 10 e 20% em todas as idades analisadas, sendo o teor de 10% o melhor pois conseguiu uma resistência alta com uma trabalhabilidade adequada. A absorção de água por imersão foi reduzindo conforme os teores foram aumentando, podendo ser justificado pelo preenchimento dos vazios do concreto pelo material fino. Sendo assim, foi observado que o resíduo cerâmico trouxe benefícios consideráveis ao concreto.

Palavras-chave: Resíduo cerâmico. Pozolanas. Concreto.

ABSTRACT

ALMEIDA, Salomão Arrais Junior. **Evaluation of concrete properties with partial replacement of red ceramic waste cement.** Completion of course work. Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas - CEULP / ULBRA, Palmas, 2019.

The objective of this research was the possibility of using red ceramic residues in concrete as a partial substitute of Portland cement. To this end, tests were performed to characterize the ceramic residue and determine the index of pozzolanic activity with cement, in order to verify if the same requirements apply by the 12653 (2014) standard. Concrete with different levels of substitution of cement by ceramic residue was manufactured, the contents of 0, 5, 10 and 20%. Concrete tested for drop test assays for fresh consistency analysis, simple compressive strength for 3, 7 and 28 days of cure, diametral resistance to 28 days of cure, immersion water absorption. The results obtained in the tests performed with replacement concrete were compared with the reference concrete, to evaluate the influence of partial replacement of cement by red ceramic residue. The pozzolanic activity index of the ceramic residue has a value of 94.79%, remaining 4.79% above the minimum prescribed by the standard. A consistency was decreasing as the contents were subjected to the same water / cement ratio. Compressive strength increased at 10% and 20% at all ages analyzed, with 10% or better as it achieved high strength with adequate workability. The absorption of water by immersion was approved as the contents were subject to change, and may be justified by the filling of voids of concrete by thin material. Thus, it was observed that the ceramic residue brought considerable benefits to the concrete.

Keywords: Ceramic waste. Pozzolans. Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Macroestrutura do concreto.....	18
Figura 2 - Representação esquemática da exsudação no concreto recém lançado.....	20
Figura 3 - Micrografia eletrônica de varredura ilustrando os resultados da mistura de solução de aluminato de cálcio e sulfato de cálcio	21
Figura 4 - Fluxograma da geração e reutilização dos rejeitos no processo de fabricação.....	25
Figura 5 - Resíduo cerâmico fragmentado pronto para ser inserido no moinho de bolas.....	38
Figura 6 - Moinho de bolas utilizado no beneficiamento do material	39
Figura 7 - Resíduo cerâmico passante na peneira 75 µm	39
Figura 8 - Corpo de prova rompido	42
Figura 9 - Abatimento do concreto de 10% de teor de substituição.....	44
Figura 10 - Corpo de prova na prensa hidráulica rompido a compressão simples	46
Figura 11 - Corpo de prova sendo realizado o ensaio a tração por compressão diametral.....	47
Figura 12 - Pesagem do corpo de prova saturado em água.....	48
Figura 13 - Corpo de prova imerso em água após fervura	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados obtidos para o agregado miúdo	34
Tabela 2 - Resultados obtidos para o agregado graúdo	35
Tabela 3 - Quantidade de bolas no moinho de bolas.....	40
Tabela 4 - Consumo de materiais por metro cúbico de concreto.....	43
Tabela 5 - Corpos de prova para os ensaios	45
Tabela 6 - Resultado das análises físicas.....	50
Tabela 7 - Resultados da análise do índice de atividade pozolânico.....	50
Tabela 8 - Consistência dos concretos com e sem substituição de cimento por resíduo cerâmico por meio do slump test.....	51
Tabela 9 - Média da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 3,7 e 28 dias de cura	52
Tabela 10 - Média da resistência a tração dos corpos de prova rompidos aos 28 dias cura.....	54
Tabela 11 - Valores médios da massa seca, massa saturada e absorção de água para os diferentes teores de substituição	56
Tabela 12 - Valores médios da massa seca, massa saturada, massa saturada imersa em água após ebulição dos diferentes teores de substituição	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo	34
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo.....	35
Gráfico 3 - Resistência a compressão simples	53
Gráfico 4 - Resistência à tração por compressão diametral	55
Gráfico 5 - Variação da absorção em relação ao teor de substituição de cimento por resíduo cerâmico.....	56
Gráfico 6 - Variação do índice de vazios em relação ao teor de substituição de cimento por resíduo cerâmico	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Proporção de cada material para a mistura das argamassas.....41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio

Ca – Cálcio

CaO – Óxido de Cálcio

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ – Hidróxido de Cálcio

CO_2 – Gás Carbônico

CP – Corpo de Prova

DMC – Diâmetro Máximo Característico

Fe – Ferro

Fe_2O_3 – Óxido de Ferro

H_2O - Água

MF – Módulo de Finura

Mg – Magnésio

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

RCV – Resíduo de Cerâmica Vermelha

SiO - Silicato

SiO_2 – Óxido de Silício

SO_3 – Óxido Sulfúrico

μm - Micrômetro

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	JUSTIFICATIVA	15
1.3.	OBJETIVOS	16
1.3.1.	Objetivo Geral.....	16
1.3.2.	Objetivos Específicos	16
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1.	CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	17
2.1.1.	Microestrutura.....	18
2.1.2.	Microestrutura da fase agregado.....	19
2.1.3.	Microestrutura da pasta de cimento hidratada	20
2.1.4.	Zona de transição.....	22
2.2.	CIMENTO PORTLAND	22
2.3.	AGREGADOS	23
2.4.	ÁGUA.....	24
2.5.	CERÂMICA	24
2.5.1.	Impacto ambiental	25
2.6.	ADIÇÕES MINERAIS.....	26
2.7.	POZOLANAS	27
2.7.1.	Pozolanas naturais.....	27
2.7.2.	Pozolanas artificiais.....	27
2.7.3.	Interações entre pozolana e o cimento Portland	27
2.7.4.	Efeitos da pozolana nas propriedades do concreto.....	29
2.8.	APLICAÇÕES DE RESÍDUOS CERÂMICOS	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1.	TIPO DE ESTUDO	32

3.2.	LOCAL DE PESQUISA	32
3.3.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	32
3.3.1.	Cimento Portland.....	32
3.3.2.	Agregados.....	33
3.3.3.	Resíduos da cerâmica vermelha	37
3.4.	DOSAGEM DO CONCRETO	42
3.5.	ENSAIOS DO CONCRETO.....	43
3.5.1.	Estado plástico	43
3.5.2.	Estado endurecido.....	45
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1.	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS.....	50
4.1.1.	Resíduo da cerâmica vermelha.....	50
4.2.	CONCRETO.....	51
4.2.1.	Estado fresco	51
4.2.2.	Estado endurecido.....	52
5.	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

Há uma problemática no setor de indústria do cimento que é a busca pela convivência do avanço tecnológico com a preservação do meio ambiente. De acordo com o Carvalho, Mesquita e Melo (2016) o Brasil, em 2012, foi responsável por 29,7% das emissões de CO₂, o qual apresenta um grande impacto na emissão de gases de efeito estufa. Além disso, a produção do cimento é responsável também pelos gases associados à chuva ácida e a poeira, outros poluentes atmosféricos gerados cimento.

Um dos fatores para minimizar o impacto ambiental é a substituição parcial do cimento por meio de materiais de origem natural com fonte renovável, o qual proporciona vantagens tanto para o meio ambiente, quanto melhorias nas propriedades do concreto, e pode possibilitar a redução no seu custo (MOIR (2003) *apud* MENDONÇA, 2018).

Na busca de novas tecnologia, as adições minerais têm um efeito significativo, além de uma redução de custos, provém de uma maior sustentabilidade confecção de concretos e na produção de cimento pois viabilizam o reaproveitamento de resíduos industriais, minimizando os efeitos causados pela emissão de gases prejudiciais a atmosfera durante a sua fabricação, gasto de energia, reduzindo também a utilização de recursos naturais não renováveis (GARCIA, *et al* 2014).

As adições minerais são basicamente elementos silicosos finamente divididos, que ao ser acrescentado ao cimento e ao concreto, interagem quimicamente e fisicamente com os produtos da hidratação do clínquer, alterando a microestrutura do material. O processo químico está relacionado à capacidade da adição mineral de reagir com o hidróxido de cálcio (Ca (OH)₂), concebido no decorrer da hidratação do cimento, formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) adicional. A reação entre a adição mineral e o hidróxido de cálcio é denominado de reação pozolânica (GARCIA, *Et al* 2014).

Segundo Sales e Alfres (2014), o resíduo de cerâmica vermelha é uma combinação constituída por blocos cerâmicos, telhas cerâmicas. A reutilização desse material pode minorar o consumo de recursos naturais e energéticos, que representa também uma redução de gastos.

Há vários estudos acadêmicos, como realizada pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas (2014) sobre a utilização de cacos cerâmicos, foram feitas para observar a reutilização de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica na

confeção de concretos e argamassas, com a finalidade de reduzir o consumo de cimento e dar uma destinação final e nobre para o resíduo (IPT, 2014). Segundo o mesmo, no Brasil produz um total de 130 milhões de toneladas de cerâmica todos os anos, das quais 50 mil toneladas desse montante se tornam resíduos por apresentar algum tipo de defeito, não atendendo os requisitos determinados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

1.1. JUSTIFICATIVA

Devido ao alto consumo dos recursos naturais do meio ambiente nos últimos anos a preocupação com a sustentabilidade vem sendo debatida em todas as áreas da economia, buscando sempre a inovação e produção de novos métodos para minorar os impactos ambientais, possibilitando uma reutilização de materiais e assim assegurando uma maior preservação dos recursos naturais (MENDONÇA, 2018).

A indústria da construção civil é uma ampla consumidora de matérias-primas, sendo as maiorias de recursos naturais de fontes não renováveis, além disso, é uma grande geradora de resíduos, sendo eles descartados de formas inadequadas causando assim uma poluição ambiental (SALES E ALFERES, 2014).

Há vários estudos sobre materiais que podem ser reaproveitados no concreto, alguns deles é o aproveitamento de resíduos que seriam descartados de forma imprópria (SILVA, 2013). A cerâmica vermelha está dentro desses resíduos, a reutilização deles geram um destino sustentável e pode proporcionar um ganho na qualidade do concreto.

Deste modo, essa pesquisa busca avaliar um resíduo cerâmico do estado do Tocantins como matéria-prima para a aquisição de um aditivo mineral pozolânico, no qual a ser utilizado como substituição parcial do cimento na fabricação de concretos convencionais, de modo que as propriedades se revelem melhoradas em razão desta adição. Segundo Vieira (2005), esse reaproveitamento promove um duplo benefício ao meio ambiente: sustar este rejeito industrial, agregando assim seu valor, e reduzir o consumo de cimento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral verificar a viabilidade da utilização de resíduo de cerâmica vermelha como substituição parcial do cimento Portland no concreto. Esse estudo utilizará o resíduo cerâmico como substituição parcial do cimento Portland pelo resíduo em 5, 10 e 20%.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as propriedades (consistência) do concreto obtido com a substituição parcial do cimento pelo resíduo de cerâmica vermelha no estado fresco.
- Avaliar as propriedades (resistência a compressão, resistência a tração e absorção de água) do concreto obtido com a substituição parcial do cimento pelo resíduo de cerâmica vermelha no estado endurecido.
- Obtenção do resíduo cerâmico para utiliza-lo como substituição parcial do cimento

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto de cimento Portland mesmo sendo um material ainda recente na área da construção civil, pode ser apontado como uma invenção de grande importância para a sociedade que busca desenvolvimento e qualidade de vida, sendo um dos materiais estruturais mais relevantes da engenharia civil nos tempos atuais (HELENE E ANDRADE, 2010).

Segundo Carvalho (2008), a descoberta do cimento Portland foi no século XIX, criado pelo Joseph Aspdin, teve um grande sucesso devido a um acidente ocorrido em uma obra importante e complicada, sendo utilizado como substituto do cimento romano para refazer a área danificada. Seu intenso uso no século XX, o concreto de cimento Portland se transformou no material mais consumido pelo homem depois da água, gerando uma inovação no modo de se projetar e construir (HELENE e ANDRADE, 2010).

Há pelo menos três principais razões para o concreto ser amplamente usado como material de engenharia. O primeiro é a sua grande resistência a água, que diferente do aço comum e da madeira, em contato com a água não sofre grave deterioração, sendo excelente material para criação de estruturas para controle, armazenamento e transporte de água. O segundo é pela consistência plástica do concreto em seu estado fresco, que permite ser moldado em diferentes formas e tamanhos. O terceiro é seu custo barato, e sua grande facilidade de encontrar os materiais para sua produção (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

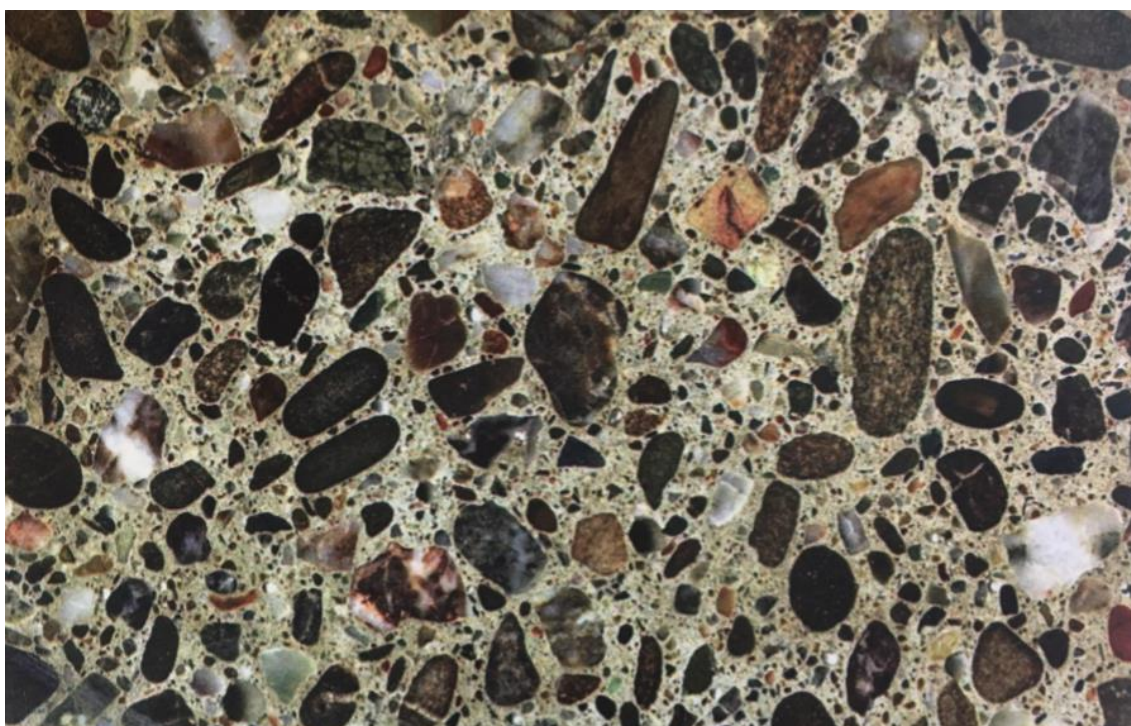
Outros fatores que facilitam na escolha do concreto, em comparação ao aço, como material estrutural, é sua baixa manutenção, grande resistência ao fogo e resistência ao carregamento cíclico. O concreto não corrói, não necessita de um tratamento superficial e a resistência melhora ao passar do tempo (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Mehta e Monterio (2008) define o concreto como um material composto formado por cimento (aglomerante), areia (agregado miúdo), brita (agregado graúdo) e água, podendo ser utilizado também na composição aditivos e adições minerais que modificam as propriedades do concreto de acordo com a necessidade.

2.1.1. Microestrutura

O concreto possui uma microestrutura fortemente complexa e heterogênea, as propriedades podem ser alteradas aplicando certas modificações na microestrutura de um material. A microestrutura do concreto pode ser dividida em três componentes: pasta de cimento hidratada, agregado e zona de transição na interface entre a pasta de cimento e o agregado (MEHTA E MONTEIRO, 2008). A Figura 1 representa a microestrutura do concreto.

Figura 1 - Macroestrutura do concreto.



Fonte: adaptado do Mehta e Monteiro (2014)

A zona de transição é uma pequena região próxima as partículas de agregado graúdo, eventualmente é mais fraca que os outros dois componentes, apesar disso ela possui uma influência maior no comportamento mecânico do concreto apesar de sua dimensão. Cada um dos três componentes tem caráter multifásico, como por exemplo cada partícula de agregado contém vários minerais, microfissuras e vazios. Tanto a pasta de cimento quanto a zona de transição possuem uma distribuição heterogênea de vários tipos e quantidades de fases solidas, poros e microfissuras, como elas podem ser alteradas de acordo com o tempo, umidade e temperatura a

microestrutura do concreto não é uma característica intrínseca do material (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

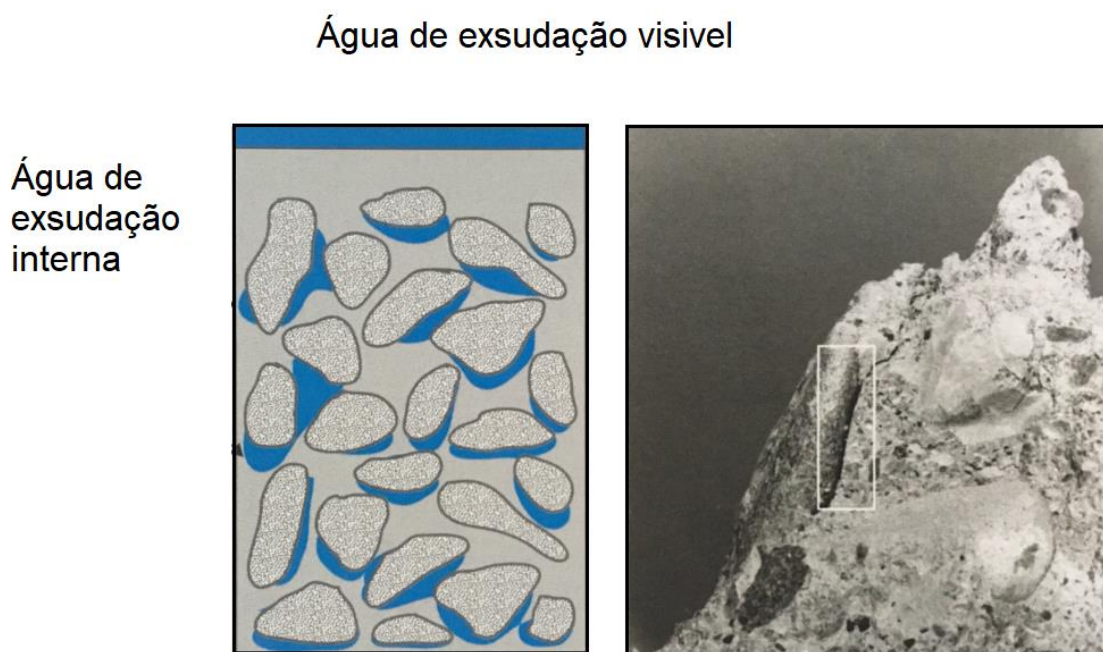
2.1.2. Microestrutura da fase agregado

Esta fase é a principal responsável por importantes propriedades do concreto, como massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Essas propriedades são determinadas mais pela característica física do agregado, como a densidade e a resistência, do que característica química. Ou seja, as características físicas são mais importantes do que a composição química ou mineralógica das fases sólidas dos agregados (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A forma e a textura do agregado grão podem alterar as propriedades do concreto. Por causa do tipo de rocha e do modo em que ela foi britada, o agregado britado pode possuir partículas achatadas ou alongadas que afetam negativamente em muitas das propriedades do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Apesar da fase agregado possuir uma resistência maior que as outras fases do concreto, ela não influencia diretamente na resistência do concreto normal, a não ser no caso de agregados altamente porosos ou quebradiços. O tamanho e a forma do agregado grão podem afetar indiretamente na resistência do concreto, no qual, quanto maior o tamanho e a proporção de partículas alongadas e achatadas maior será a quantidade de água junto a superfície do agregado, tornando assim a zona de transição na interface pasta-agregado fraca, isso pode ser verificado na Figura 2 (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Figura 2 - Representação esquemática da exsudação no concreto recém lançado



Fonte: adaptada Mehta e Monteiro (2014)

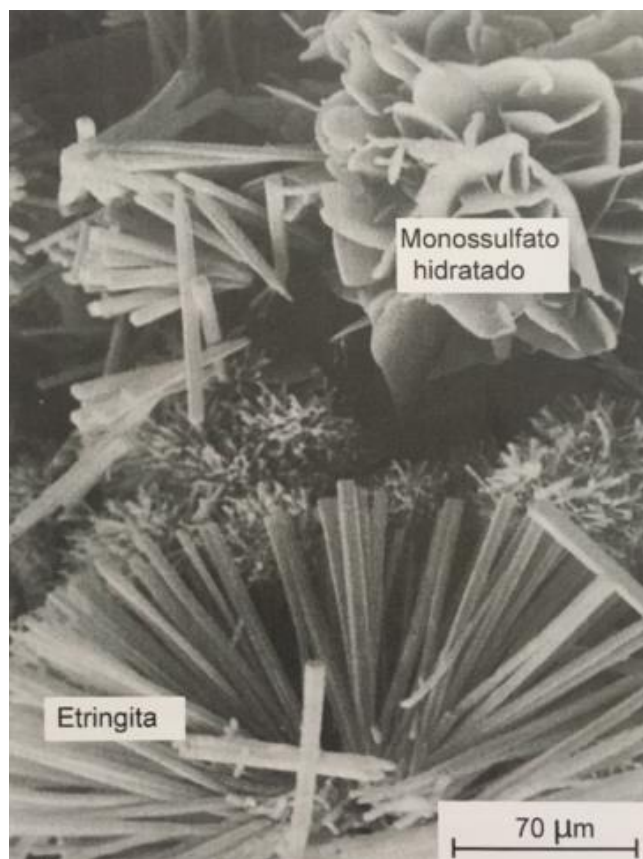
2.1.3. Microestrutura da pasta de cimento hidratada

O cimento anidro é um pó formado de partículas angulares de tamanhos que variam comumente de 1 a 50 μm . É originado a partir da moagem de um clínquer com pouca quantidade de sulfato de cálcio, sendo o clínquer uma combinação heterogênea de vários compostos gerados por reações a alta temperatura, entre óxido de cálcio e sílica, alumina e óxido de ferro. A composição química dos componentes essenciais do clínquer corresponde a C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o cimento quando entra em contato com a água, o sulfato de cálcio e compostos de cálcio entram em solução, na fase líquida se torna carregada com vários tipos de íons. Como resultado da mistura entre cálcio, sulfato, aluminato e íons hidroxilas, na hidratação do cimento começa a aparecer cristais aciculares de trissulfoaluminato de cálcio hidratado, conhecido como etringita. Horas mais tardes, amplos cristais prismáticos de hidróxido de cálcio e pequenos cristais fibrosos de silicato de cálcio hidratado começam a ocupar os vazios antes preenchidos com água. No decorrer dos dias, conforme a relação alumina-sulfato do cimento, a etringita pode se tornar instável e se decompor formando o monossulfoaluminato hidratado, no qual possui forma de placa hexagonal. A morfologia dessa placa é uma característica dos aluminatos de cálcio hidratados que

são gerados em pastas de cimentos contendo baixo teor de sulfato ou alto teor de C_3A . Na (Figura 3) apresenta uma micrografia eletrônica de varredura ilustrando a morfologia de uma mistura de solução de aluminato de cálcio com uma solução de sulfato de cálcio.

Figura 3 - Micrografia eletrônica de varredura ilustrando os resultados da mistura de solução de aluminato de cálcio e sulfato de cálcio



Fonte: adaptada Mehta e Monteiro (2008)

Como mostrado na figura acima, as várias fases não são nem igualmente distribuídas e nem uniformes na dimensão e na morfologia. Nos sólidos, a heterogeneidades microestrutural pode gerar efeitos negativos na resistência e em outras propriedades mecânicas, pois essas propriedades são controladas pela microestrutura que gera o elo mais fraco, e não pela microestrutura média. Contudo, além da evolução da microestrutura deve-se dar importância a algumas propriedades reológicas da pasta de cimento no estado fresco, que pode também influenciar a microestrutura da pasta de cimento endurecida. As variações no fator água/cimento

seriam os fundamentais fatores de evolução da heterogeneidade na microestrutura (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.1.4. Zona de transição

Segundo Mehta e Monteiro (2008), essa fase é o elo mais fraco do concreto, é ela que limita a resistência do concreto. É devida a presença da zona de transição que se dá a ruptura do concreto em nível de tensão menor do que a resistência dos outros componentes. A microestrutura da zona de transição na interface, em especial a quantidade de vazios e microfissuras presentes, que exerce uma grande influência na rigidez ou no módulo de elasticidade do concreto.

A resistência da zona de transição está atrelada a quantidade do volume e tamanho dos vazios que existem nela. Nas idades iniciais, o volume e o tamanho dos vazios da zona de transição aparecem em maior quantidade do que na matriz de argamassa, porém com o acréscimo da idade pode ocorrer que a resistência da zona de transição se torne igual a resistência da matriz de argamassa, isso ocorre como o resultado do preenchimento dos vazios da zona de transição por cristais de novos produtos. Essas interações contribuem para a resistência, porque tende a reduzir a quantidade de hidróxido de cálcio na zona de transição (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a baixa resistência a compressão da zona de transição se dá pelo fator da mesma possuir microfissuras. A frequência de microfissuras depende de vários fatores, incluindo o tamanho do agregado e a sua distribuição granulométrica, consumo de cimento, relação água/cimento, grau de adensamento do concreto no estado fresco, condições de cura, umidade ambiente e histórico térmico do concreto.

2.2. CIMENTO PORTLAND

As matérias primas para a fabricação do cimento Portland são achadas praticamente em todos os países, a sua produção é através da moagem das matérias-primas até atingir um pó muito fino, na mistura em definidas proporções e na queima em um forno em uma temperatura próxima a 1400°C, que forma esferas conhecidas como clínqueres, que depois de resfriadas recebem uma adição de gipsita (sulfato de cálcio) e então é moída até resultar em um pó fino conhecido como cimento Portland (NEVILLE, 2013).

O cimento Portland é composto principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, esses componentes são basicamente combinados em um forno e derivam uma série de produtos mais complexos, que alcançam o equilíbrio químico. Dentre eles pode-se destacar quatro como o principal constituinte do cimento, são eles a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃) e o óxido de ferro (Fe₂O₃). Na tabela a seguir informa os principais compostos do cimento Portland (NEVILLE, 2013).

2.3. AGREGADOS

Os agregados são baratos e possuem uma grande importância para a composição do concreto, não somente apenas como um material de enchimento inerte do concreto, eles possuem características relevantes que incluem: porosidade, composição ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial e resistência à compressão (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Agregados não somente definem a resistência do concreto, como os seus atributos afetam consideravelmente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto. Eles compõem cerca de $\frac{3}{4}$ do volume de concreto, sendo muito benéfico economicamente concretos com maior teor de agregados e menor teor de cimento, mas esses teores devem ser balanceados a fim de alcançar propriedades requeridas do concreto no estado fresco e endurecido (NEVILLE, 2013).

Os agregados podem ser classificados segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente. Quanto a origem é denominada naturais aqueles que se encontram na natureza e industrializados aqueles que são obtidos por processos industriais, quanto as dimensões são divididas entre agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita), quanto ao peso específico eles são classificados como leves, médios e pesados (BAUER, 2008).

Segundo NBR 7211 (2009), agregado miúdo são agregados no qual os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150µm, e agregado graúdo são agregados cujo os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm.

2.4. ÁGUA

É de extrema importância a qualidade da água, pois as suas impurezas podem alterar algumas propriedades do concreto, como interferir na pega do cimento, diminuir a resistência do concreto, podendo até levar a corrosão das armaduras em concreto armados e protendidos (NEVILLE, 2013). Segundo a NBR 15900-1 (2009) água de abastecimento público é considerada adequada para o uso em concreto não necessitando de ser ensaiadas.

2.5. CERÂMICA

Segundo Bauer (2008), pela facilidade e abundância de material prima, a argila, a indústria da cerâmica é uma das mais antigas do mundo. Desde o período neolítico o homem já utilizava o barro para produção de utensílios como as cestas de vime com o barro, com o passar do tempo confirmou que o calor endurecia esse barro, surgindo assim a cerâmica, no qual nessa fase foi amplamente utilizada para diversos fins.

A material prima para a produção de cerâmica é a argila, no qual se torna muito plástica e muito trabalhável quando umedecida. A produção gira em torno da secagem do material para retirar a maior parte da água, moldada e depois submetidas a altas temperaturas (ao redor de 1.000°C), devido a esse processo de queima a argila ganham atributos de rigidez e resistência (ANFACER, 2013).

Argilas são materiais de origem natural que, quando combinados com água, alcançam o atributo de alta plasticidade. Antigamente se conceituou que as argilas eram substâncias de origem da caulinita e o resto era impureza amorfa. Hoje já se tem o conhecimento de que as argilas são formadas de partículas cristalinas extremamente pequenas, formadas por uma substância denominada de argilominerais (BAUER, 2008).

Com o passar do tempo, observou-se que o acréscimo de partículas finas de cerâmicas às argamassas de cal aérea beneficiava as suas características, devido as reações hidráulicas das argamassas. Eram adicionados em argamassas de cal, pequenos fragmentos de argilas cozidas, pois a obtenção de pozolanas naturais ainda era limitado (MATIAS, 2014).

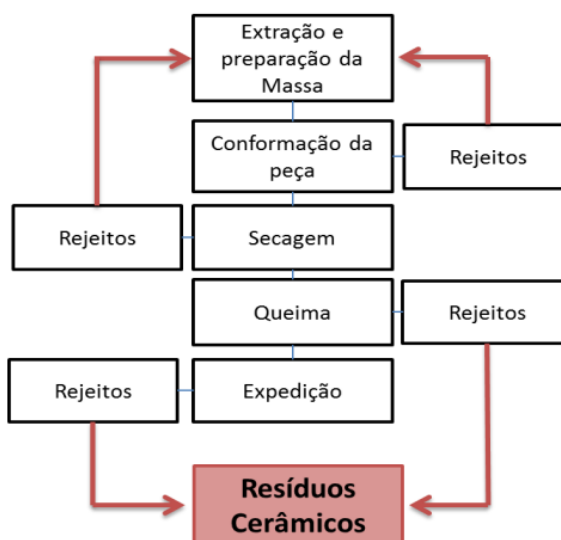
O pó cerâmico é capaz de atuar como pozolana em argamassas, visto que a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3) compostos químicos atuantes na cerâmica

combinados com o óxido de cálcio (Ca(OH)_2) e água, dão origem a silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, o produto resultante possui aptidão a endurecer na presença de água (MATIAS, 2014).

2.5.1. Impacto ambiental

Segundo Ferreira (2012), os rejeitos que são gerados nas etapas de secagem e conformação podem ser reintegrados ao início do sistema de produção, o que constitui uma perda não significativa para a geração dos resíduos cerâmicos, porém os rejeitos do processo de queima e expedição não podem ser incorporados no início do sistema de produção pois o artefato final já atingiu uma resistência. Na (Figura 4) observa-se o fluxograma da geração e reutilização do resíduo cerâmico no processo de fabricação (FERREIRA, 2012).

Figura 4 - Fluxograma da geração e reutilização dos rejeitos no processo de fabricação



Fonte: adaptada Ferreira (2012)

Hoje a industrial cerâmica é autora da criação de uma grande parcela de resíduos. Parte dos materiais produzidos apresenta comumente pequenos defeitos, como fendilhação e empenamento, que o torna um produto que não pode ser comercializado, devido a esse dilema a maioria das fabricas rejeitam esses produtos imperfeitos, pois precisam cumprir aos requisitos de qualidade (MATIAS, 2014).

Apenas uma pequena parte da industrias reintroduz o material defeituoso na linha de produção ou comercializa estes desperdícios para pavimentos desportivos. Porém, essas ações ainda são pouco significativas pois os materiais reutilizados

possuem características obtidas durante o processo de cozimento que dificultam o seu tratamento (MATIAS, 2014).

De acordo com a NBR 10004 (2004), as cerâmicas vermelhas são classificadas como material inertes. Os materiais residuais provenientes das indústrias cerâmicas não prejudicam à saúde e nem causam doenças em comparação com outros resíduos de outras atividades. O problema é a excessiva quantidade de volume gerado dessa atividade, e a falta da função certa para ele que causa acúmulo desse material na natureza (SILVA (2013) *apud* MARIA E ALMEIDA, 2008)

2.6. ADIÇÕES MINERAIS

São materiais silicosos finamente divididos, eventualmente adicionados ao concreto em maiores quantidades, que podem variar entre 20 a 70% da massa do aglomerante cimentício total. Apesar das pozolanas naturais em seu estado bruto ou após ativação térmica ainda seja usado em algumas regiões do mundo, devido a perspectiva econômica e ambientais, muitos resíduos derivados da industrial tem se tornando uma principal fonte de adições minerais no concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), usinas de energia elétrica (que usam carvão como combustível) e alto-forno metalúrgicos são as principais fontes de resíduos produzidos em grande escala em muitos países, esses subprodutos não podem ser lançados de forma indevida na natureza, pois causa sérios danos ambientais. Com devido controle de qualidade esses materiais podem ser usados no concreto, em forma de Cimento Portland ou de adições minerais, sempre que esses materiais são utilizados como substituição parcial do cimento Portland no concreto, há uma economia considerável de energia e custo (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

As adições minerais podem ser pozolanas (cinza volante de baixo teor de cálcio), cimentantes (escória granulada de alto-forno) e tanto cimentantes quanto pozolânicas (cinzas colantes com alto teor de cálcio). Os materiais de adição mineral são divididos em dois grupos: materiais naturais e materiais de subproduto (MEHTA E MONTERIO, 2008).

O material pozolânico, segundo a norma NBR 12653 (2015), é estabelecido como um material silicoso ou sílico-aluminoso que por si mesmo possui pouca ou

inexistente propriedade cimentante, mas, se for dividida finamente e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio e forma compostos de propriedades cimentantes.

2.7. POZOLANAS

2.7.1. Pozolanas naturais

De acordo com a NBR 12653 (2015), as pozolanas naturais são materiais de origem vulcânica, geralmente de natureza petrográfico ácido (65% de SiO_2) ou de origem sedimentar com atividade pozolânica. Sua composição química é formada por uma união de sílica, alumina, e quantidade menores de outros compostos como, cálcio, magnésio, ferro, potássio e sódio.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), todas as pozolanas naturais são provenientes de rochas e minerais vulcânicos, exceto a terra diatomácea. O material é pozolânico quando encontrado na qualidade pura, mas geralmente é encontrado combinado com outros minerais argilosos, nesse caso, deve ser ativado termicamente para elevar sua reatividade pozolânica. Devida a raridade dos materiais em conter apenas um único constituinte reativo, é difícil classificar as pozolanas naturais (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.7.2. Pozolanas artificiais

Segundo a NBR 12653 (2015) as pozolanas artificiais são materiais provenientes de processos industriais ou resultantes de tratamento térmico com atividade pozolânica. Fazem parte dos subprodutos industriais que podem ser usados como adição mineral no concreto de cimento Portland, as cinzas da combustão de carvão e alguns resíduos agrícolas, como palha e casca de arroz, sílica ativa e escória granulada de metais industriais ferrosos e não ferrosos (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

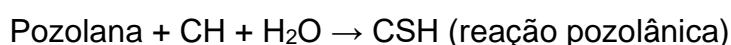
2.7.3. Interações entre pozolana e o cimento Portland

Cada componente de cimento reage com a água, liberando calor e produzindo cristais correspondentes a cada uma das três fases sólidas principais presentes na pasta endurecida, e grãos de clínquer não hidratados (VIEIRA, 2005). O C-S-H forma cerca de 50 a 60% do volume sólidos presentes em uma pasta de cimento Portland totalmente hidratada, é o maior responsável pela resistência a compressão da mesma (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Os cristais de hidróxido de cálcio (CH), possui grande dimensão e são frágeis, forma cerca de 20 a 25% do volume de sólidos da pasta hidratada. De maneira oposta do C-S-H, o CH não contribui potencialmente para a resistência mecânica da pasta endurecida. Além de que, a presença desses cristais em excesso tem um efeito negativo sobre a resistência química a soluções ácidas, por causa da sua alta solubilidade. Os sulfoaluminatos de cálcio ocupam de 20 a 15% do volume de sólidos da pasta endurecida, eles fornecem um papel menor nas relações estrutura-propriedade (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Vieira (2005), o CH é o componente de ponto mais fraco da estrutura da pasta de cimento, pois é um produto bastante solúvel que pode ser lixiviado, concedendo uma porosidade a estrutura e resultando não somente a diminuição da resistência, mas também o aumento de sua permeabilidade, com efeitos negativos para a durabilidade da pasta.

De acordo com Netto (2006), ao adicionar material pozolânico na pasta de cimento, os óxidos que constituem a pozolana em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio livre que contém no cimento, produzindo C-S-H semelhante aos produzidos pela hidratação dos silicatos de cálcio do cimento Portland. Estas reações podem ser descritas como:



Os fragmentos finamente divididos da pozolana que não reage com os produtos de hidratação do cimento, e outro compostos que são produzidos durante a reação pozolânica, como os cálcios aluminato hidratadas (C-A-H), que agem apenas como filler, diminuindo a porosidade da estrutura resultante. A mistura dos efeitos pozolânico e filler derivados da reação pozolânica é uma contribuição importante para a resistência e durabilidade da pasta endurecida frente a meios ácidos (VIEIRA, 2005).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), esta reação causam três aspectos importantes, os quais são, menor liberação de calor pois a reação é lenta, maior durabilidade a ambientes ácidos e preenche os espaços capilares melhorando assim a resistência e a impermeabilidade do sistema.

De acordo com Vieira (2005), a criação de produtos de hidratação secundários em torno das partículas de pozolana, tende a preencher os vazios capilares grandes

com material microporoso e de baixa densidade. Do mesmo jeito, no processo de refinamento do tamanho do grão, a nucleação do CH em volta das partículas finas e distribuídas das pozolana, tem a função de substituir os cristais grandes e orientados desta fase por vários cristais pequenos e menos orientados, e de produtos de reação pouco cristalinos. Esses processos colaboram para o aumento de resistência da pasta de cimento.

2.7.4. Efeitos da pozolana nas propriedades do concreto

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), concretos frescos que possuem uma tendência à exsudação e à segregação, a adição de partículas finas geralmente tende a melhorar a trabalhabilidade por reduzir o tamanho e o volume de vazios. Apesar disso, materiais de superfície específica muito elevada como microssilica e as cinzas das cascas de arroz, geralmente aumenta o consumo de água para uma dada consistência. Em relação à temperatura de cura, embora a exposição a altas temperaturas pode ter um efeito negativo ao concreto de cimento Portland, mas o concreto que possui pozolana pode ser que seja beneficiado pela ativação térmica através da aceleração da reação pozolânica.

O desempenho da pozolana no concreto necessita de fatores como a composição química, índice de atividade pozolânica, teor de substituição, diâmetro médio, forma e massa específica do material pozolânico, e também da proporção dos materiais, relação água/cimento, tipo de cimento, tipo de agregados, aditivos químicos, idade e grau de hidratação do concreto (GONÇALVES (2005) *apud* VIEIRA, 2005).

Segundo Vieira (2005), a utilização de um material pozolânico em substituição do cimento pode ou não gerar um ganho na resistência a compressão pela reação pozolânica, uma vez que, se a pozolana que foi utilizada possuir uma elevada atividade, a mesma produzira uma quantidade de hidratos maior do que a quantidade de cimento substituído produziria, provocando um aumento na resistência, causando o efeito contrário caso a pozolana utilizada seja de baixa atividade.

2.8. APLICAÇÕES DE RESÍDUOS CERÂMICOS

Novos meios para reutilização de rejeitos vêm sendo pesquisados, resultando uma nova forma de lucratividade econômica às empresas do setor e minorar os danos

ao meio ambiente, produzidos pela produção dos artigos cerâmicos, implantando com isto uma produção mais sustentável (OLIVEIRA, 2014).

Os resíduos cerâmicos quando divididos em partículas pequenas podem apresentar características pozolânicas que adicionados a argamassas e concretos influenciam as propriedades dos mesmos. Quando britado consegue ser utilizado como aterros, projeto de terraplanagem, agregados em concretos ou combinados com solo em camadas de pavimentos com baixo tráfego. A vários estudos relacionados a utilização de resíduos cerâmicos em concretos e pavimentação (OLIVEIRA, 2014; SILVA E CARVALHO, 2017; CORREIRA E FRAGA, 2018; SILVA, 2013; COSTA, 2017).

Para Silva e Carvalho (2017) a utilização de RCV em pavimentos de baixo tráfego com uma configuração de 50% de solo + 50% de RCV, teve resultados inferiores a 0,5% no requisito à expansibilidade das amostras de solo com RCV, se enquadrando nas características para obras de pavimentação, também importante foram os resultados da compactação das amostras que ficaram abaixo da curva de saturação de 80%. Tendo um parecer favorável na sua aplicação como camada de base de pavimentos, afirmando a visibilidade técnico ambiental do material ser adequada para o uso.

Correia e Fraga (2018) estudaram o resíduo cerâmico quanto agregado miúdo e agregado graúdo no concreto, no qual concretos com agregado miúdo de obtiveram resultados melhores, pois a forma conchoidal dos agregados graúdos não era um formato ideal de um agregado. Conforme os resultados obtiveram uma superioridade do agregado miúdo de RCV sobre o agregado miúdo natural, nas condições de pré-saturação de 80%, em substituições totais e parciais, e tendo resultados melhores com fatores de água/cimento de 0,55 e 0,45. Contudo, mesmo com a superioridade do agregado, em condições de carbonatação do concreto o agregado apresentou resultados inferiores, podendo exigir maior cobrimento para proteger as armaduras.

No estudo de Oliveira (2014), a cerâmica vermelha foi usada como uma adição mineral, no qual os teores de substituição de cimento por cerâmica vermelha foram na ordem de 10, 20 e 30%. Houve um aumento na consistência na medida em que o teor de substituição foi aumentando, porém, resistência do concreto com a substituição apresentaram resultados inferiores em comparação com o concreto de referência, com perdas entre 6% a 18% da resistência. Concluiu que a utilização de

resíduos cerâmicos não trouxe benefícios para o concreto e nenhum dos teores de substituição.

No estudo realizado pela Silva (2013), a cerâmica foi utilizada como substituição do cimento em argamassas, nos teores de substituição de 50, 60 e 70%. Apesar do material cumprir todos os requisitos para ser considerado como material pozolânico, as argamassas com a substituição apresentaram resistência inferior a argamassa de referência, Silva (2013) afirma que essa redução na resistência a compressão foi ocasionado pelo tempo insuficiente para as reações pozolânicas ocorrerem, outro fator que pode ter sido responsável por diminuição da resistência é o percentual de substituição.

Costa (2017), em seu estudo utilizou o resíduo de tijolo cerâmico moído nos teores de 10, 20 e 30% e concluiu que os melhores resultados foram com a substituição em 20% do cimento pelo resíduo, no qual teve uma perda de 8,3% na resistência a compressão se comparada com o concreto base. Os resultados da absorção de água, índices de vazios e massa específica foram positivos e geram a possibilidade de serem usados em ambientes agressivos ou inóspitos, o autor afirma ainda que apesar da substituição do cimento por resíduo de cerâmica gerar uma perda na resistência a compressão não invalida a possibilidade de utilização do mesmo na produção de concretos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. TIPO DE ESTUDO

O método que foi empregado nesta pesquisa, é o método experimental, no qual permite testar a validade da hipótese, investigar as alterações provocadas pela variável no procedimento. Segundo Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Nesta pesquisa foi utilizada a abordagem quantitativa, pois as avaliações serão feitas através dos resultados obtidos em ensaios realizados em laboratório, uma vez que iremos comparar os resultados de um concreto referência com os resultados de um concreto com substituição do cimento por resíduo de cerâmica vermelha.

3.2. LOCAL DE PESQUISA

Todos os ensaios necessários para a realização da pesquisa foram realizados nos laboratórios do departamento de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.3.1. Cimento Portland

Para determinar as características físicas do cimento foram utilizados os ensaios de índice de finura e massa específica.

3.3.1.1. Índice de finura

Foi realizado o ensaio de acordo com a NBR 11579 (2013) que prescreve os métodos de ensaios de peneiramento a seco para a determinação do índice de finura do cimento Portland com a utilização da peneira 75 μm (nº 200).

Para realizar o ensaio foi separado 20g de material e colocado sobre a tela da peneira, distribuindo de maneira circular para que não toque no material quando colocar a tampa, em seguida foi colocado no peneirador de peneiras durante 3 min.

Foi utilizado a NBR 11579 (2013) que prescreve os métodos de ensaios de peneiramento a seco para a determinação do índice de finura de cimento Portland

com a utilização da peneira 75 μm (nº 200). Com o resultado do ensaio obteve um índice de finura de 3%.

3.3.1.2. Massa específica

Para efetuar o ensaio, foram necessário preparar duas amostras do cimento, no qual continha uma massa de 60g cada amostra, em seguida foi preenchido o frasco de Le Chatelier com um líquido que não reaja quimicamente com o material, depois de preencher o frasco entre as marcas 0 e 1 cm^3 , foi registrado a primeira leitura, posteriormente foi adicionando o material no frasco com o auxílio de um funil de haste curta, depois de todo o material adicionado, o frasco foi tampado e foi girado suavemente em círculos horizontais, até que não subam borbulhas de ar para a superfície do líquido, em seguida foi registrado a leitura final. Com o resultado do ensaio obteve uma massa específica de 3,04 g/cm^3 .

3.3.2. Agregados

Para determinar as características físicas dos agregados foram utilizados os ensaios de composição granulométrica, massa específica, massa unitária, material fino passante pela peneira de 75 μm (nº 200) por lavagem e determinação de impurezas orgânicas.

3.3.2.1. Composição granulométrica

Com o objetivo de caracterizar os agregados foi realizado ensaio de composição granulométrica do agregado miúdo e graúdo foi elaborado de acordo com o prescrito na NBR NM 248 (2003), por meio deste ensaio será determinado o módulo de finura e o diâmetro máximo característico.

Foram separadas duas amostras de cada agregado, 500g para agregado miúdo e 5 kg para agregado graúdo, no qual foi secado na estufa por um período de 24 horas, após a secagem das amostras montou a sequência de peneiras de ordem crescente da base para o topo. Em seguida colocou-se a amostra ou partes dela sobre a peneira do conjunto, depois de depositar o material iniciou a agitação das peneiras.

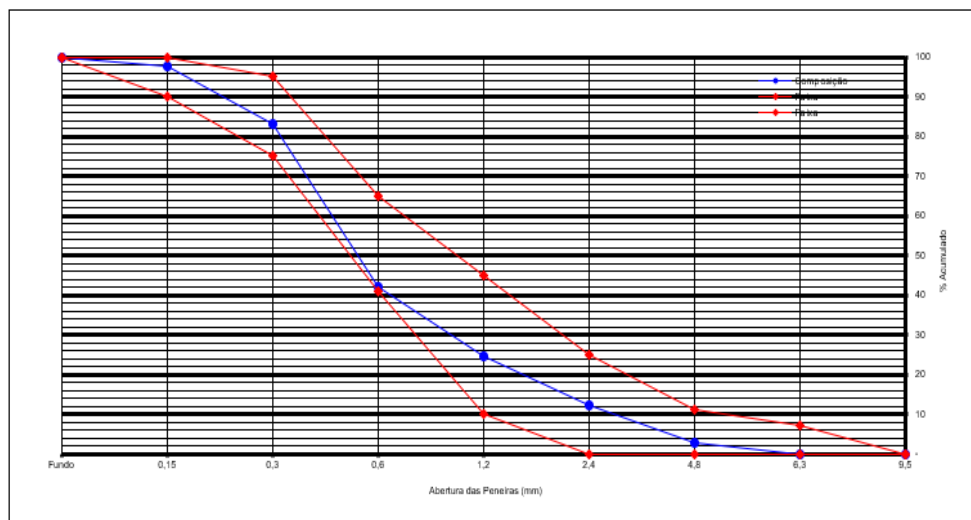
Após finalizado o tempo de peneiramento, o material retido em cada peneira foi depositado em um recipiente fazendo sua pesagem em seguida. Na (Tabela 1) e no (Gráfico 1) estão os resultados e a curva granulométrica obtidos do ensaio para o agregado miúdo.

Tabela 1 - Resultados obtidos para o agregado miúdo

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO			
Pol/Nº	(mm)	MASSA		% RETIDA	MASSA		% RETIDA	Simples	Acumul.	ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
		RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.			MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA
3/8	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	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: 3			
DIF. DA AMOSTRA		-	-		-	-		-		MÉDIA			
MÓDULO DE FINURA		2,71			2,54			2,63					
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		4,8			-								

Fonte: autoria própria (2019)

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: autoria própria (2019)

Após a realização do ensaio foi obtido para o agregado miúdo um módulo de finura de 2,63 e diâmetro máximo característico de 4,8mm.

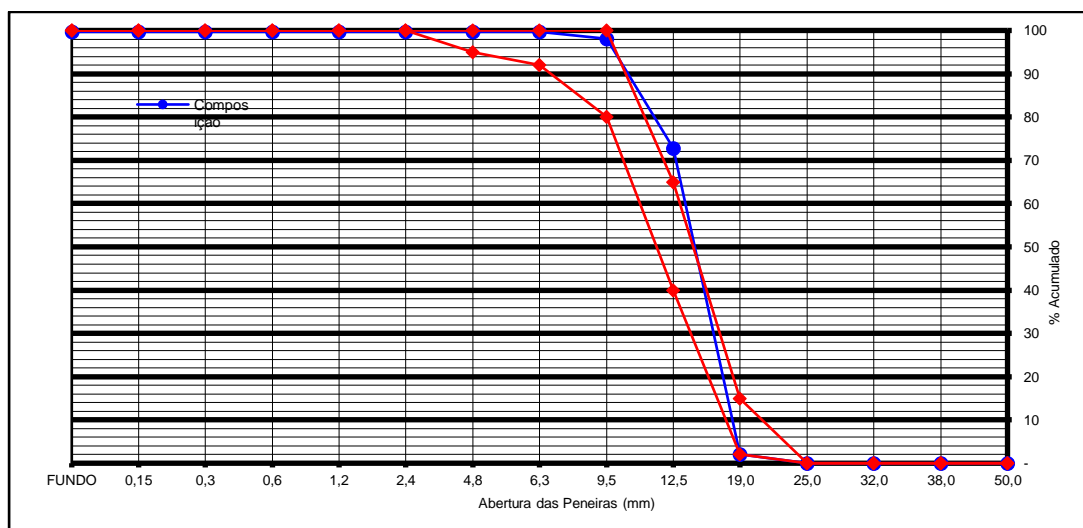
O mesmo ensaio foi realizado para o agregado graúdo e os resultados e a curva granulométrica estão descritos na (Tabela 2) e (Gráfico 2).

Tabela 2 - Resultados obtidos para o agregado graúdo

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR 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
11/2	38,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 0	0 - 0	0 - 0	5 - 30
11/4	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	92 - 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	95 - 100	100 - 100
	6,30	110,00	2,20	100,00	48,00	0,96	99,36	1,58	99,68	40 - 90	92 - 100	100 - 100	100 - 100
	4,80	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	85 - 100	95 - 100	100 - 100	100 - 100
	2,40	-	-	100,00	-	-	99,36	-	99,68	95 - 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:			
DIF. DA AMOSTRA		-	-		32,00	0,64		0,32		1			
MÓDULO DE FINURA				8,73			8,69	8,71		Brita			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		19,0											

Fonte: autoria própria (2019)

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: autoria própria (2019)

Após a realização do ensaio obtido um diâmetro máximo característico de 19mm.

3.3.2.2. Massa específica

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizado pelo método do frasco de Chapman estabelecida pela NBR 9776 (1998). Foram separadas duas amostras de 500g cada, foi preenchido com água o frasco até a marca de 200 cm³, situada entre os dois bulbos, depois foi inserido a amostra no frasco com cuidado, então agitou o frasco para que as bolhas de ar sejam retiradas. Realizar uma nova leitura no frasco, no qual vai indicar o novo volume em cm³ composto pelo agregado e a água. Realizar este procedimento para as duas amostras. Com resultado do ensaio obteve uma massa específica de 2,60 g/cm³.

E a massa específica do agregado graúdo foi determinado pelo método de picnômetro. Foi utilizado um picnômetro de 1000ml, separando uma amostra de 500g para o graúdo, em seguida o picnômetro foi preenchido com água até sua máxima capacidade e colocar a tampa, então foi feito a pesagem do recipiente e anotado. Então se retirou um pouco de água para pode inserir a amostra e depois foi preenchida com água, tampar e pesar novamente. Com resultado do ensaio obteve uma massa específica de 2,64 g/cm³.

3.3.2.3. Massa unitária

Para obter a massa unitária dos agregados foi realizado o ensaio de acordo com a NBR NM 45 (2006) que demonstra o método para a determinação da massa específica unitária e volume de vazios.

O recipiente para realizar esse ensaio foi de uma padiola metálica no qual possui um volume de 15 dm³. Primeira etapa do ensaio foi pesar o recipiente no qual será colocado a amostra, e registrar seu peso. Em seguida preencheu todo o recipiente com o agregado (miúdo e graúdo), utilizando uma concha, sendo despejada a uma altura de 5 cm acima da borda do recipiente. Nivelando o material rente a borda do recipiente com uma haste, e então pesou novamente o recipiente. Este ensaio foi realizado 3 vezes para cada um dos agregados. Com resultado do ensaio obteve uma massa unitária do agregado miúdo de 1470 kg/m³ e a massa unitária do agregado graúdo de 1340 kg/m³.

3.3.2.4. Material fino passante pela peneira 75 µm

Para determinar o material fino passante pela peneira 75 µm (nº 200) foi utilizada a NBR NM 46 (2003) que descreve o método para determinação por lavagem em agregados, no qual, materiais solúveis em água, serão removidos do agregado no processo de lavagem.

O ensaio foi realizado por lavagem com água. O material posto em estufa para secagem e resfriado em temperatura ambiente, em seguida, a amostra foi pesada e colocada em um Becker que foi então preenchido com água. A amostra foi agitada até que o material pulverulento ficou em suspensão. Imediatamente a água foi escoada sobre a peneira de 75 µm. Esse processo foi repedido até que a água de lavagem ficasse clara. Ao final do processo, o material retido na peneira foi colocado novamente no Becker e depois foi colocada na estufa. Depois de seco, o material foi pesado novamente. Com resultado do ensaio obteve 0,9% de material fino passante pela peneira 75 µm.

3.3.2.5. Impurezas orgânicas

A NBR NM 49 (2001), informa o método para realizar a determinação colorimétrica de impurezas orgânicas contidas nos agregados miúdos destinado no preparo de concreto, não determina substâncias orgânicas como óleos, graxas e parafinas.

Foi separada uma amostra de 200g do agregado para efetuar o ensaio, essa amostra foi inserida no frasco Erlenmeyer com 100 cm³ de uma solução de hidróxido de sódio, essa mistura foi agitada e colocada em repouso em um ambiente escuro por um período de 24 horas. Após esse repouso, a solução que estava em contato com o agregado foi filtrada e recolhida em um tubo de ensaio. Essa amostra então foi comparada com uma solução de 97 cm³ de hidróxido de sódio e 3 cm³ de ácido tânico a 2%. A quantidade de matéria orgânica foi avaliada com a comparação da cor da amostra, com a cor da solução. Com o ensaio realizado obteve um resultado de <300 (ppm) de impurezas orgânicas.

3.3.3. Resíduos da cerâmica vermelha

Para realização desta pesquisa, foi usada resíduos cerâmicos coletada em uma indústria ceramista, localizada na cidade de Paraíso - TO. O material foi coletado no pátio da indústria, composto somente por rejeitos de tijolos cerâmicos quebrados.

Para caracterizar o resíduo cerâmica e para ser utilizado no concreto como substituição do cimento, foi necessário que o mesmo fosse fragmentado (Figura 5) manualmente com auxílio de um soquete, sem qualquer controle de granulometria. Na segunda etapa de beneficiamento do resíduo, o resíduo foi levado para a estufa, no qual ficou 24 horas, depois que foi retirado da estufa e aguardado um tempo de 2 horas para que o resíduo ficasse a temperatura ambiente, o resíduo foi colocado no moinho de bolas (Figura 6) para a moagem do material.

Figura 5 - Resíduo cerâmico fragmentado pronto para ser inserido no moinho de bolas



Fonte: autoria própria (2019)

Figura 6 - Moinho de bolas utilizado no beneficiamento do material



Fonte: autoria própria (2019)

No moinho de bolas foi colocado uma quantidade de bolas conforme a especificada na (Tabela 3), sendo separado quatro amostras de cinco quilo cada, no qual cada uma foi colocada durante um total de oito horas, após o processo de moagem, o material retirado do moinho de bolas foi passado por um processo de peneiramento, na peneira de abertura de malha de $75\ \mu\text{m}$ (nº 200), no qual o passante dessa peneira foi utilizado na fabricação do concreto (Figura 7).

Figura 7 - Resíduo cerâmico passante na peneira $75\ \mu\text{m}$



Fonte: autoria própria (2019)

Após o preparo da amostra RC para fins de caracterização foi realizado o ensaio de massa específica e índice de atividade pozolânica.

Tabela 3 - Quantidade de bolas no moinho de bolas

Tamanho (mm)	Quantidade
50	4
37	21
30	16
25	12
19	15
17	4

Fonte: autoria própria (2019)

3.3.3.1. Massa específica

Foi realizado o ensaio para a determinação da massa específica do resíduo cerâmico, de acordo com a NBR 16605 (2017), empregando o frasco volumétrico de Le Chatelier.

Para efetuar o ensaio, foram necessário preparar duas amostras do resíduo, no qual continha uma massa de 60g cada amostra, em seguida foi preenchido o frasco de Le Chatalier com um liquido que não reaja quimicamente com o material, depois de preencher o frasco entre as marcas 0 e 1 cm³, foi registrado a primeira leitura, posteriormente foi adicionando o material no frasco com o auxílio de um funil de haste curta, depois de todo o material adicionado, o frasco foi tampado e foi girado suavemente em círculos horizontais, até que não subam borbulhas de ar para a superfície do liquido, em seguida foi registrado a leitura final.

3.3.3.2. Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias

Com o objetivo de constatar o índice de atividade pozolânica do resíduo cerâmico com o cimento, foi executado o ensaio conforme a NBR 5752 (2014) para determinar o índice de desempenho de materiais pozolânicos com cimento Portland, sendo rompida aos 28 dias de cura.

Para efetuar o ensaio, foram necessários preparar duas misturas de argamassas, uma argamassa de referência (argamassa A) e outra que substitui a

massa do cimento Portland pelo material que será examinado (argamassa B). O índice de atividade pozolânica é dada pela relação entre a resistência a compressão da argamassa com o material a ser examinado (argamassa B) e a resistência a compressão da argamassa de referência (argamassa A). No (Quadro 1), está contido a quantidade necessária de material para cada mistura.

Quadro 1 - Proporção de cada material para a mistura das argamassas

Material	Massa g	
	Argamassa A	Argamassa B ^a
Cimento CP II-F-32	624 ± 0,4	468 ± 0,4
Material pozolânico	–	156 ± 0,2
Areia normal ^b	1872,0	1872,0
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2
Aditivo superplastificante	–	^c

Fonte: autoria própria (2019)

Após o preparo da argamassa foram moldados seis corpos de prova de dimensão (50x100) mm para cada uma das argamassas, os corpos de prova permaneceram por um tempo de 24 horas no local onde foram fabricados, para a cura inicial. Em seguida foram desmoldados e colocado em um tanque de água no qual permaneceram durante 27 dias, onde foram retirados e posteriormente rompidos (Figura 8).

Figura 8 - Corpo de prova rompido



Fonte: autoria própria (2019)

3.4. DOSAGEM DO CONCRETO

Para realizar os ensaios propostos nesta pesquisa, foi necessário um concreto de referência para comparar suas características com as dos concretos com teores de substituição de cimento por resíduo cerâmico, assim analisando a influência da substituição no concreto. O método usado para determinar o traço do concreto referência é o da Associação Brasileira de Cimento Portland no qual foi preparado a partir de dados dos materiais utilizados, cimento e agregados, e pela determinação de algumas características que o mesmo deverá ter aos 28 dias, como f_{ck} de 25 MPa, desvio padrão (S_d) de 4,0 MPa, f_{cj} de 31,6 MPa e tronco de abatimento de 100mm.

Os componentes utilizados para a elaboração do concreto referência foram: cimento CP II F – 40, areia média, brita 1 e água, totalizando o traço de 1; 1,98; 2,36; 0,52. Conforme esses dados, foi calculado o consumo dos componentes para cada um dos traços com 5, 10 e 20% de substituição em massa de cimento pelo resíduo cerâmico, mantendo a mesma quantidade de agregados e a relação água/cimento.

A (Tabela 4) informa a quantidade específica de cada material, tanto para o concreto de referência quanto para os concretos com teores de substituição.

Tabela 4 - Consumo de materiais por metro cúbico de concreto

Concreto	Cimento kg / m ³	Resíduo Cerâmico kg / m ³	Areia kg / m ³	Brita kg / m ³	Água L / m ³	Fator água/cimento
Concreto de referência	395,00	-	781,00	929,00	205	0,52
Concreto c/5% de substituição	375,25	19,75	781,00	929,00	205	0,52
Concreto c/10% de substituição	355,50	39,50	781,00	929,00	205	0,52
Concreto c/20% de substituição	316,00	79,00	781,00	929,00	205	0,52

Fonte: autoria própria (2019)

A dosagem do concreto pelo método da ABCP, seria necessário realizar um ajuste no traço, pois o resíduo de cerâmica vermelha possui características diferentes do cimento, que foi utilizado para calcular o traço. Mas o objetivo desta pesquisa é avaliar essa influência do resíduo cerâmico no concreto, se esse ajuste fosse realizado como normalmente é no dia-a-dia, não teria como analisar essa influência do resíduo cerâmico no concreto, portanto não foi feito nenhum ajuste nesse sentido.

Após o cálculo do traço para o concreto de referência, todos os materiais utilizados na execução das misturas, cimento, areia, brita, água, foram pesados em uma balança de acordo com o traço calculado. Após a pesagem os materiais foram levados para a betoneira onde foram adicionados aos poucos para que garantisse a homogeneidade do concreto. Nos concretos com teores de substituição, primeiro foi necessário a mistura do cimento com o resíduo cerâmico antes de adicioná-lo na betoneira.

3.5. ENSAIOS DO CONCRETO

3.5.1. Estado plástico

3.5.1.1. Consistência do concreto

Com o objetivo de avaliar o concreto no estado plástico, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone ou teste de Slump determinado pela NBR NM 67

(1998) que define a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, sendo aplicável aos concretos plásticos e coesivos.

Para aplicar o ensaio foi necessário um molde na forma de um tronco de cone oco para a moldagem do corpo de prova de ensaio, sendo apoiado sobre uma placa quadrada. A primeira etapa para executar o ensaio foi umedecer o cone e a placa de base. Com ambos umedecido, o concreto foi lançado em três camadas, cada uma dela possuindo aproximadamente $1/3$ da altura do cone. Cada camada foi uniformemente compactada com 25 golpes com a haste. Depois da última camada compactada, foi retirado o excesso sobre a superfície do cone com uma colher de pedreiro. O cone foi retirado na direção vertical sem executar movimento de torção. Após a retirada do cone, foi medido o abatimento do concreto, que é a altura do eixo do corpo de prova até o topo do cone de abatimento (Figura 9).

Figura 9 - Abatimento do concreto de 10% de teor de substituição



Fonte: autoria própria (2019)

Este ensaio tem como objetivo avaliar a influência da substituição do resíduo cerâmico na trabalhabilidade do concreto, mantendo a relação água/cimento de 0,52 em todos os traços. Afim de avaliar o comportamento do resíduo cerâmico como o abatimento e a performance do concreto, assim como a homogeneidade da pasta.

3.5.2. Estado endurecido

Foram executados 4 traços distintos, um traço de referência, sem a substituição do cimento Portland, e os outros 3 com a substituição do cimento Portland por resíduo cerâmico nas proporções de 5, 10 e 20%. Cada traço será produzido 12 corpos de prova cilíndricos (100x200mm), 9 para realizar o ensaio de resistência a compressão 3 deles para ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica real e 3 corpos de prova cilíndricos (150x300mm) para realizar o ensaio de resistência a tração. A moldagem e a cura dos corpos de prova estão de acordo com a norma NBR 5738 (2016), que prescreve o procedimento e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto. Na (Tabela 5) estão descritos os ensaios que foram realizados e suas respectivas idades.

Tabela 5 - Corpos de prova para os ensaios

Ensaio	Tração	Compressão			Absorção de água	Corpos de prova por traço
	Idades	Idades			Idades	
Concreto	28 dias	3 dias	7 dias	28 dias	30 dias	
Concreto de referência	3	3	3	3	3	15
Concreto c/5% de substituição	3	3	3	3	3	15
Concreto c/10% de substituição	3	3	3	3	3	15
Concreto c/20% de substituição	3	3	3	3	3	15

Fonte: autoria própria (2019)

Com o concreto produzido e após a verificação da sua consistência pelo slump-test, o concreto foi lançado nos moldes em duas camadas de volume aproximadamente igual. Cada camada foi adensada manualmente com uma haste, aplicando-se 12 golpes com distribuição uniforme, indo até a toda espessura da camada, e a segunda camada com a haste penetrando aproximadamente 20mm da

camada anterior, em seguida foi feito o nivelamento da superfície do corpo de prova com o auxílio de uma colher de pedreiro.

Os corpos de prova ficaram por 24 horas armazenados no mesmo local onde foram produzidos para a cura inicial, após esse período ocorreu a desforma dos moldes e foram identificados, em seguida foram alocados para o tanque de cura.

3.5.2.1. Resistência a compressão simples

Para avaliar a resistência à compressão do concreto foi realizado o ensaio de acordo com a NBR 5739 (2018) que especifica o método de ensaio para a determinação à compressão de CPs cilíndricos de concreto moldados. Os CPs serão rompidos com 3, 7 e 28 dias de cura.

Foram rompidos 3 corpos de prova para cada traço de concreto contendo 0, 5, 10 e 20% de substituição de cimento por resíduo cerâmico.

Para a execução do ensaio os CPs foram retirados do tanque de cura, e foram secados a temperatura ambiente, em seguida foi posto na prensa hidráulica para a realização do ensaio (Figura 10).

Figura 10 - Corpo de prova na prensa hidráulica rompido a compressão simples



3.5.2.2. Resistência à tração por compressão diametral

Foi realizado o ensaio conforme a NBR 7222 (2011) que descreve a determinação da resistência a tração por compressão diametral de CPs de cilíndricos moldados. Os CPs serão rompidos com 28 dias de cura.

Foram rompidos 3 corpos de prova para cada traço de concreto contendo 0, 5, 10 e 20% de substituição de cimento por resíduo cerâmico, somando CPs para a idade de 28 dias.

Para a execução do ensaio os CPs foram retirados do tanque de cura, e foram secados a temperatura ambiente, em seguida foi posto na prensa hidráulica para a realização do ensaio (Figura 11).

Figura 11 - Corpo de prova sendo realizado o ensaio a tração por compressão diametral



Fonte: autoria própria (2019)

3.5.2.3. Determinação de absorção de água e índice de vazios

Para analisar a influência da substituição de resíduo cerâmico na absorção de água no concreto por imersão foi executado conforme a NBR 9778 (2009) para a determinação do mesmo.

Para realizar o ensaio foram moldados 3 CPs de para cada traço, foi então retirados os CPs do tanque de cura e colocados dentro de um recipiente com água que foi levada a ebulição, sendo mantida por um período de 5 horas, mantendo aproximadamente o volume da água constante, em seguida foram pesados (Figura 12) em uma balança de precisão de 0,01g e a massa registrada. Após a pesagem dos CPs saturados, eles foram pesados imerso em água após a fervura (Figura 13) e teve a massa registrada. Em seguida foram colocados na estufa para a secagem, no qual ficou durante um período de 72 horas. Com os CPs secos, os mesmos foram novamente pesados e suas massas foram registradas.

Figura 12 - Pesagem do corpo de prova saturado em água.



Fonte: autoria própria (2019)

Figura 13 - Corpo de prova imerso em água após fervura



Fonte: autoria própria (2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

4.1.1. Resíduo da cerâmica vermelha

Para os resíduos cerâmicos usados na substituição parcial do cimento, foram realizados ensaios para analisar sua propriedade física, os ensaios realizados foram de massa específica, umidade e índice de atividade pozolânica. Os resultados dos ensaios físicos, realizados no laboratório estão descritos na (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultado das análises físicas

Resíduo Cerâmico	
Massa específica (g/cm ³)	2,60
Umidade (%)	2,30

Fonte: autoria própria (2019)

Na Tabela 6, pode ser averiguado a massa específica e umidade, não houve a necessidade de realizado o ensaio de índice de finura do resíduo cerâmico, pois o material usado foi o passante da peneira 75 µm. A umidade é uma das propriedades físicas especificados pela NBR 12653 (2014), no qual determina que a mesma deve ser menor ou igual a 3% para material pozolânico. De acordo com a tabela acima, pode ser verificado que a amostra de resíduo cerâmico apresentou um resultado abaixo do especificado pela norma, mostrando que ela atende aos requisitos da norma. A norma não especifica um valor para massa específica.

Para a análise do índice de atividade pozolânica, foram rompidos 6 CP's de duas argamassas distintas, para assim medir a resistência a compressão aos 28 dias de cura. Os resultados obtidos podem ser verificados na (Tabela 7).

Tabela 7 - Resultados da análise do índice de atividade pozolânico

Argamassa	Resistencia média a compressão (MPa)	Índice desempenho com o cimento (%)
Argamassa A	31,33	94,79
Argamassa B	29,70	

Fonte: autoria própria (2019)

Um dos fatores que influênciam para que o material seja determinado como uma das classes de material pozolânico é o índice de desempenho com o cimento aos 28 dias. De acordo com a NBR 12653 (2014), o material deve possuir um índice $\geq 90\%$. Os resultados na (Tabela 7) indicam que o resíduo cerâmico atende os requisitos estabelecido pela norma para índice de atividade pozolânica com o cimento. O resíduo demonstrou um índice de 94,79 %, um percentual de 4,79% acima do mínimo descrito pela norma.

Segundo Vieira (2005), um dos fatores para que a utilização de um material pozolânico em substituição do cimento pode colaborar ou não para o aumento de resistência a compressão é dado através da reação pozolânica, uma vez que, se a pozolana empregada possuir uma alta atividade, a mesma originará em uma quantidade de hidratos maior do que a quantidade de cimento substituído produziria, ocasionando, desta maneira, um ganho na resistência, sucedendo um efeito inverso para pozolanas de baixa atividade.

4.2. CONCRETO

4.2.1. Estado fresco

Com o objetivo de estudar a influência do resíduo cerâmico na trabalhabilidade do concreto, foram realizados ensaios de abatimento do tronco de cone ou slump-test. Os dados obtidos encontram-se na (Tabela 8), no qual é possível verificar os resultados dos testes para cada concreto fabricado.

Tabela 8 - Consistência dos concretos com e sem substituição de cimento por resíduo cerâmico por meio do slump test

Concreto	Slump test (mm)
Concreto de referência	105
Concreto c/5% de substituição	95
Concreto c/10% de substituição	80
Concreto c/20% de substituição	60

Fonte: autoria própria (2019)

Como pode ser descrito na tabela acima, a consistência da massa do concreto foi diminuindo na medida que o teor de substituição foi aumentando. Conforme Vieira (2005) isso se dá pelo fato de que como o resíduo cerâmico possui uma superfície específica de contato maior que a do cimento, faz com que haja uma necessidade de maior consumo de água para que todos os grãos sejam envolvidos.

4.2.2. Estado endurecido

4.2.2.1. Resistência a compressão simples

Os valores de resistência a compressão simples foram obtidos pelo rompimento dos corpos de prova dos concretos com e sem substituição de cimento por resíduo cerâmico. Foram rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias de cura e a média dos valores encontrados para cada teor de substituição estão descritos na (Tabela 9).

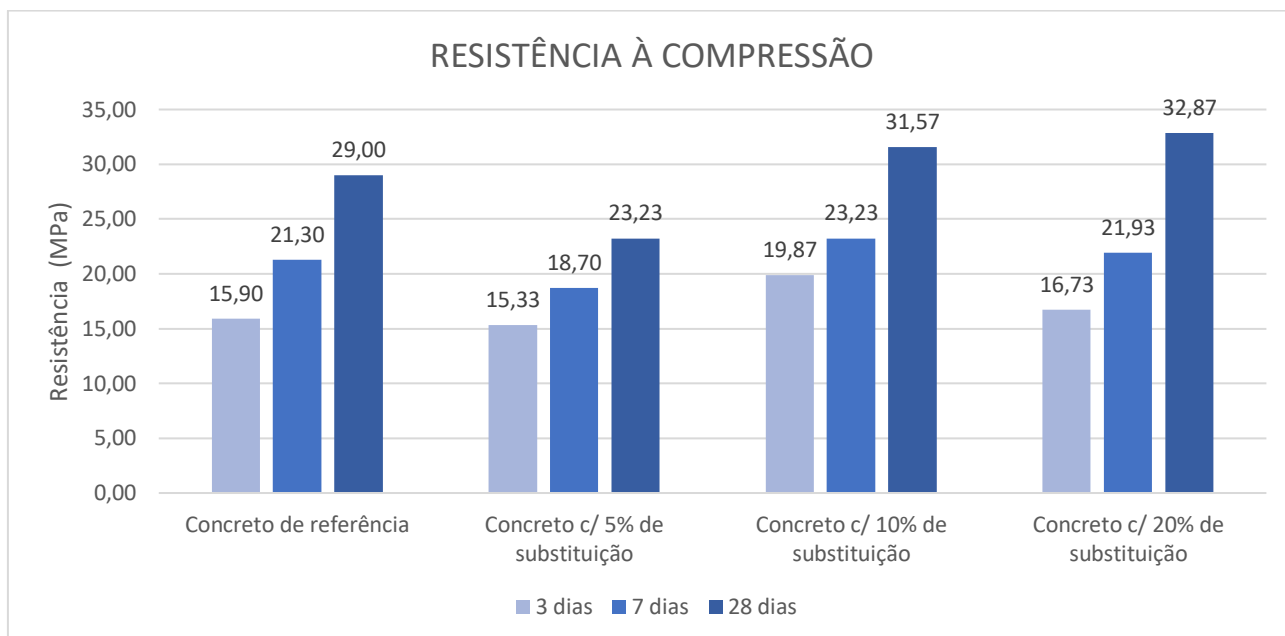
Tabela 9 - Média da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 3,7 e 28 dias de cura

Concreto	Resistência média aos 3 dias (MPa)	Resistência média aos 7 dias (MPa)	Resistência média aos 28 dias (MPa)
Concreto de referência	15,90	21,30	29,00
Concreto c/5% de substituição	15,33	18,70	23,23
Concreto c/10% de substituição	19,87	23,23	31,57
Concreto c/20% de substituição	16,73	21,93	32,87

Fonte: autoria própria (2019)

Os resultados adquiridos foram analisados com o concreto de referência, sem o teor de substituição, com o objetivo de verificar a variação de resistência entre os períodos de 3, 7 e 28 dias de cura (Gráfico 3)

Gráfico 3 - Resistência a compressão simples



Fonte: autoria própria (2019)

O Gráfico 3, retrata os valores médios de resistência a compressão de corpos de prova rompidos com 3, 7 e 28 dias. O concreto de referência apresentou uma resistência a compressão média aos 3 e 7 dias de respectivamente 15,90 e 21,30 MPa. Aos 3 dias o concreto com a substituição de resíduos de cerâmica, constatou-se uma redução de 3,58 % na resistência a compressão do concreto de 5% de substituição, e um acréscimo na resistência a compressão de respectivamente 24,97% e 5,22% nos concretos de 10% e 20% de substituição. A mesma situação ocorreu aos 7 dias, o concreto com a substituição de 5% teve uma redução de 12,21% na resistência a compressão, e houve um acréscimo de respectivamente de 9,06% e 2,96% na resistência a compressão nos concretos de 10% e 20% de substituição.

Para os 28 dias de cura, houve uma perda de 19,90% na resistência do concreto com substituição de 5%, já os concretos de 10% e 20% de substituição, obtiveram um aumento na resistência de respectivamente de 8,86% e 13,34%. Segundo Zampierri (1993 *apud* Vieira, 2005) cada pozolana tende a fixar uma quantidade de hidróxido de cálcio para atingir a maior resistência a compressão. Para isso ser possível é necessário um valor ótimo de substituição, quando se usa uma quantidade menor que esse valor ótimo ocorrerá a deficiência na resistência e quando

se usado em quantidades superiores a esse valor ideal a pozolana agirá como inerte. Este fato pode explicar a perda de resistência no concreto com 5% de substituição.

De acordo com Vieira (2005) a intensidade das reações pozolânicas do resíduo cerâmico com o cimento e portanto um ganho de resistência necessitaria de condições como a composição química e mineralógica da matéria prima utilizada na confecção do produto cerâmico e dos métodos relacionados ao processo de queima da cerâmica vermelha a partir da qual a pozolana foi adquirida, da finura da pozolana usada, do índice de atividade pozolânica, além do tempo de cura no qual o concreto foi submetido após a substituição do cimento pelo resíduo cerâmico, atributos dos agregados utilizados na confecção do concreto, homogeneidade da pasta e fator água/cimento.

Desta forma, o ganho de resistência dos concretos com os teores de substituição pode ter sido pelo efeito filler que o material possui, por ser um composto muito fino, conseguiu fechar os vazios do concreto aumentando assim a resistência.

4.2.2.2. Resistência à tração por compressão diametral

Os valores de resistência à tração foram obtidos pelo rompimento dos corpos de prova dos concretos com e sem substituição de cimento por resíduo cerâmico. Foram rompidos apenas na idade de 28 dias de cura e a média dos valores encontrados para cada teor de substituição estão descritos na (Tabela 10).

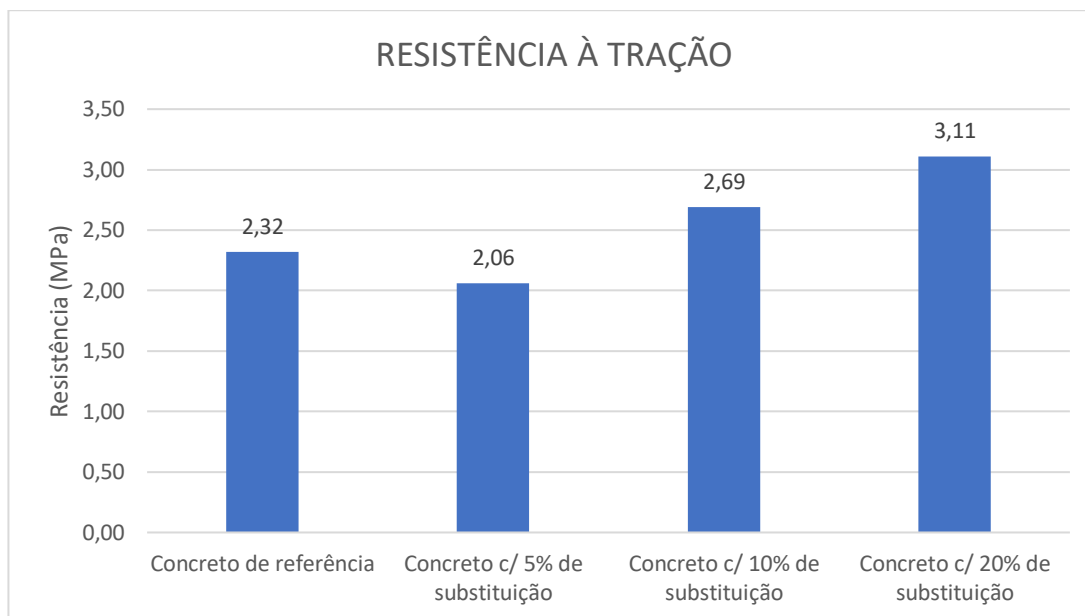
Tabela 10 - Média da resistência a tração dos corpos de prova rompidos aos 28 dias cura

Concreto	Resistência média aos 28 dias (Mpa)
Concreto de referência	2,32
Concreto c/5% de substituição	2,06
Concreto c/10% de substituição	2,66
Concreto c/20% de substituição	3,11

Fonte: autoria própria (2019)

Os resultados adquiridos foram analisados com o concreto de referência, sem o teor de substituição, com o objetivo de verificar a variação de resistência aos 28 dias de cura (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: autoria própria (2019)

Como pode ser observado, para os 28 dias de cura, houve uma perda de 11,21% na resistência do concreto com substituição de 5%, já os concretos de 10% e 20% de substituição, obtiveram um aumento na resistência de respectivamente de 15,95% e 34,05%. O fator de ocasionar um aumento da resistência a tração, também pode ser demonstrado pelo fato de que o resíduo utilizado na fabricação dos concretos, possui um índice de atividade pozolânico alto de 94,79%.

4.2.2.3. Absorção de água e índice de vazios

O ensaio realizado para determinação da absorção de água por imersão dos concretos de referência e com os teores de substituição de cimento por resíduo cerâmico, foram executados conforme as recomendações da NBR 9778 (2009).

A absorção de água por imersão dos concretos de referência e dos concretos com teores de substituição, foi obtida pelas análises realizadas nos CP's após 30 dias de cura. Foram analisados 3 CP's para cada um dos traços, no qual foi determinado os valores de massa seca (m_s), massa saturada (m_{sat}), massa saturada imersa (m_i),

absorção de água, índice de vazios. Os valores médios estão representados na (Tabela 11).

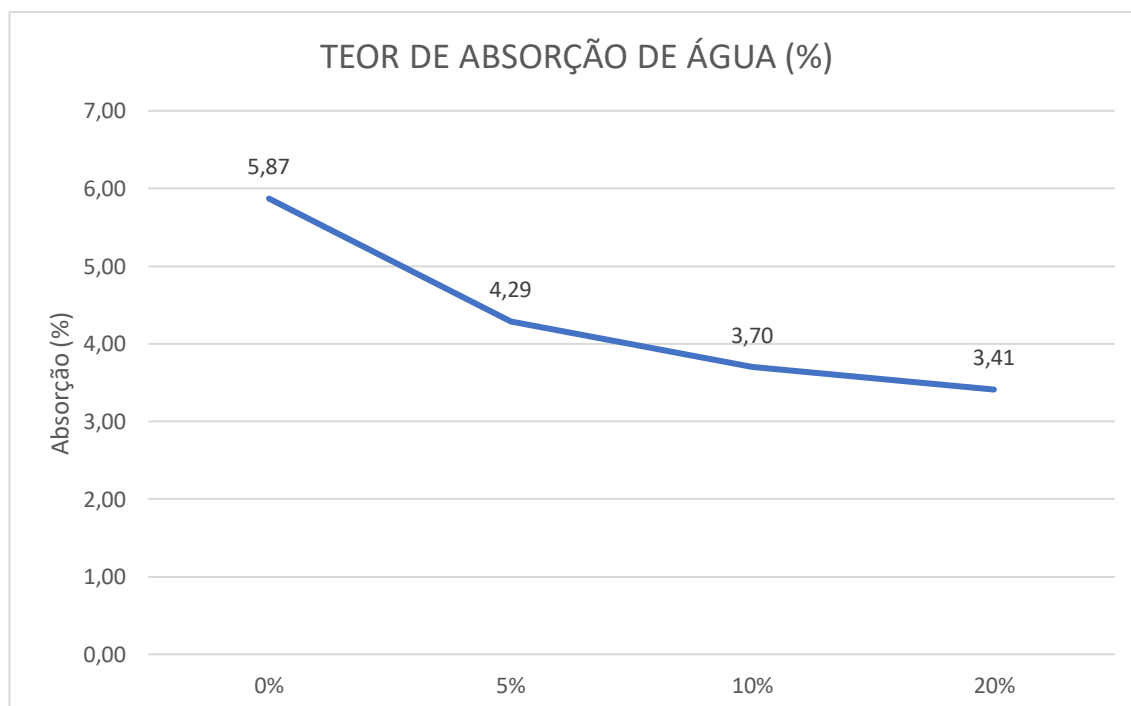
Tabela 11 - Valores médios da massa seca, massa saturada e absorção de água para os diferentes teores de substituição

Concreto	m_{sat} (g)	m_s (g)	Teor de Absorção de Água (%)
Concreto de referência	3675	3471	5,86
Concreto c/5% de substituição	3688	3536	4,29
Concreto c/10% de substituição	3686	3554	3,70
Concreto c/20% de substituição	3651	3530	3,41

Fonte: autoria própria (2019)

O (Gráfico 5) apresenta a variação da absorção em relação ao teor de substituição de cimento por resíduo cerâmico.

Gráfico 5 - Variação da absorção em relação ao teor de substituição de cimento por resíduo cerâmico



Fonte: autoria própria (2019)

Como pode ser observado no (Gráfico 5), demonstra que para todos os valores de substituição, em comparação ao concreto de referência, ocorreu um decréscimo no teor de absorção de água. Os concretos de 5, 10 e 20% diminuíram respectivamente 26,92%, 36,97% e 41,91% em comparação com o concreto de referência. Segundo Vieira (2005) essa redução pode ser explicada pelo fato de que as partículas finamente divididas da pozolana (as que não reage com os produtos de hidratação do cimento), conseguiu fechar os vazios do concreto reduzindo assim sua porosidade, no qual afeta diretamente na durabilidade e resistência do concreto. Outro fator que colabora para fechamento dos poros, são os compostos de Cálcio Aluminato Hidratados (C-A-H), no qual são gerados durante a reação pozolânica, eles atuam apenas como filler, reduzindo também a porosidade da estrutura.

Segundo Isaia *et al* (2000 apud Vieira, 2005) as pozolanas possuem um papel importante quando acrescentada ao cimento Portland, no qual, geralmente, elas aumentam a resistência mecânica e a durabilidade das estruturas de concreto. Um dos mais importantes efeitos, são as mudanças na estrutura porosa ocasionada pela redução dos tamanhos dos grãos, produzidas pelas reações pozolânicas (efeito pozolânico), e o fechamento dos poros e vazios pela atuação dos grãos finamente divididos (efeito filler).

O índice de vazios de cada concreto analisado, foi obtido através da massa seca (m_s), massa saturada (m_{sat}), massa saturada imersa em água após ebulição (m_i). Os valores médios estão representados na (Tabela 12).

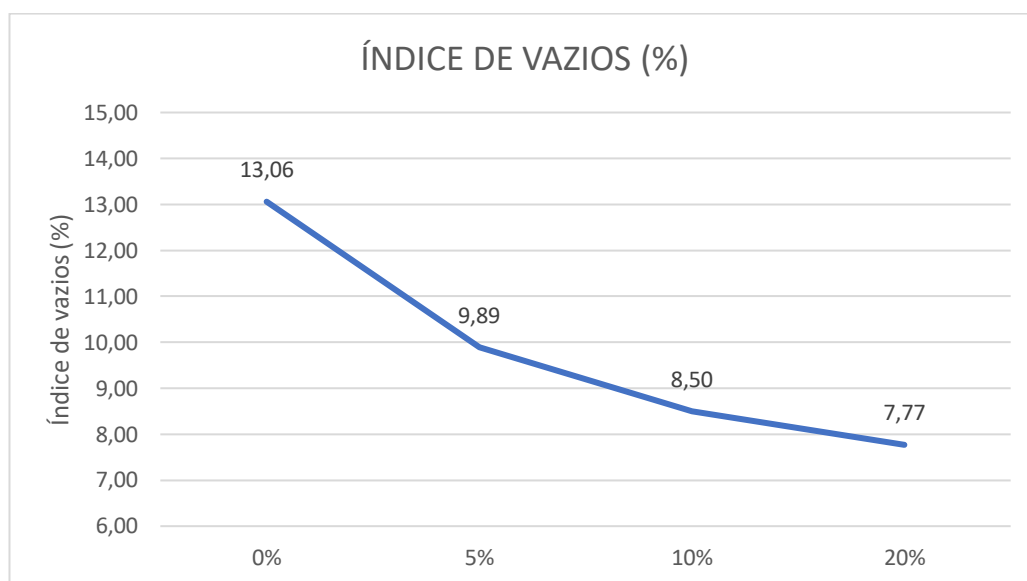
Tabela 12 - Valores médios da massa seca, massa saturada, massa saturada imersa em água após ebulição dos diferentes teores de substituição

Concreto	m_{sat} (g)	m_s (g)	m_i (g)	Índice de vazios (%)
Concreto de referência	3675	3471	2113	13,06
Concreto c/5% de substituição	3688	3536	2153	9,89
Concreto c/10% de substituição	3686	3554	2132	8,50
Concreto c/20% de substituição	3651	3530	2103	7,77

Fonte: autoria própria (2019)

O (Gráfico 6) apresenta a variação do índice de vazio em relação ao teor de substituição de cimento por resíduo cerâmico.

Gráfico 6 - Variação do índice de vazios em relação ao teor de substituição de cimento por resíduo cerâmico



Fonte: autoria própria (2019)

(Gráfico 6) demonstra que para todos os valores de substituição, em comparação ao concreto de referência, ocorreu uma redução no índice de vazios. Os concretos de 5, 10 e 20% reduziram respectivamente 24,27%, 34,92% e 40,51%. A redução pode ser explicada pois o material fino do resíduo cerâmico fechou os vazios do concreto, assim aumentando sua resistência e durabilidade.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, estudou-se a utilização potencial de resíduo da cerâmica vermelha oriundos da indústria cerâmica da cidade de Paraiso – TO, como um material de substituição parcial do cimento Portland para a fabricação de concretos. Dessa forma nesta pesquisa, foram retiradas as seguintes conclusões a partir dos resultados obtidos:

- A amostra de resíduo cerâmico apontou umidade de 2,30%, passando nos requisitos estabelecidos pela NBR 12653 (2014);
- O resíduo cerâmico apresentou um índice de atividade pozolânica de 94,79%, satisfazendo o mínimo de 90% estabelecido pela NBR 12653 (2014);
- Com o aumento dos teores de substituição a consistência do concreto diminuía, tornando os concretos com resíduo cerâmico menos trabalhável que o concreto convencional;
- Apesar do concreto com a porcentagem de 20% de substituição parcial do cimento pelo RCV atingiu a maior resistência entre os teores, obteve uma consistência abaixo do mínimo desejado, devido o resíduo cerâmico ser um material que possui muitos finos isso causa uma maior necessidade de água para se hidratar, portanto sendo necessário a utilização de um aditivo superplastificante para conseguir a consistência desejada;
- O concreto com a porcentagem de 10% de substituição atingiu também uma resistência alta, e obteve uma consistência adequada, portanto sendo o teor de substituição o mais indicado pois conseguiu uma alta resistência e também uma ótima trabalhabilidade;

- O concreto com a porcentagem de 5% de substituição não foi satisfatório pois a resistência desse concreto foi inferior ao de referência;
- Nos concretos, conforme foi aumentando o teor de substituição do cimento por RCV tendeu a diminuir a absorção de água por imersão, demonstrando que o RCV conseguiu fechar os vazios do concreto, sendo importante na durabilidade e no aumento de resistência do concreto.

Conforme os resultados exibidos neste estudo, pode-se concluir que o resíduo cerâmico trouxe benefícios para o concreto nos teores de 10 e 20% de substituição, sendo o teor de 10%, o teor mais indicado pois teve um acréscimo de resistência e também uma ótima trabalhabilidade, tornando-se uma alternativa viável para o aproveitamento do mesmo na confecção de concretos.

Com a utilização dos resíduos cerâmicos como substituto do cimento nos concretos, além de serem benéficos para o concreto, podem reduzir o consumo do cimento conseqüentemente diminuindo a fabricação do cimento, gerando assim benefícios para o ecossistema uma vez que a redução na fabricação reduziria também a emissão de CO₂.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **A versatilidade do cimento brasileiro**. São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>. Acesso em: 24 mar. 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 5752 – Materiais pozolânicos: determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.

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 11579 – Cimento Portland: determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12653 – Materiais pozolânicos: requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15900-1 – Água para amassamento do concreto parte 1: requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16605 – Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16697 – Cimento Portland: requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

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 49 – Agregados miúdo: determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2011.

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

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO – ANFACER. **História da cerâmica: origem da cerâmica no Brasil.**

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** v1. 5ª ed. São Paulo, LTC, 2008.

CARVALHO, João Dirceu. **Um pouco sobre a história do concreto,** Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, DEC, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2008.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; MESQUITA, Pedro Paulo Dias; MELO, Luciane Paiva D'avila. **Cimento. In: Panoramas setoriais: mudanças climáticas.** Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016 p. [31]-37.

CHAMON, Jordanna Vogt. **Estudo da Influência de Adições no Módulo de Elasticidade Dinâmico, na Resistência à Fadiga e na Tenacidade à Fratura para Concretos Convencionais,** Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CORREIA, João Victor Freitas Barros; FRAGA, Yuri Sotero Bomfim. **Propriedades mecânicas de resíduos de cerâmica vermelha como agregado miúdo para a produção de concreto.** Revista Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 4, n.3, p. 89 – 100, Abril. 2018.

COSTA, Armin Gino Boero. **Utilização de resíduos cerâmicos da cidade de Porto Velho na produção de concretos.** 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

COUTO, José Antônio Santos; CARMINATTI, Rafael Lima; NUNES, Rogério Reginato Alves. **O concreto como material de construção.** Sergipe: Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas, 2013 p. [49]-58.

FERREIRA, Ruan Landolfo Da Silva. **Identificação e disposição final dos resíduos sólidos gerados na fabricação de cerâmica vermelha no vale do assú/rn.**2012. 66 f. Monografia (Bacharel) - Universidade Federal Rural Do Semi-árido, Assu, 2012.

GARCIA, E. *et al.* **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de S. Paulo.** Cerâmica, São Paulo, v.61, n. 358, p. 251-258, jun. 2015.

GARCIA, E. *et al.* **Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma alternativa como material pozolânico.** Cerâmica Industrial, São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo: IPT, jun/ago. 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de cimento Portland.** Cap. 29. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICOS - IPT. **Aplicação de cacos cerâmicos.** São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticia/780.htm>. Acesso em: 4 mar. 2019.

MATIAS, G. M. L. **Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica.** 2014. 341 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

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

MENDONÇA, Marcelly de Figueiredo. **Substituição parcial do cimento Portland por cinzas de bambu (*Bambusa Vulgaris*).** 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal do Pará. Belém 2018.

NETTO, Rafael Mantuano. **Materiais pozolânicos.** 2006. 148 p. Monografia (Curso de especialização em construção civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, Adam M. BROOKS, Jeffrey J. **Tecnologia do Concreto.** Tradução por Ruy Alberto Cremonini. 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Paulo Henrique Maximiano de. **Influência da adição de resíduos cerâmicos nas propriedades mecânicas do concreto.** 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga, Formigas, 2014.

PONTES, Jorge Miguel Pires do Nascimento. **Reactividade de pozolanas para argamassas e betões.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006, 345 f. Tese (Doutorado). Porto Alegre, 2006. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

ROSSA JR., J. and PORTELLA, K. F.. **Adição de escória de alto forno em argamassas colantes tipo AC-I**. Cerâmica [online]. 2012, vol.58, n.348, pp.542-548.

SALES, Angela Teresa Costa; ALFERES, Ricardo dos Santos Filho. **Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 113-125, jan./mar. 2014.

SILVA, Elisllayni Lopes. **Utilização de resíduos cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas**. 2013. 55 f. Monografia (Graduação em Ciências e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos, 2013.

SILVA, João Paulo Souza; CARVALHO, Silas Barbosa. **Uso de resíduos de cerâmica vermelha para o melhoramento de camadas de pavimentos de baixo tráfego em Palmas-TO**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientas, [S.l.], p. 41 – 52, jul. 2017.

VIEIRA, Andressa de Araújo Porto. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado – UFPB) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

