

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE PÓ DE RESÍDUO CERÂMICO

RAGASSON, Tainara¹

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento²

RESUMO: Este trabalho analisa a resistência à compressão simples e a tração por compressão diametral do concreto com substituição parcial do cimento Portland por pó de resíduo cerâmico, obtido através da trituração de blocos de vedação, bem como a atividade pozolânica do pó de resíduo cerâmico. A análise do material resultou em uma argamassa com índice de atividade pozolânica de 79,56%. Após essa análise, foram feitas substituições de 20%, 30% e 40% do cimento por pó de resíduo cerâmico. Os ensaios de resistência a compressão simples resultaram em redução da resistência do concreto em 35,4%, 47,6% e 56,7% para as substituições de 20%, 30% e 40%, respectivamente. Os ensaios de tração por compressão diametral resultaram em redução da resistência em 7,7%, 46,7%, 48,4% para as substituições de 20%, 30% e 40%, respectivamente. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a substituição do cimento Portland por pó de resíduo cerâmico nas porcentagens ensaiadas não é viável, visto que reduz significativamente a resistência do concreto.

Palavras-chave: Pozolanicidade, Adições, Viabilidade.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: taainara.ragasson@hotmail.com.

²Docente, Mestre, Engenheira Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de cimento no Brasil no ano de 2018 foi de mais de 52 milhões de toneladas, segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Grande parte desse cimento é utilizado na produção de concreto (CBIC, 2019).

A NBR 12655 (ABNT, 2015), define concreto de cimento Portland como um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento, composta por cimento e água.

Estudos vêm sendo realizados em busca de alternativas ao cimento Portland na produção do concreto, visto que a produção do cimento gera um grande volume de dióxido de carbono, devido à grande quantidade de energia necessária para elevar a temperatura dentro dos fornos rotativos para realizar a reação de clinquerização, e também, pelo processo em si, devido à calcinação da matéria prima, que gera CO₂ (CAMÕES, 2005).

Segundo Metha (2008), cerca de 60% do clínquer do cimento pode ser substituído por outros materiais com propriedades pozolânicas. Exemplos desses materiais são a sílica ativa e o metacaulim, amplamente estudados nas últimas décadas. Outras alternativas ao cimento Portland, que vêm sendo estudadas são as cinzas de casca de arroz, obtidas a partir da sua queima para a geração de energia, bem como as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar.

O pó de resíduo cerâmico é também uma alternativa ao cimento Portland para a produção de concreto, visto que possui propriedades pozolânicas. Segundo Vieira, Souza e Monteiro (2004), a fabricação de cerâmica vermelha no Polo de Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro, correspondia a cerca de 70 milhões de peças por mês. Dessa produção, aproximadamente 90% se referiam a blocos cerâmicos de vedação e as perdas giravam em torno de 1% a 10%, correspondendo de 350.000 a 7.000.000 de peças, mensalmente.

As perdas na produção de cerâmica vermelha são contabilizadas como parte dos resíduos da Construção Civil (RCC). Segundo Pinto (1999), os RCC representam entre 54% e 70% de toda a massa de resíduos sólidos gerada em um município. Esses percentuais equivalem a valores de geração de resíduos entre 0,40 e 0,76 toneladas por habitante/ano.

A partir do que foi exposto, a justificativa para a realização desta pesquisa está na necessidade de encontrar soluções alternativas para o descarte e a reciclagem de parte dos

resíduos da construção civil e das indústrias que alimentam o setor, além de uma possível redução na produção de cimento Portland.

Para Azevedo, Kiperstok e Moraes (2006), a disposição irregular dos resíduos de construção civil pode acarretar na contaminação do solo e das águas, criar pontos de descarte irregulares, que ofereçam abrigo e condições favoráveis ao desenvolvimento de agentes patogênicos, além do aspecto visual desagradável, que influencia diretamente na qualidade de vida da população.

Para tanto, a pergunta a ser respondida com a realização deste estudo é a seguinte: O concreto com adição ativa de pó de resíduo cerâmico em substituição parcial ao cimento Portland terá resistência mínima, de acordo com os parâmetros exigidos pela norma brasileira, para justificar a sua substituição?

Este estudo limita-se à confecção de corpos de prova cilíndricos de concreto produzidos com adição de pó de resíduo cerâmico, em diferentes porcentagens, em substituição parcial ao cimento Portland. Na sequência, foram realizados ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral. O estudo foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos, Estruturas e Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz.

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho tem como objetivo geral analisar a resistência à compressão e tração do concreto, com adição de pó cerâmico, em substituição parcial ao cimento Portland em porcentagens de 20%, 30% e 40%.

Salienta-se que, para o êxito deste trabalho científico, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Verificar a atividade pozolânica da adição de pó cerâmico;
- b) Determinar a resistência à compressão simples dos diferentes concretos;
- c) Determinar a resistência à tração por compressão diametral dos diferentes concretos;
- d) Comparar os resultados de resistências com as amostras de referência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cimento Portland

O cimento é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona certa quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio, conforme a necessidade. É permitido, ainda, adicionar a essa mistura material pozolânico, escórias

granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos nos teores de 1% a 5% (NBR 5732, ABNT 1991).

A produção de cimento Portland gera um grande volume de dióxido de carbono, principalmente devido à vasta quantidade de energia necessária para elevar a temperatura dentro dos fornos rotativos a aproximadamente 1.450°C, necessário para realizar a reação de clinquerização. Para cada tonelada de cimento Portland produzido, aproximadamente 800 kg de CO₂ são emitidos para a atmosfera. 7% das emissões artificiais totais de CO₂ na atmosfera são provenientes da produção do cimento Portland (CAMÕES, 2005).

A resistência à compressão do cimento Portland, segundo a NBR 5732 (ABNT, 1991), para a classe 32, deve ser igual ou maior a 10,0 MPa aos três dias de idade, maior ou igual a 20,0 MPa aos 07 dias de idade e maior ou igual a 32,0 Mpa, aos 28 dias de idade. O limite superior desta classe é de 49,0 MPa.

2.2 Concreto de cimento Portland

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), concreto de cimento Portland é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados graúdo e miúdo e água, que desenvolvem suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento, composta por cimento e água.

Segundo Petrucci (1995), agregados são materiais granulares em estado inerte, que apresentam características adequadas para o uso em obras de engenharia. Quando adicionados ao concreto, são capazes de reduzir custos, retração e aumentar a resistência ao desgaste sem diminuir a resistência a esforços mecânicos, pois, em geral, os agregados possuem resistência maior à resistência do cimento.

A NBR 7211 (ABNT, 2009), determina que os agregados graúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, a partir de ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Já os agregados miúdos são compostos por grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, também segundo ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

A dosagem é o processo pelo qual é determinada a proporção mais econômica dos materiais constituintes do concreto: cimento, agregados, água e aditivos de forma que o produto final atinja as propriedades físicas, químicas e mecânicas necessárias de acordo com a sua

utilização. Dosar o concreto está associado, também, ao custo, portanto, a dosagem trata-se de encontrar o concreto mais adequado, econômico e que apresente o desempenho planejado (RECENA, 2011).

2.3 Substituições ao cimento Portland em concreto

Materiais pozolânicos são substâncias naturais ou industriais, silicosos ou silicoaluminosos. Não endurecem por si próprios quando misturados com água, mas obtêm essa propriedade ao reagir, em temperatura ambiente, com hidróxido de cálcio dissolvido, para formar compostos de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio, que desenvolvem resistência mecânica. Esses compostos são similares àqueles que são formados no endurecimento de cimentos hidráulicos (JACKSON, 2004).

Segundo Metha (2008), aproximadamente 60% da massa de clínquer presente no cimento pode ser substituída por outros materiais. Barros (2015) realizou um estudo para avaliar a resistência mecânica de concretos produzidos com adição de metacaulim e sílica ativa em comparação ao concreto convencional. Os estudos evidenciaram um aumento de resistência à compressão do concreto para as amostras com substituição de 10% e 15% de sílica ativa e metacaulim, aos vinte e oito dias.

Entre os demais materiais estudados estão as cinzas de casca de arroz, que são obtidas após sua queima para a geração de energia. Devido às suas propriedades pozolânicas, esse material tem sido utilizado na indústria da construção civil, em substituição ao cimento Portland (TASHIMA, 2012).

Teodoro (2013) estudou concretos utilizando cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial ao cimento. Os aspectos analisados foram o abatimento de tronco de cone e a resistência à compressão axial. Concluiu-se que a resistência à compressão obteve resultados semelhantes ao concreto de referência de traço convencional.

Desir *et al.* (2005), em sua pesquisa, adicionaram resíduo de tijolo moído ao concreto, em teores de 15% e 50% e obtiveram resultados que apontaram propriedades pozolânicas, que se confirmaram na curva de evolução de resistência no tempo do concreto.

Estudos foram realizados também por Carneiro, Moura e Leite (2009), e resultaram em ganho de resistência de aproximadamente 19% em argamassa, com substituição do cimento por resíduos moídos de material cerâmico em 10%. Já a argamassa com teor de substituição de 20%, apresentou um decréscimo de 5% na resistência mecânica.

Oliveira, Gomes e Santos (2012), também estudaram a adição de resíduos de cerâmica vermelha, tijolos e telhas, em substituição parcial do cimento, em concretos e argamassas. O índice de atividade pozzolânica foi determinado por ensaios em argamassa com teores de substituição do aglomerante de até 40%. Os resultados obtidos confirmavam a atividade pozzolânica do resíduo, viabilizando sua incorporação em argamassas e concretos.

Sales e Filho (2014) caracterizaram o pó de resíduo cerâmico química e microestruturalmente através de ensaios de difração de raios X e por fluorescência de raios X. Os ensaios mostraram que as maiores concentrações de óxidos foram para a sílica, em média de 56,25%, e para a alumina, com 15,32%, correspondendo a 71,57% do total da composição da amostra, atendendo ao critério da norma NBR 12653 (ABNT, 2014), que exige que materiais pozzolânicos da classe N, como é classificada a adição em questão, possuam, no mínimo, 70% de sílica, alumina e óxido de ferro juntos.

2.4 Traço e dosagem do concreto

De acordo a NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento (ABNT, 2015), o traço do concreto é a expressão das quantidades de seus componentes, seja em massa ou volume, ou ainda, por quantidade de materiais por metro cúbico de concreto.

De quatro partes do volume de concreto, três partes do volume são ocupadas pelos agregados graúdos e miúdos. A qualidade dos agregados é de suma importância, pois esta pode influenciar na resistência do concreto, e comprometer sua durabilidade e desempenho estrutural (NEVILLE, 1997).

A composição granulométrica dos agregados, isto é, a proporção em que se encontram os grãos dos agregados, tem importante influência sobre a qualidade dos concretos, agindo na compactidade e resistência (HELENE e TERZIAN, 1992).

O conhecimento do teor de umidade é de extrema importância no estudo dos agregados miúdos para a determinação do traço do concreto. Como os agregados miúdos são entregues em obra com certa umidade, é necessário realizar determinações periódicas de seu teor de umidade, para corrigir a quantidade de água que deverá ser empregada na confecção das argamassas e concretos, além de a areia sofrer um fenômeno conhecido como inchamento, no qual seu volume aumenta devido à presença de água (PETRUCCI, 1995).

No Brasil, ainda não há uma norma que defina de que forma deve ser realizado o estudo de dosagem de concreto, o que tem levado vários pesquisadores a proporem seus próprios métodos de dosagem (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de uma análise das propriedades do concreto com adição de 20%, 30% e 40% de pó de resíduo cerâmico em substituição parcial ao cimento Portland a partir de ensaios de compressão e tração, realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos, Estruturas e Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz.

O estudo foi realizado pelo método qualitativo, pois foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com concreto com diferentes teores de adição de pó de resíduo cerâmico. Essas amostras foram submetidas a ensaios para determinação de resistência à compressão e à tração.

3.2 Caracterização da amostra

3.2.1 Preparação do pó de resíduo cerâmico

Para a preparação do material utilizado, em substituição parcial ao cimento Portland, foi realizada a trituração de resíduos de cerâmica vermelha, especificamente blocos de vedação. Os resíduos cerâmicos foram moídos em um triturador mecânico até se obter uma granulometria em que prevaleceu a presença de pó, com grãos menores que 75 µm.

O material foi peneirado na peneira de abertura de 75 µm, para a determinação do módulo de finura, de acordo com a NBR 11579 - Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) (ABNT, 2012). O índice de finura foi calculado conforme equação 1:

$$F = \frac{RC}{M} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

F = índice de finura do material (%);

R = resíduo do cimento na peneira 75 µm (g);

M = massa inicial do material (g);

C = fator de correção da peneira utilizada no ensaio, devendo estar compreendido no intervalo de $1,00 \pm 0,20$.

Segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014), o teor máximo de material retido nessa peneira, para todas as classes de material pozolânico, é de 34%.

3.2.2 Verificação da atividade pozolânica

Para a verificação da atividade pozolânica do pó de resíduo cerâmico, segundo a NBR 5752 (ABNT, 2014), devem ser moldados três corpos de prova de argamassa de cimento Portland convencional e três corpos de prova de argamassa de cimento Portland, com substituição de 25% do cimento por pó de resíduo cerâmico, todos com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Foram moldados três corpos de prova de argamassa de cimento Portland convencional e três corpos de prova de argamassa de cimento Portland, com substituição de 25% do cimento por pó de resíduo cerâmico. Após cura submersa por 28 dias, procedeu-se a ruptura dos corpos de prova para análise da resistência, conforme Figura 1. O índice da atividade pozolânica foi obtido através da equação 2:

$$\frac{f_{CB}}{f_{CA}} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

Onde:

f_{CB} = resistência média dos corpos de prova com cimento e material pozolânico (MPa);

f_{CA} = resistência média dos corpos de prova moldados apenas com cimento (MPa).

Figura 1: Ruptura dos corpos de prova de argamassa



Fonte: Autora (2020).

3.3 Dosagem e traço do concreto

O traço do concreto executado foi determinado por Sales e Filho (2014), seguindo o método do ACI/ABCP, a partir de uma resistência característica à compressão (f_{ck}) de 20 Mpa, aos vinte e oito dias de cura do concreto.

O traço foi mantido constante para todas as misturas, sendo de 1:1,56:0,81:1,88, de cimento CP II Z-32, areia média, brita 0 e brita 1. A relação água/cimento também foi mantida constante em 0,45.

3.4 Determinação de consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone

O ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, também conhecido como *slump test*, é um ensaio que permite controlar a uniformidade do concreto, mesmo produzido em diferentes betonadas, mantendo um padrão de qualidade e resistência, de uma forma simples e convincente. (GEYER e RESENDE, 2006).

Para a realização do ensaio foram seguidas as especificações da NBR NM 67 (ABNT, 1998). O molde foi preenchido com concreto em três camadas iguais, cada uma compactada com 25 golpes da haste de socamento, conforme a Figura 2. Na sequência, o molde foi removido e foi determinado o abatimento, estabelecido em $80 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$.

Figura 2: Determinação da consistência do concreto



Fonte: Autora (2020).

3.5 Determinação da resistência à compressão do concreto

Para a determinação da resistência à compressão do concreto, a norma NBR 5739 (ABNT, 2018) indica que seja realizado um ensaio conforme o exposto a seguir.

Um carregamento de ensaio foi aplicado nos corpos de prova com idade de vinte e oito dias, continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s. A velocidade de carregamento foi mantida constante durante todo o ensaio. O carregamento cessou a partir do momento em que houve queda de força, indicando ruptura da amostra, conforme a Figura 3.

Figura 3: Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autora (2020).

A resistência à compressão do concreto foi determinada por meio do *software* específico da prensa hidráulica da marca Pavitest, que foi utilizada na realização dos ensaios.

3.6 Determinação da resistência à tração por compressão diametral

A determinação da resistência à tração seguiu os critérios da norma NBR 7222 (ABNT, 2011).

O corpo de prova foi disposto sobre o prato da máquina de ensaio de forma que só houve contato ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas do corpo de prova. Estando o corpo

de prova em repouso, foi aplicada continuamente, sem choque, uma carga com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $0,05 \pm 0,02$ MPa/s, até a ruptura do corpo de prova, conforme a Figura 4.

Figura 4: Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autora: (2020).

O valor da resistência à tração foi determinado pelo *software* da prensa hidráulica.

3.7 Análise dos dados

Após a coleta de dados através da realização dos ensaios, foi realizada a respectiva análise por meio da revisão bibliográfica, comparando os valores de resistência do concreto de referência com os valores de resistência dos concretos, com a substituição parcial do cimento Portland.

4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

O estudo estatístico dos dados, bem como a comparação com bibliografia pertinente e dados de estudos semelhantes, indicou se algum dos teores de substituição de cimento Portland por pó de resíduo cerâmico no concreto possui a resistência exigida por norma para viabilizar sua utilização.

4.1 Características do pó de resíduo cerâmico

O teor de pó de resíduo cerâmico retido na peneira com abertura de 75 μm foi de 32%. A NBR 12653 (ABNT, 2014) fixa o teor máximo de material retido nessa peneira, para todas as classes de material pozolânico, em 34%, portanto, o índice de atividade pozolânica obtido, de 79,56%, está em conformidade com o exigido pela NBR 12653 (ABNT, 2014), que fixa que todas as classes de material pozolânico, com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, tenham, no mínimo, 75% de índice de atividade pozolânica.

Os resultados dos ensaios de compressão das argamassas estão expostos no Quadro 1.

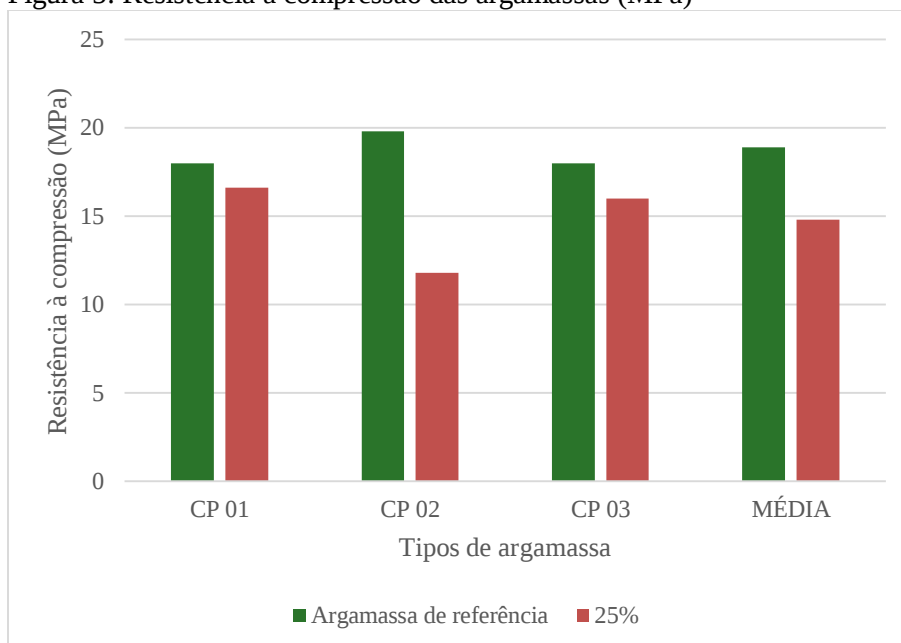
Quadro 1: Resistência à compressão da argamassa (MPa)

	Argamassa de Referência	Substituição de 25%
CP 01	18,0	16,6
CP 02	19,8	11,8
CP 03	18,0	16,0
MÉDIA	18,6	14,8

Fonte: Autora (2020).

A Figura 5 contém um gráfico com as resistências obtidas para cada tipo de argamassa ensaiada, bem como a média das resistências.

Figura 5: Resistência à compressão das argamassas (MPa)



Fonte: Autora (2020).

4.2 Determinação da resistência à compressão do concreto

O Quadro 2 expressa os valores obtidos no ensaio de compressão axial realizado com três corpos de prova de referência e três corpos de prova de cada concreto, com substituição parcial do cimento. A resistência à compressão para cada concreto foi obtida através da média das resistências de cada corpo de prova.

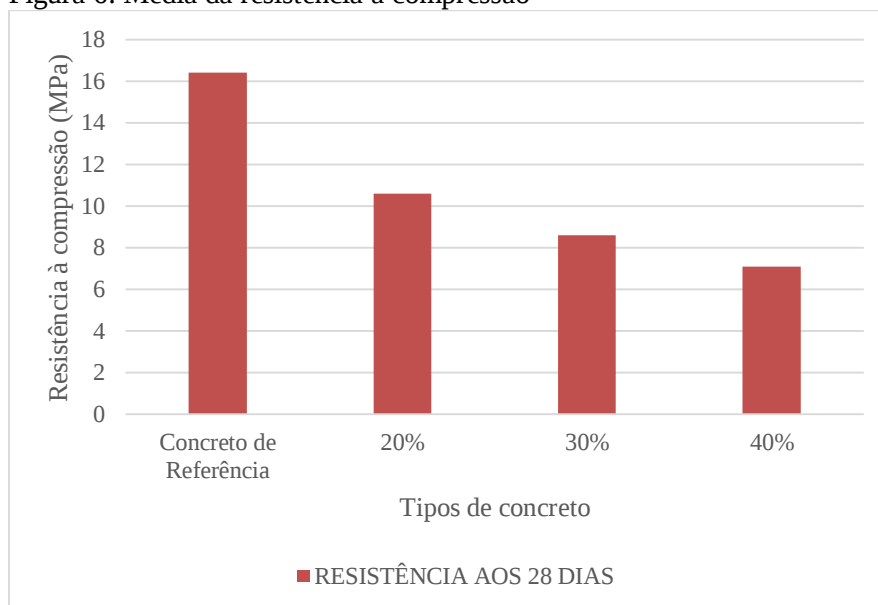
Quadro 2: Resistência à compressão (MPa)

	Concreto de Referência	Substituição de 20%	Substituição de 30%	Substituição de 40%
CP 01	15,9	10,4	9,2	6,7
CP 02	17,5	10,6	8,4	7,0
CP 03	15,9	10,9	8,3	7,6
MÉDIA	16,4	10,6	8,6	7,1

Fonte: Autora (2020).

A Figura 6 contém um gráfico com a média das resistências obtidas para cada tipo de concreto ensaiado.

Figura 6: Média da resistência à compressão



Fonte: Autora (2020).

Analisando os resultados expostos no Quadro 1 e na Figura 5, observa-se uma redução de 35,4% na resistência do concreto, com substituição de 20% em relação ao concreto de referência. Já o concreto com substituição de 30% teve redução de 47,6% da resistência. O concreto com substituição de 40% do cimento teve redução de 56,7% da resistência aos 28 dias.

A NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), fixa a resistência mínima do concreto para fins estruturais em 20 MPa, utilizado em fundações. A resistência média do concreto com substituição parcial de 20% foi de 10,6 MPa, valor inferior ao exigido por norma.

4.3 Determinação da resistência à tração por compressão diametral

Os valores obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral estão expostos no Quadro 3. Foram realizados ensaios com três corpos de prova de referência e três corpos de prova de cada concreto, com substituição parcial do cimento.

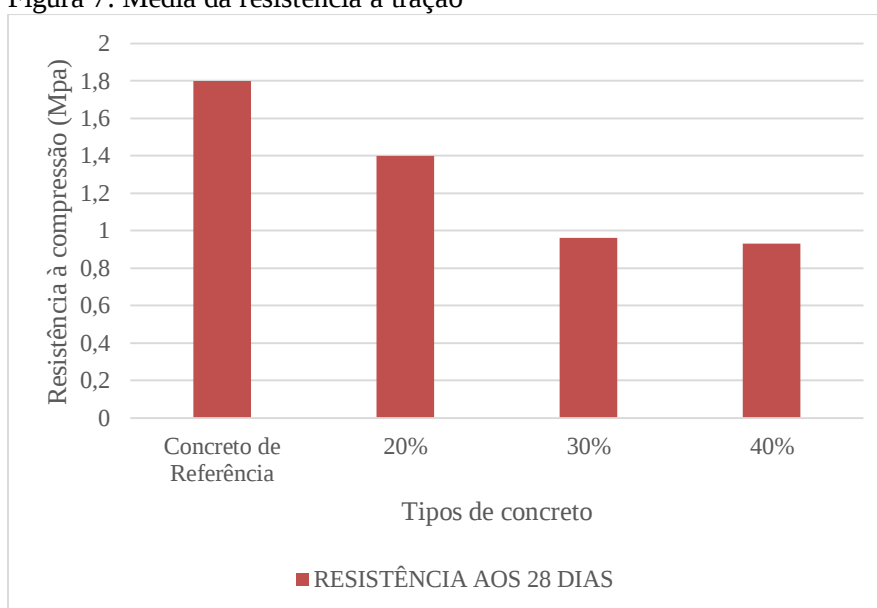
Quadro 3: Resistência à tração (MPa)

	Concreto de Referência	Substituição de 20%	Substituição de 30%	Substituição de 40%
CP 01	1,8	1,7	0,9	0,9
CP 02	1,6	1,2	1,1	1,0
CP 03	2,0	1,3	0,9	0,9
MÉDIA	1,8	1,4	0,96	0,93

Fonte: Autora (2020).

A Figura 7 contém um gráfico com a média das resistências à tração obtidas para cada tipo de concreto ensaiado.

Figura 7: Média da resistência à tração



Fonte: Autora (2020).

A partir dos resultados expostos no Quadro 2 e na Figura 7, pode-se observar uma redução de 7,7% na resistência aos 28 dias do concreto, com substituição de 20% em relação ao concreto de referência, redução da resistência em 46,7% no concreto, com substituição de 30% e redução de 48,4% da resistência do concreto, com substituição de 40% do cimento.

A resistência à tração do concreto, segundo a NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento (ABNT, 2014), é de 10% do valor da resistência à compressão. Os dados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral estão de acordo com o exigido pela norma.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014) fixa a resistência mínima de 15MPa para o concreto para uso estrutural. A partir dos ensaios realizados, a maior resistência média obtida foi de 10,6 MPa, o que inviabiliza a utilização do concreto com substituição parcial do cimento Portland em 20%, 30% e 40% para fins estruturais.

Sales e Filho (2014), em estudo semelhante, obtiveram resultados de redução de 11% da resistência para a substituição de 10% do cimento por pó de resíduo cerâmico, aumento de 11% para a substituição de 20% do cimento e 17% de redução para a substituição de 40% do cimento. O pó de resíduo cerâmico foi analisado por FRX e mostrou concentrações de sílica e alumina correspondendo a 71,57% do total do material.

Substituições parciais do cimento Portland por pó de resíduo cerâmico em porcentagens menores, de 5% a 10%, ou o uso de aditivos, bem como o controle de qualidade do material a ser adicionado ao concreto, são alternativas para melhorar a resistência do concreto e viabilizar a substituição proposta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732: Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200).** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

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

AZEVEDO, G., KIPERSTOK, A., MORAES L.R.S. **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável.** Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 2006.

BARROS, T. C. M. F. **Análise da resistência mecânica de concretos produzidos com adição de metacaulim e sílica ativa em comparação ao concreto convencional.** [Trabalho de conclusão de curso]. Universidade Católica de Pernambuco, Brasil. 2015

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Cimento (Consumo, Produção e Valores de Materiais de Construção), 2020.** Disponível em <http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento> Acesso em: 13 mar.2020.

CAMÕES, A. Betões de elevado desempenho com volume de cinzas volantes. **Revista de Engenharia Cívil.** Guimarães, n. 23, Azurém, Portugal:2005.

CARNEIRO, V. L., MOURA, W. A., LEITE, M. B. Influência do Uso de Resíduo de Cerâmica Vermelha e Finos de RCD Como Substituição Parcial de Cimento, Para Produção

de Argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO. **Anais...** Feira de Santana: UEFS, 2009.

DESIR, J. M. *et al.* Avaliação da Contribuição da Atividade Pozolânica do Resíduo de Tijolo Moído na Resistência de Argamassas. In: INTER AMERICAN CONFERENCE ON NONCONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN ECOLOGICAL AND SUSTAINABLE CONSTRUCTION, Rio de Janeiro, 2005. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Universidade Estadual Norte Fluminense, 2005

GEYER, A. L. B.; RESENDE, R. Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco. **Informativo Técnico Realmix**, 2ª Edição, 2 de julho de 2006.

HELENE, P. R. L.; TERSIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI; Brasília: SENAI, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Concreto e Construções**. v.53. São Paulo: 2009.

JACKSON, P. J. Portland Cement: classification and manufacture. In: HEWLETT, P. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**. Elsevier Science & Technology Books. New York, 2004.

METHA, P.K. Concreto sustentável – **Revista Téchné**. Ed. 139, 2008. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/139/concreto-sustentavel-287584-1.aspx>. Acesso em: 05 set. 2019.

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

OLIVEIRA, L. A. P., GOMES, J. P. C., SANTOS, M. S. S. The Potential Pozzolanic Activity of Glass and Red-Clay Ceramic Waste as Cement Mortars Components. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 197-203, 2012.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13 ed. São Paulo: [s.n.], 1995.

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

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 3 ed. Porto Alegre: EdUPUCRS, 2015

SALES, A. T. C., FILHO, R. dos S A. 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.

TASHIMA, M. M. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**, p. 151-163, 2012.

TEODORO, P. E. Comportamento físico mecânico do concreto com substituição de cimento portland por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 2, p. 22-27, 2013.



VIEIRA, C. M. F., SOUZA, E. T. A., MONTEIRO, S. N. Efeito da Incorporação de Chamote no Processamento e Microestrutura da Cerâmica Vermelha. **Cerâmica**, v. 50, n. 315, p. 254-260, 2004.