

SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CERÂMICAS VERMELHAS EM ARGAMASSAS

Wellery Jadson Pereira Moura¹, Filipe Lima dos Santos²

¹ Discente do curso de ciência e tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido

² Docente do curso de ciência e tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Resumo: A indústria da construção civil é responsável por gerar uma grande quantidade de resíduos, quando não descartados corretamente esses resíduos causam uma série de problemas ao meio ambiente. Dentre esses materiais descartáveis estão presentes os resíduos de cerâmica vermelha (RCV), podendo ser empregados no setor civil como substituinte de alguns componentes presentes no setor. Contudo, esse estudo busca indicar formas apropriadas onde o RCV pode ser reutilizado, como no próprio âmbito da construção civil, como substituinte parcial do cimento em argamassas. Todavia, analisando se as substituições de 10, 20 e 40% irão influenciar nas propriedades da argamassa, como a consistência e a resistência, não comprometendo assim o seu emprego. Mediante os ensaios realizados do índice de consistência e resistência a compressão e com os resultados obtidos, conclui-se que o reaproveitamento dos resíduos de cerâmicas vermelhas podem ser utilizados como componentes nas argamassas em substituição parcial do cimento. Contudo, a substituição ocasionou uma perda de resistência e um aumento na consistência gradativa, ou seja, a medida que o teor de substituição foi aumentada. Ocasionalmente pelo RCV não apresentar quantidades suficientes de pozolanas, como no cimento. Com isso, ressalta-se a importância de novas pesquisas e análises no setor estudado, para verificar com precisão a interação entre a água, o cimento e esses resíduos. Podendo assim, validar o emprego do RCV no setor.

Palavras chaves: Resíduos, cerâmica vermelha, argamassa, construção civil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por impactos ambientais, sociais e econômicos consideráveis, em razão de possuir uma posição de destaque na economia brasileira [1]. Visto que esse meio é um forte índice de desenvolvimento econômico de um país, correlacionando-se proporcionalmente. A medida que a organização de uma sociedade apresenta potencial decrescimento no âmbito socioeconômico, um dos primeiros setores a entrar em decadência é o da construção civil. Contudo, ocorre o oposto quando a mesma está em crescimento, observando-se assim um equilíbrio entre o desenvolvimento de um país e o campo da indústria da construção civil.

Sendo o setor responsável por parcela do progresso estrutural e econômico de um país, o mesmo também é encarregado de gerar impactos ambientais na natureza e na sociedade, sendo um dos grandes pioneiros no âmbito da degradação e poluição do meio ambiente. Sendo pela utilização de recursos naturais, ou por poluição ambiental por meio dos resíduos da construção, ou ainda mudanças paisagísticas de um determinado local.

Segundo Karpinski [1], o setor da construção civil apresenta grandes volumes de materiais e de atividades nos canteiros de obras, o que acaba gerando um elevado índice de resíduos que são produzidos nas áreas urbanas, depositados de maneira indistinta e desregrada em locais de fácil acesso, como em terrenos baldios. O setor tem o desafio de conciliar uma atividade produtiva dessa magnitude com condições que conduzam a um desenvolvimento sustentável consciente e menos agressivo ao meio ambiente [2].

Ademais, os resíduos produzidos pelo setor vão desde a produção de telhas e tijolos nas cerâmicas vermelhas, como também a implantação do canteiro de obra até a finalização da construção. Todavia, também inclui-se os resíduos de demolições de construções. Os resíduos de construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e também os resultantes da preparação e da escavação de terrenos [3].

Contudo, O setor cerâmico equivale a 1,0 % do PIB brasileiro, sendo que só a cerâmica vermelha estrutural representa cerca de 40% desse valor e 4,8% da indústria da construção civil [4]. Assim, além de apresentar uma importante porcentagem na produção da construção civil, o setor também aponta uma grande parcela de resíduos descartados. Tanto no processo de produção na indústria, ou seja, na cerâmica vermelha. Como também o descarte na construção, seja pelo manuseio ou transporte inadequado, ou pela quebra do tijolo e outras matérias no assentamento, feito sem um procedimento adequado. Portanto esse material quebrado é descartado quando não reutilizado.

Destarte, observa-se então que é de extrema importância que haja um apelo social com o intuito da elaboração de métodos para a reutilização dos resíduos da construção civil, utilizando assim métodos cíclicos onde as matérias possam voltar para o início do ciclo de produção quando descartados. Beneficiando assim o meio ambiente e o desenvolvimento social e urbano de cidades.

O desenvolvimento de novos materiais esteja não somente ligado aos aspectos econômicos, mas também aos aspectos ambientais e sociais. De tal forma que esse desenvolvimento fundamenta-se em uma produção e consumo sustentável [5].

Mediante o crescimento da quantidade de resíduos no setor da construção civil, verifica-se que os resíduos de cerâmicas vermelhas tem potencial para serem reutilizados, constituindo assim o consumo sustentável. Esse

aproveitamento pode ocorrer por meio da transformação do resíduo de cerâmica vermelha em materiais que compõem o concreto.

Contudo, visto que a indústria da cerâmica vermelha tem um forte papel na economia do Brasil, por a sua quantidade exacerbada em território nacional. O resíduo dessas cerâmicas poderiam servir como uma alternativa para reutilização dos mesmos, empregando-os parcialmente em componentes para argamassas. Gerando assim uma sustentabilidade ambiental e uma diminuição de custos.

O resíduo de cerâmica vermelha é uma mistura constituída por blocos cerâmicos, telhas cerâmicas, etc. A redução e o reaproveitamento desse material pode minimizar o consumo de recursos naturais e energéticos, o que significa a também uma redução de gastos [6]

Todavia, a substituição de cimentos na composição do concreto pelos resíduos de cerâmicas vermelhas podem ser benéficos proporcionando a diminuição de utilização de recursos não renováveis. Como no caso do cimento, que necessita da mineração do calcário para a sua fabricação, fazendo assim a extração desse minério em grandes pedreiras. Ademais, a utilização dos resíduos como agregados nas argamassas também é um fator importante a salientar-se, substituindo assim a finalidade das rochas servidas como agregados graúdos e miúdos.

O objetivo principal do estudo é analisar se a utilização de resíduos de cerâmicas vermelhas como componente das argamassas é utilizável, sem comprometer as propriedades das mesmas, como a consistência e a resistência a compressão e verificar se os resíduos apresentam material pozolânico suficientes para não influenciar nessas características. Aplicando parcialmente a substituição do cimento pelo teor de 10, 20 e 40% do resíduo.

2 DESENVOLVIMENTO

No desenvolvimento do estudo serão expostos tópicos como o referencial teórico da pesquisa, assim como também a metodologia que foi empregada na realização da pesquisa e consequentemente os resultados e discursões provenientes dos ensaios realizados.

2.1 Referencial teórico

Nesse referencial serão abordados temas como a história da argamassa até se torna utilizável como atualmente, caracterização dos materiais usados nas argamassas e os estudos já realizados no mesmo setor, juntamente com seus resultados adquiridos, afim de evidenciar a pesquisa realizada.

2.1.1 Histórico

Desde por volta de 5000 a 6000 a.C., o homem já utilizava-se de materiais para unir elementos de naturezas diferentes na construção de edificações, como espécie de um aglomerante. No qual o aglomerante que têm-se ideia de utilizado primeiramente teria sido a cal, em um tipo rudimentar. Empregada desde a época das grande pirâmides do Egito [7].

Contudo, posteriormente para melhorar o desempenho do aglomerante, os egípcios utilizaram-se de misturas de cinzas vulcânicas, obtendo-se assim a mistura de cal e pozolana. Portanto, pode-se ser considerado um dos primeiros aglomerantes empregados no âmbito da construção civil, gerando construções que são conhecidas até hoje.

No Brasil, os aglomerantes são empregados desde o primeiro século do país. Derivados principalmente da cal produzida a partir da calcinação de conchas marinhas, presente em abundância em depósitos na Bahia. Com a cal faziam-se as argamassas que posteriormente seriam empregadas no assentamento de alvenaria de pedra [8].

[7], enfatiza que o cimento Portland como conhecemos hoje, é derivado desses primeiros aglomerantes. Porém, defasado em séculos por causa de interferências do período obscuro da Idade Média.

2.1.2 Argamassas de cimento Portland

A argamassa pode ser identificado como um material oriundo da misturas de outros constituintes. Que são os materiais inertes, de baixa granulometria (agregados miúdos) e dois outros componentes servidos como aglomerantes, cimento e cal. Podendo ainda haver a adição de aditivos. Contudo, os componentes são misturados por meio da presença de água [9].

[10], define-se argamassa para revestimentos como “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Além disso encontra-se diversos termos e especificações sobre os tipos de argamassa e qual a sua finalidade, como reboco, revestimentos, chapisco, emboço, entre outros. Contudo, nota-se que o cal e o cimento são os aglomerantes citados pela norma, e juntamente são apresentadas outras definições como:

- Argamassa de cal: argamassa preparada com o cal como único aglomerante;
- Argamassa de cimento: argamassa preparada com o cimento como único aglomerante;
- Argamassa comum: argamassa simples ou mista, no qual suas propriedades dependem da proporção e dos tipos de agregados;

- Adições: materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja a quantidade é levada em consideração na proporção;
- Revestimentos: é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

2.1.3 Componentes da argamassa

As argamassas são compostas essencialmente por agregados miúdos (areia), água, e aglomerante. No qual são utilizados necessariamente o cimento, e dependendo da demanda emprega-se também a cal, contudo essa pode ser substituída pelo gesso.

2.1.3.1 Cimento

Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin observou que um pó fino obtido através da mistura entre a queima da pedra do calcário e da argila, e posteriormente dissolvida em água apresentava grande resistência após a secagem, tão quanto as pedras utilizadas nas construções. Foi-se então o construtor patenteou a mistura no mesmo ano e batizou de cimento Portland. Em referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra [11].

[11], define o cimento como um pó fino com propriedades aglomerantes que endurece sob a ação de água. Além de se moldar, apresentando diversas formas e volumes no seu estado de concreto, variando assim sua forma mediante a necessidade de cada caso. Isso justifica o cimento ser o segundo material mais consumido pelos humanos, atrás somente da água.

2.1.3.2 Agregado miúdo

Agregados na construção civil são materiais com granulometria, formas e volumes diferentes. Esses agregados podem ser artificiais ou naturais, naturais como a areia, cascalho, e são encontrados na natureza. Já os artificiais são retirados da natureza e passados por algum processo industrial para atenderem nas prescrições das normas estabelecidas, exemplo de agregados artificiais são a pedra britada, argila expandida, escória de alto-forno. Os agregados estão presentes em excesso no Brasil e no mundo [12].

“Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.” [13]. Ou seja, após o ensaio de peneiramento dos agregados, agregado miúdo é aquele material que fica entre as peneiras de 0,075mm e 4,75mm

A areia é caracterizada pelo seu módulo de finura, no qual as granulometrias são especificadas no intervalo de certas faixas. Podendo haver assim diversas curvas granulométricas que atinjam o mesmo módulo de finura. Módulo de finura é a “soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.” [13]. A mesma norma classifica a areia segundo seu módulo de finura da seguinte forma:

- Areia Fina: de 0,075 a 0,42 mm;
- Areia Média: de 0,42 a 1,2 mm;
- Areia Média: de 0,42 a 1,2 mm

2.1.3.3 Água

[14], a água é utilizada em quase todos os processos na engenharia. Seja sendo utilizada como componente essencial nos concretos e argamassas, sendo um dos constituintes mais importante e mais utilizado no setor, ou como ferramenta de limpeza, cura de corpos de prova e resfriamento. Ressalta-se também que a qualidade da água irá influenciar diretamente em toda a estrutura da obra, tanto na qualidade como na segurança.

A água utilizada não deve conter impurezas e apresentar certas qualidades químicas. Além do mais, a mesma deve conter os parâmetros técnicos estabelecidos por normas, afim de que a pasta de cimento após a mistura apresente uma certa homogeneidade [14].

2.1.3.4 Aditivos

[15], afirma que aditivos são produtos adicionados aos concretos ou as argamassas com o intuito melhor qualificar esses os mesmo, influenciando assim nas suas principais propriedades, melhorando assim algumas delas. Os aditivos são feitos em poucas quantidades.

Aditivos são produtos adicionados ao concreto ou a argamassa no processo de mistura dos componentes. Com o intuito de qualificar algumas propriedades desses materiais no seu estado de pasta, assim como também após o endurecimento. Os adequando-os melhor ao setor que eles serão empregados [16].

2.1.4 Resíduos de cerâmicas vermelhas como adição

A cerâmica vermelha é produzida na sua indústria a partir da calcinação, a altas temperaturas, da massa de argila. Depois de passar por um processo longo de retirada da água presente no material, ou seja, processo de secagem. As cerâmicas vermelhas são classificadas principalmente pela sua aparência, cor, geralmente sendo brancas ou vermelhas [17]. Os resíduos desses materiais são obtidos principalmente mediante a reciclagem da produção, do manuseio e do transporte inadequado. Servindo assim para serem empregados em outros âmbitos do setor da construção civil.

Estudos anteriores utilizando resíduos de cerâmica vermelha como adição no concreto ou na argamassa, obtiveram resultados que mostram que esses materiais quando adicionados a mistura, apresentam propriedades pozolânicas. Principalmente pelo fato de os mesmos virem da argila que foi queimada no processo de fabricação, na indústria cerâmica.

Em uma pesquisa realizada [18], foi feita a substituição na argamassa, do cimento Portland por resíduos de cerâmicas vermelha moídos, em teor de 10% e 20% de substituição. Após os experimentos realizados eles obtiveram que a amostra com maior proporção de substituição apresentou cerca de 5% de decréscimo na sua resistência. Enquanto a amostra de menor proporção apresentou cerca de 19% de acréscimo na sua resistência. Após uma análise os autores concluíram que isso aconteceu possivelmente pelas características reativas das amostras dos resíduos cerâmicos.

Em um outro estudo [19], realizou-se um trabalho semelhante, onde analisou-se a viabilidade da substituição do cimento, por resíduos de cerâmicas vermelhas, em concretos e argamassas. Após a moagem e obtenção do pó fino, efetuou-se a substituição em variados teores, com um intervalo de 0% a 40%. Contudo, feito a criação e a cura dos corpos de prova, realizou-se os ensaios de compressão e obteve-se que as amostras com maior teor de substituição apresentam menor resistência comparadas as amostras com menor teor de substituição.

Pesquisas realizadas no Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas, da Universidade Eduardo Mondlane em Moçambique [20], também verificou a viabilidade de substituir o cimento Portland por RCV, em estado de pó, na fabricação de argamassa e de blocos de alvenaria. Os resíduos foram coletados mediante a reciclagem da produção e transporte de blocos cerâmicos em uma indústria na região, Maputo.

A modificação foi feita a partir dos teores de 20, 25, 30 e 35%. Com o período de cura sendo finalizado, realizou-se os ensaios de compressão, e assim os corpos com 20, 25 e 30% de resíduos apresentaram elevação em sua resistência, em relação a amostra padrão. Além do mais, após a análise estatísticas do ensaio de compressão o autor indica que a porcentagem de 20% é a mais adequada a ser utilizada na produção de argamassa, sendo que a mesma mostrou-se a mais qualificada perante os resultados obtidos.

Em um outro estudo realizado, os autores mesmos fizeram a substituição do cimento por resíduos em pó de cerâmicas vermelhas, obtendo corpos de prova com 10%, 20% e 40% desses resíduos. Após os ensaios de compressão observaram que após 28 dias acarretou uma diminuição de 11% para o corpo com teor de 10%; um aumento de 11% para o corpo com substituição de 20%; e decréscimo de 17% para o corpo com 40% de substituição. Mostrando que assim como na pesquisa realizada em Moçambique, o teor de substituição mais adequado de cimento pelo RCV é a proporção de 20% [6].

Oliveira [21], desenvolveu um estudo com foco em determinar a atividade a resistência a compressão, como também a viabilidade da atividade pozolânica em argamassa com substituição do cimento por RCV, tijolos e telhas, em teores de 0 a 40%. Fazendo os testes experimentais aos 7, 28 e 90 dias. O autor relata que o pó fino originado da moagem dos resíduos apresentou um bom potencial pozolânico. Porém, as argamassa constituídas pelos resíduos exibiu um decréscimo de resistência quando comparado aos corpos de prova de argamassa como referência. O mesmo relata que isso aconteceu possivelmente pelo o fato de a atividade pozolânica apresentada pelo resíduos, não ser suficientemente alta como o cimento. Dessa forma, sendo incapaz de suprir a perda de resistência.

2.2 Metodologia

Neste item será apresentado a metodologia do estudo realizado. Mostrando a utilização e características dos materiais, assim como o procedimento experimental de preparação e criação das amostras, e também a caracterização dos ensaios realizados. Ou seja, como ocorreu a pesquisa.

2.2.1 Caracterização dos materiais

Os componentes que foram utilizados no experimento para a obtenção das amostras, corpos de prova de argamassa, foram os seguintes: Cimento, agregado miúdo, resíduos de cerâmica vermelha e água.

2.2.1.1 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II Z-32 RS. Que segundo a NBR 11578/1991 [22], o mesmo possui em sua composição cerca de 94 à 76% de clínquer + sulfato de cálcio e 6 à 14% de material pozolânico. Onde a determinação da quantidade desse material é facultativo, desde que esteja entre os limites estabelecidos.

O tipo de cimento escolhido apresenta uma melhor relação água e cimento, resistência a agentes agressivos e maior durabilidade. Além de demonstrar menor permeabilidade e ter resistência aos ataques de sulfatos. Contudo, um dos principais fatores para a escolha do tipo de cimento foi o fato de o mesmo apresentar adição pozolânica em sua composição.

2.2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na pesquisa é fornecido pela distribuidora que abastece o reservatório de areia natural, o agregado empregado, do laboratório de materiais de construções da UFERSA.

A granulometria da amostra do material foi determinada segundo o ensaio da NBR NM 248/2003 [23], onde a mesma mediante o ensaio de peneiramento verifica a porcentagem que passa e a que fica retida na peneira, de acordo com a finalidade para qual o agregado será empregado. A amostra foi obtida de acordo com as regras da NBR 7211 [13], que afirma que o agregado miúdo é o agregado em que os grãos passam na peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150um. Desse modo, tendo-se o agregado com a determinações necessárias para emprego na criação dos corpos de prova.

2.2.1.3 Água

A água utilizada para a realização da pesquisa é a água fornecida pelo laboratório de materiais de construção da UFERSA, local onde será produzido os corpos de prova. A água empregada está a temperatura de 25°C, que no caso é a temperatura ambiente do laboratório.

2.2.1.4 Resíduos de cerâmica vermelha

Os Resíduos de cerâmica vermelha (RCV), foram obtidos mediante a compra dos materiais, telhas e tijolos, em uma loja de materiais de construção. No qual, foram adquiridos materiais de mais de um tipo de indústria do setor das cerâmicas vermelhas. Para ter-se assim uma equiparidade no estudo, e não focar nos resíduos provindos apenas de uma indústria, podendo assim ser aplicado com qualquer RCV.

Após a obtenção do material, para a caracterização e para que sua utilização fosse viável para substituição do concreto, foi necessário que o RCV fosse moído. O processo de moagem foi realizado por meio do ensaio de Abrasão Los Angeles, feito no laboratório de mecânica dos solos da UFERSA.

Com a amostra do resíduo já moída (Figura 1), determinou-se a granulometria segundo a NBR NM 248/2003 [23], que define o peneiramento de amostras, sendo determinada a porcentagem retida e a passante nas peneiras estabelecidas. Visto que o resíduo utilizado na pesquisa foi o passante na peneira 105mm (nº140) e o retido na peneira 75mm (nº 200), então não caracterizou-se o modulo de finura do material cerâmico.



Figura 1. Resíduo de cerâmica vermelha moído. (Autoria própria)

2.2.2 Traço e fator água/cimento

A argamassa foi feita no traço 1:3, ou seja, para cada uma porção de cimento são adicionadas três porções de areia. Esse foi o traço determinado por ser um traço piloto, apresentando uma proporção bastante usual na argamassa, no ramo da construção civil. Contudo, esse traço foi utilizado em todos os teores de substituição, para verificação da influência na consistência das argamassas. A caracterização a/c (água/cimento) foi obtida através do ensaio experimental realizado na mesa de consistência, mediante as regras rígidas pela NBR 13276/2005 [24]. Primeiramente para determinar o fator a/c, foi feito testes até atingir a consistência adequada. Inicialmente foi adicionada 0,6 de água em relação ao cimento, porém, a mistura apresentou uma consistência menor do que a determinada pela norma. Já na segunda tentativa, foram adicionadas 0,5 de água na mistura, e é essa por sua vez apontou uma consistência mais elevada do que a pretendida. Ademais, no terceiro ensaio o fator a/c utilizado foi o de 0,55, e mediante o ensaio de consistência realizado, observou-se que a consistência adquirida está no intervalo exigido pela norma, significando que esse fator pode ser empregado no estudo.

2.2.3 Moldagem dos corpos e ensaios realizados

Após a moagem do RCV mediante o ensaio à Abrasão Los Angeles, e o seu peneiramento para qualifica-lo na granulometria do cimento, obteve-se o material em seu estado utilizável, ou seja, pronto para ser empregado e adicionado na argamassa, substituindo assim o cimento.

Outrossim, um ensaio necessário realizado, foi o que consta na NBR 13276[24]. Onde no mesmo foi caracterizado a consistência da argamassa, tanto a que utilizou-se como referência no estudo, como também as que possuem as porcentagens de resíduos de cerâmica. Contudo, todas as amostras foram realizadas com o mesmo traço e fator a/c já estabelecidos na amostra de referência.

Após realizado ensaio descrito acima, as argamassa estão prontas para serem submetidas ao processo de moldagem dos corpos de prova. O processo de moldagem foi feito mediante as regras estabelecidas pela NBR 5738/2015 [26], procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Foram produzidos 12 corpos de prova de argamassa, 3 corpos para o traço de referência e 3 corpos para cada argamassa com os respectivos teores de RCV, 10, 20 e 40%. Após realizada a moldagem dos corpos com suas dimensões de 100mm de altura e 50mm de diâmetro, os corpos de prova já estão prontos para iniciar o seu processo de cura. No primeiro dia de cura (Figura 2), as amostras são tiradas do recipiente que serviu como suporte para o estado inicial, onde os corpos de prova adquire o formato requerido. A seguir, com as amostras já fora do recipiente, as mesmas foram colocadas no tanque de cura, contendo água suficiente para deixa-los imersos. Os corpos permaneceram no processo de cura por 21 dias, e logo após esse tempo estabelecidos foram encaminhados para a efetuação do ensaio de compressão simples.



Figura 2. Corpos de prova após a realização da moldagem. (Autoria própria)

O ensaio de compressão foi executado por intermédio da verificação da NBR 5739/2007 [25], concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. O ensaio consta em submeter o corpo de prova a uma carga vertical, nos dois sentidos, onde o corpo está preso nas suas extremidades (Figura 3). A carga aplicada aumenta lentamente e constantemente, o ensaio é finalizado no momento em que o mesmo venha a sofrer ruptura. Com o fim do ensaio obtemos a força e a tensão no qual o corpo de prova suporta até romper-se, e mediante esses dados podemos calcular a resistência a compressão pela seguinte equação:

$$f_c = 4F / \pi \times D^2$$

Onde:

f_c = Resistência a compressão (Mpa);

F = Força máxima alcançada (N);

D = Diâmetro do corpo de prova (mm).



Figura 3. Ensaio de compressão. (Autoria própria)

2.3 Resultados e discussões

A seguir serão apresentadas os resultados obtidos mediante os ensaios realizados na mesa de consistência e resistência a compressão, juntamente com os mesmos estão as discussões, oriundas das análises feitas perante os resultados.

2.3.1 Ensaio de consistência

Conforme o ensaio realizado na mesa de consistência (Figura 4), foi possível determinar se a adição dos resíduos de cerâmica vermelha podem ser empregados sem influenciar na consistência da argamassa.



Figura 3. Ensaio na mesa de consistência. (Autoria própria)

Na tabela 1, estão os resultados obtidos através do ensaio da mesa de consistência, expondo assim a comparação entre o corpo de referência, com cada teor de adição e o diâmetro que obteve-se no ensaio. A medida

que o diâmetro da argamassa é menor no ensaio, significa que a argamassa apresenta uma menor consistência em relação a outra com um diâmetro mais elevado.

Tabela 1. Resultados do ensaio na mesa de consistência. (Autoria própria)

Substituição de RCV (%)	Diâmetro (cm)
Referência	25,5
10	25
20	24,5
40	23,5

Observa-se que conforme a tabela 1, o aumento do teor de RCV na substituição do cimento, ocorreu um acréscimo da consistência da argamassa. Contudo, nota-se que essa aumento ocasionada pela adição do resíduo não é realizada bruscamente, ou seja, pode ser viável e utilizada dependendo da finalidade na qual a argamassa será empregada.

É notado que a argamassa apresentou um elevado valor de consistência em comparação ao corpo de referência, e constata-se que essa elevação acontece gradativamente a medida que a mistura contém maiores valores de resíduos. Então, pode-se inferir que esse fato ocorreu devido as propriedades existente nos RCVs serem diferentes das propriedades do cimento, mostrando que o cimento é um melhor aglomerante em relação aos resíduos. Ademais, outro ponto a notar-se é que esse acréscimo de consistência ocorreu devido a capacidade dos resíduos de cerâmica vermelha em absorver mais água em comparação ao cimento, por serem mais porosos em comparação ao cimento.

2.3.2 Resistência a compressão

Após a retirada dos corpos de prova do tanque onde estavam sob o processo de cura, aos 21 dias, foi necessário a realização da técnica de capeamento em alguns corpos (Figura), pois estes apresentaram imperfeições em sua base, que poderiam ter sido acarretadas pelo processo de moldagem e desmoldagem. O capeamento consta em averiguar as superfícies de contato verticais dos corpos de prova, pois são nessas superfícies onde haverá o contato da prensa hidráulica no momento da compressão. Esse capeamento é feito por meio da aplicação de uma pasta de água e cimento, sendo mais resistente do que o próprio corpo de prova.

Com a execução do capeamento e finalizada o processo de secagem, os corpos de prova já estão prontos para serem submetidos ao processo de compressão (Figura 5).



Figura 5. Corpo de prova rompido após o ensaio de resistência a compressão. (Autoria própria)

O gráfico 1 a seguir, expõe a relação entre a resistência a compressão da amostra de referência e dos corpos com teores de 10, 20 e 40% aos 21 dias.

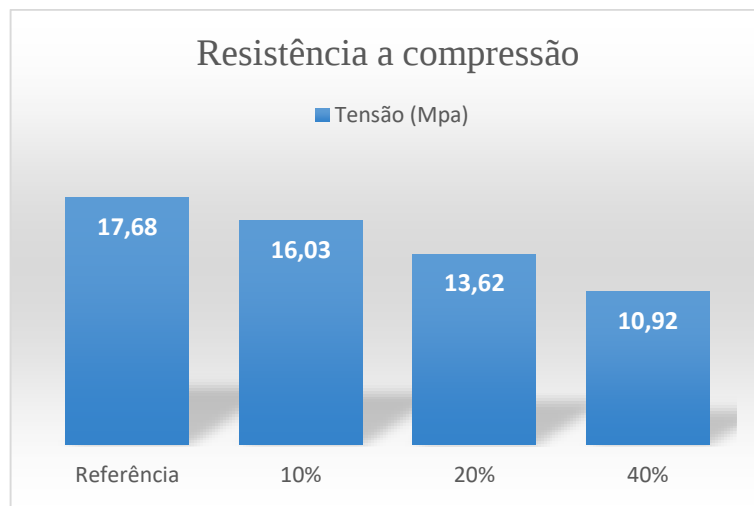


Gráfico 1. Resultados do ensaio de resistência a compressão. (Autoria própria)

Mediante a exposição dos dados do gráfico 1, observa-se que a medida que houve um aumento da substituição do cimento por RCV ocasionou-se uma redução na resistência a compressão nos traços de substituição em comparação ao traço de referência, sendo essa uma redução gradativa.

A redução da resistência a compressão simples ocorrendo gradativamente a medida que se aumenta o teor de substituição do cimento pelo material pozolânico, pode-se ser explicado pelo fato de o RCV não apresentar as propriedades pozolânicas suficientes que o cimento apresenta, influenciando assim também na atividade do fator água/cimento. A insuficiência da formação de material pozolânico ocasionou uma resistência inicial a compressão inferior, pelo fato de a pozolana ser responsável pela criação de propriedades que influenciam nessa resistência. Na figura 6 é evidenciado uma comparação entre os corpos de prova de referência e o 40% de resíduos, após o ensaio de resistência a compressão.



Figura 6. Comparação entre os corpos após o ensaio de resistência a compressão. (Autoria própria)

3 CONCLUSÕES

Mediante os ensaios experimentais realizados, com auxílio das normas brasileiras, e conforme a análises dos dados obtidos podemos adquirir algumas conclusões. Como o fato de a medida que a porcentagem de resíduos de cerâmica vermelha é aumentada, a resistência a compressão dos corpos de prova de argamassa sofre uma redução gradativamente. Mostrando que o RCV como substituto do cimento, não atua como um material pozolânico e sim como uma adição mineral na mistura dos componentes. Contudo, isso ocorreu pelo fato de o resíduo absorver mais água a medida que é adicionado, influenciando na consistência e conseqüentemente na resistência a compressão. Observou-se que a diminuição na resistência da argamassa foi ocasionado pela insuficiência na formação de

pozolana, influenciando assim na sua resistência inicial. Porém, os resíduos de 10% e 20% de substituição apresentaram resistência e consistência consideráveis para serem empregados nas argamassas.

Outrossim, ficou evidenciado que as amostras com teores de substituição de RCV mais elevado necessitam de uma maior quantidade de água para não influenciar na sua trabalhabilidade. Assim, cada amostra com sua determinada porcentagem de resíduo deveria ter o seu teor de água, ou seja, é requerido o cálculo do fator água/cimento para cada traço, desse modo as argamassas apresentariam uma melhor consistência.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KARPINSKI, L.; PANDOLFO, A.; REINEHER, R.; GUIMARÃES, J.; PANDOLFO, L.; KUREK, J. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil – Uma abordagem ambiental. EdIPUCRS, Porto Alegre, 2009.
- [2] PINTO, T. P. Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP, São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP, 2005.
- [3] BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente – CONAMA Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002.
- [4] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico: resultados preliminares. São Paulo. Rio de Janeiro, 2008.
- [5] BASTOS R. S. et al. Revisão Bibliográfica dos Estudos Sobre a Aplicação da Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais na Produção de Materiais de Construção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54, 2013, Gramado. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2013.
- [6] SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. dos S. 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.
- [7] RECENA, F. A. P. Conhecendo argamassa. EdIPUCRS, Porto alegre, 2011.
- [8] GUIMARÃES, J. E. P. A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil. 2. ed. São Paulo: Pini, 2002.
- [9] SABBATINI, F. H. Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO. São Paulo, 1986.
- [10] _____. NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002.
- [12] LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. Agregados Para a Construção Civil. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009.
- [13] _____. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificações: Rio de Janeiro, 2005.
- [14] NETO, A. F. Água como material de construção. Disponível em <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=266>>. Acesso em: 2 Jan. 2020.
- [15] _____. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- [16] INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. Aditivos para concreto. Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central. 2013.
- [17] VIEIRA, A.A.P. Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos. João Pessoa, PB. UFPB. Dissertação de mestrado. 2002.
- [18] 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, Feira de Santana, 2009.
- [19] PEREIRA-DE-OLIVEIRA, L. A.; CASTROGOMES, J. P.; SANTOS, M. S. S. The Potential Pozzolanic Activity of Glass and Red-Clay Ceramic Waste as Cement Mortars Components. Construction and Building Materials. 2012.
- [20] DIAS, A. T. Incorporação de resíduos de cerâmica vermelha como adição pozolânica na substituição parcial do cimento em argamassas. 2013. 58 f. TCC (monografia de conclusão de curso) - Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
- [21] OLIVEIRA, L. A. P., GOMES, J. P. C., SANTOS, P. M. S. "The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars componentes", Construction and Building Materials , v. 31, 2012.

- [22] _____. NBR 11578: Cimento Portland Composto: Rio de Janeiro, 1991.
- [23] _____. NBR NM 248: Agregados - determinação da composição granulométrica: Rio de Janeiro, 2003.
- [24] _____. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência: Rio de Janeiro, 2005.
- [25] _____. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: Rio de Janeiro, 2007.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: Rio de Janeiro, 2003.



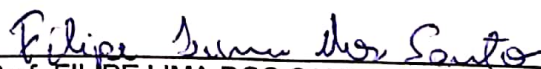
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

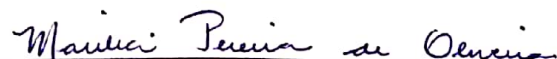
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 10:00 horas do dia sete de fevereiro de dois mil e vinte, na sala 26 do CE - Centro de Engenharias II da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **WELLERY JADSON PEREIRA MOURA**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2017011415**, com o título ***"SUBSTITUIÇÃO PARCIL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CERÂMICAS VEREMELHAS EM ARGAMASSAS"***. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. FILIPE LIMA DOS SANTOS, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Dra. MARILIA PEREIRA DE OLIVEIRA e Eng. Civ. Esp. ALISON KAIO DANTAS PEREIRA, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **9,0; 9,0; 9,0**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral **9,0**. E para constar, eu, FILIPE LIMA DOS SANTOS, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 11 de fevereiro de 2020.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof. FILIPE LIMA DOS SANTOS – UFERSA
Presidente e orientador


Prof. Dra. MARILIA PEREIRA DE OLIVEIRA – UFERSA
Primeiro Membro


Eng. Civ. Esp. ALISON KAIO DANTAS PEREIRA - UNP
Segundo Membro