



ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE RESÍDUOS DE TIJOLOS CERÂMICOS NO COMPORTAMENTO DO CONCRETO

GAZOLLA, Vinicius¹

KLEIN, Leonardo de Freitas²

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento³

RESUMO: O crescimento de diversos setores da economia, principalmente do setor industrial, tem acarretado um aumento na produção de resíduos. A construção civil é uma grande consumidora de matérias-primas, principalmente de fontes naturais não renováveis, produz muitos resíduos, seja na fase de construção, pela perda e desperdício de materiais, seja na poluição ambiental causada pelo descarte inadequado de resíduos de demolição. Para avançar neste campo, este trabalho tem como objetivo analisar o efeito que ocorre quando o agregado graúdo é substituído por 10%, 50% e 100% em peso de tijolos de resíduos cerâmicos de concreto, realizando ensaios de trabalhabilidade e consistência, compressão axial, tração por compressão diametral e determinação da absorção de água por imersão. Observando os resultados obtidos, a resistência à compressão do concreto com teor de 50% de substituição foi o que apresentou melhor desempenho, mesmo apresentando uma redução de 34,32% em relação ao concreto convencional, já em relação à resistência à tração, o concreto que obteve melhor desempenho foi com a proporção de 100% de substituição, apresentando uma redução de 13,33% em relação ao concreto convencional. A trabalhabilidade e consistência dos concretos foram afetadas em função das porcentagens de substituição, sendo que o concreto com 100% de substituição obteve uma perda de 60% em relação ao concreto de referência, e isso se explica, pois quanto maior o teor de substituição, maior a absorção de água e consequentemente menor a trabalhabilidade. De um modo geral, o concreto com agregados reciclados pode ser empregado em novas dosagens de concreto, tendo em vista que ele apresenta menor resistência comparado ao concreto convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, resíduos, cerâmica.

1. INTRODUÇÃO

A evolução da construção civil tem acarretado um aumento na produção de resíduos decorrentes dos processos produtivos. A preocupação de diversos setores da sociedade com a destinação final desses resíduos é crescente, pois, muitas vezes, não é controlada pelas normas

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: viniciusgazolla_1@hotmail.com.

²Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: leoklein2014@gmail.com .

³Docente, Mestre, Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.



de proteção ao meio ambiente. Existe uma tendência das empresas em incluir a questão ambiental nas tomadas de decisão, visando manter sua reputação como organização que cuida do meio ambiente, ou simplesmente para garantir o cumprimento de regulamentações governamentais (GLORIA; JUNIOR; SOUSA, 2020).

Uma das grandes fornecedoras de produtos é a indústria cerâmica, e um dos setores que tem grande consumo é a indústria da construção civil. Nas edificações do tempo atual, existem várias formas de materiais cerâmicos como: lajes, telhas, blocos, tijolos, placas de revestimento, tubos, decoração, etc. É a indústria que tem uma grande produção de resíduos em quantidades que variam de acordo com os métodos pelos quais são produzidos. E nos produtos da cerâmica vermelha, os resíduos são geralmente pedaços de blocos, tijolos, telhas e lajes que são produzidos durante a fabricação destes produtos por exemplo no transporte ou queima dos mesmos (SEBRAE, 2008).

A indústria da construção civil é um dos maiores setores da economia mundial e que produz impactos ambientais. É uma área que tem alto consumo de matérias-primas, principalmente de fontes naturais não renováveis, produz muitos resíduos, seja na fase de construção, pela perda e desperdício de materiais, seja na poluição ambiental causada pelo descarte inadequado de resíduos de demolição após o término da operação de edificações. Entre os fatores que promovem esse apelo à reciclagem, destaca-se que muitos elementos construtivos são de fácil produção, como os feitos de agregados minerais e ligantes, que não possuem requisitos rígidos de características como esterilidade e alta pureza, o que torna o processo ser realizado com maior facilidade (AZEVEDO; KIPERSTOK; MORAES, 2005).

A produção de cerâmica vermelha no Complexo Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro, mesmo com a variação de acordo com a estação e condições de mercado, corresponde à cerca de 70 milhões de peças por mês. Dessa produção, cerca de 90% referem-se a blocos cerâmicos de vedação (VIEIRA *et. al*, 2004). Segundo os autores, fábricas com melhor controle de qualidade tiveram perdas, na fase de combustão, entre 0,5% e 1,0%, enquanto há fábricas que chegaram a 10% de perdas. Pode-se concluir que, o número de peças rejeitadas variou de 350.000 a 7.000.000 por mês.

Com essas informações, a justificativa para realização desta pesquisa se deve ao descarte inadequado de qualquer resíduo gerado nas vias causando grande impacto no ambiente urbano,



pois prejudica o meio ambiente local e coloca em risco a circulação de pedestres e veículos, colocando-os em risco a segurança dos cidadãos (MORAIS, 2006).

É importante destinar adequadamente os resíduos produzidos, mas antes, também é importante tomar medidas que visem reduzir diretamente a fonte de produção, ou seja, nos próprios canteiros de obras, que, além das medidas para corrigir a correta localização desses resíduos, pode contribuir muito para a redução do impacto das obras no meio ambiente (SOUZA, 2004).

Para tanto, a pergunta a ser respondida com a realização desta pesquisa será a seguinte: Qual é o efeito da substituição de agregado graúdo por resíduo de tijolo cerâmico no comportamento do concreto?

Com o intuito de contribuir para essa área de conhecimento, este trabalho buscou analisar a substituição do agregado graúdo por resíduos de tijolos cerâmicos em proporção de 10%, 50% e 100% em massa.

Salienta-se que, para que este trabalho possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Determinar a consistência dos concretos que terão substituição do agregado graúdo por resíduos de tijolos cerâmicos e o concreto de referência;
- b) determinar a resistência à compressão simples dos concretos que terão substituição do agregado graúdo por resíduos de tijolos cerâmicos e o concreto de referência;
- c) determinar a resistência à tração por compressão diametral dos concretos que terão substituição do agregado graúdo por resíduos de tijolos cerâmicos e o concreto de referência;
- d) verificar a influência do uso do resíduo na absorção de água dos concretos que terão substituição do agregado graúdo por resíduos de tijolos cerâmicos e o concreto de referência;
- e) comparar o desempenho mecânico entre os concretos com substituição de agregado graúdo por resíduo de tijolo cerâmico e o concreto de referência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2020), a indústria cerâmica representa um total de 5.437 mil olarias, com a produção por ano de 1.869.231.000 de telhas e 4.675.095.000 de blocos cerâmicos por ano e também com a produção de tubos



cerâmicos no peso de 6.048 toneladas por ano para o setor da construção civil. Em 2020, os materiais cerâmicos representaram mais de 90% das alvenarias e telhados construídos no país.

O Ministério do Meio Ambiente espera que a produção de resíduos diminua após a aprovação da Lei 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Uma de suas principais recomendações é uma série de medidas para promover a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos sólidos da forma mais ecológica possível (BRASIL, 2010).

Segundo Lucena (2005), existe uma grande quantidade de resíduos e desperdícios na indústria cerâmica tradicional. Além disso, em média, cerca de 80% dos resíduos gerados nas obras brasileiras são tijolos, que podem ser triturados e usados como agregado para diversas peças. Segundo Vieira *et. al*, (2003), enquanto esses restos podem ser reaproveitados na produção de peças cerâmicas, reciclá-los para a construção de comunidades pode ser uma solução em si.

2.1 Resíduos de construção e demolição

No Brasil, na área da construção civil os resíduos de construção e demolição (RCD) são provenientes das atividades de construção, reforma ou demolição e são compostos por diversos materiais por exemplo: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, madeira e compensados, argamassa, gesso, entre outros (ANGULO *et. al*, 2011).

Segundo Oliveira e Mendes (2008), a utilização do RCD como matéria-prima ou agregado pode deixar de ser um problema, encontrando-se assim uma saída para a falta de materiais granulares que possam ser utilizados para este fim. Os problemas ambientais envolvendo a geração de grandes quantidades de resíduos da construção civil são evidentes, assim como muitos problemas ambientais devido ao descarte inadequado desses resíduos. Apesar desta situação, ainda é visível uma reação deplorável, tanto no setor público, quanto no setor privado, em relação à busca de soluções efetivas para a absorção dessa poluição que possam ser integradas ou substituir fontes naturais nas linhas de produção, ou mesmo seu retorno às fontes produtivas, como insumos (OLIVEIRA e MENDES, 2008).

Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução nº 307 (2002) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA):

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



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

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

2.2 Normas e especificações técnicas para o RCD

No Brasil, a legislação que gerencia a área de resíduos da construção civil é o CONAMA N° 307, que estabelece procedimentos, diretrizes e critérios a serem seguidos pelos estados e cidades para que se organizem de uma forma correta na destinação final dos RCDs assim gerando menos problemas ambientais em todo o território brasileiro (CONAMA, 2002).

As normas jurídicas estabelecem que, cada município e o distrito federal, tem que implementar uma forma de estruturar e dimensionar cada situação em suas cidades e, para isso, foi criado um a forma de Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição - PIGRCD. (Lei nº 12.305/ 2010).

Em 2004, foram implementadas as normas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que envolvem implantação, transporte e separação de cada produto e de reciclagem dos RCDs, além de procedimentos para a execução da pavimentação com agregados reciclados e de concreto sem função estrutural, sendo elas:

NBR 15112 (ABNT, 2004): que fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos.



NBR 15113 (ABNT, 2004): que fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes.

NBR 15114 (ABNT, 2004): que fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A.

NBR 15115 (ABNT, 2004): que estabelece os critérios para execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, denominado agregado reciclado, em obras de pavimentação.

NBR 15116 (ABNT, 2004): que estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

2.3 Resíduos cerâmicos

A cerâmica vermelha caracteriza-se por produtos de argila ou misturas contendo argila, por moldagem, secagem e queima, de onde vem a cor vermelha que lhe dá o nome. A argila vermelha cozida ou argila comum é a que mais se destaca entre os minerais, devido ao alto volume de produção e alto consumo, sendo utilizada principalmente para a produção de cerâmica vermelha e gesso (SEBRAE, 2008).

Uma peça pode ser obtida, dependendo da etapa do processo de produção. Para as peças queimadas, que são classificadas como perdidas, as fábricas, em geral, consideram inviável economicamente triturá-las. Poucos fabricantes se preocupam com a reciclagem de resíduos. Algumas empresas estão causando problemas ambientais ao descartar esse material, enquanto outras, se preocupam e buscam outras formas de rentabilizar os materiais remanescentes e reciclados (SILVA, 2007). O resíduo cerâmico, material estudado neste trabalho, pertence à classe A da Resolução 307 do CONAMA e, segundo ela, pode ser reaproveitado ou reciclado na forma de adensamento, está preparado para permitir seu uso futuro ou reciclagem.



2.4 Influência do uso de resíduos cerâmicos nas propriedades do concreto

Campos, *et. al*, (2018), afirmam que ao incluir agregados reciclados em um concreto, sua fluidez fica prejudicada, devido a alguns fatores como, por exemplo, a quantia de compostos pulverulentos que compõe o agregado reciclado, o que faz a demanda por água aumentar. A troca dos agregados influenciará as propriedades mecânicas do concreto, tanto enquanto fluído quanto após passado o tempo de cura.

Para entender esta influência, Campos, *et. al*, (2018), realizaram uma análise de pesquisas anteriores, tendo em vista que no geral, conforme a literatura, foi observada uma diminuição na resistência à compressão, tração e ainda no módulo de elasticidade em misturas onde foi utilizado agregado reciclado. Dentre as propriedades que se destacaram, tem-se a fluidez (ou caracterização reológica) que é menor no concreto com agregados reciclados. Os mesmos autores relacionam isso ao fato de agregados reciclados serem constituídos, em sua maioria, por materiais pulverulentos, ou seja, que absorvem mais água.

2.4.1 Trabalhabilidade

No caso dos agregados reciclados, a maior presença de grãos mais finos, a forma mais lamelar ou angular dos grãos, a textura superficial mais rugosa e a maior porosidade (que tanto aumenta a rugosidade das partículas quanto permite ao agregado absorver parte da água de mistura) prejudicam a consistência do concreto (GUIMARÃES, 2005).

Leite (2001), usou um experimento fatorial para analisar a influência do fator água/cimento - a/c e do teor de substituição de agregados naturais miúdos e graúdos por agregados reciclados miúdos e graúdos sobre propriedades do concreto. A absorção de água dos agregados reciclados foi compensada, mas, mesmo assim, fez-se necessário o uso de aditivo superplastificante em vários traços com teor de substituição de agregado igual ou superior a 50%.

Com base nos estudos citados, vê-se que a porosidade dos agregados graúdos reciclados é a propriedade com maior capacidade de influenciar o concreto no estado fresco. Já para o agregado miúdo, parece haver ainda outros fatores relevantes, com a relação água/cimento da mistura, granulometria etc. (LATTERZA, 1998).



2.4.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto é uma das propriedades mais importantes para o bom desempenho de uma estrutura e está associada à sua capacidade de resistir as tensões sem o surgimento de rupturas. Por esse motivo, características como a porosidade dos agregados influenciam diretamente em sua resistência, ou seja, quanto maior o índice de vazios dos agregados menor será a resistência do concreto. Diante disso, ao estudar a resistência do concreto com agregados reciclados, verifica-se que, a porosidade passa a ter uma maior influência sobre sua resistência (LEITE, 2001). Entretanto, estudos realizados com agregados reciclados alcançaram desempenhos satisfatórios em termos de resistência mecânica e durabilidade, revelando ser possível sua aplicação em concretos (GOMEZ SOBERON, 2002 *apud* VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

A resistência mecânica do concreto com agregado reciclado pode, no entanto, ser aumentada pela redução da relação água/cimento, com aumento do consumo de cimento, e do controle de teores de substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado. De forma geral, quanto maior o teor de substituição, menor a resistência do concreto (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

2.4.3. Resistência à tração

A resistência à tração é outra propriedade importante do concreto, afetando sua capacidade de resistir a cargas de tração. De acordo com Pereira *et al.* (2016), o uso de resíduos cerâmicos pode afetar a resistência à tração do concreto, com uma possível diminuição dessa propriedade.

No entanto, outros estudos mostraram que o uso de resíduos cerâmicos pode ter um efeito positivo na resistência à tração do concreto. De acordo com Fathifazl e Ramezaniapour (2011), o uso de resíduos cerâmicos pode aumentar a resistência à tração do concreto em até 6%.



3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo e local de pesquisa

A pesquisa quantitativa é um método de pesquisa social que utiliza a quantificação nas modalidades de coleta de informações e no seu tratamento, mediante técnicas estatísticas, tais como percentual, média, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, entre outros (MICHEL, 2005). Frequentemente, são utilizadas, quando se necessita garantir a precisão dos resultados, evitando distorções de análise de interpretação e possibilitando uma margem de segurança quanto às inferências, ou seja, é projetada para gerar medidas precisas e confiáveis que permitam uma análise estatística.

Os experimentos da pesquisa foram desenvolvidos no laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz. Constituíram em ensaios, que permitiram avaliar as características e propriedades físico-mecânicas proporcionadas pelos resíduos cerâmicos (tijolos). Esses testes foram divididos em testes de concreto fresco e testes de concreto endurecido.

3.2 Procedimentos da pesquisa

Para a produção de concreto utilizando com resíduos cerâmicos (tijolos), foi realizada coleta de material, consistindo na mesma seleção e preparo de insumos utilizados na produção de concreto convencional, tais como: cimento Portland, agregados finos e graúdos e água.

Os agregados foram caracterizados de acordo com procedimentos prescritos em normas técnicas. Em seguida, utilizando a mesma mistura, mas variando o teor de resíduo cerâmico (tijolos), foram preparadas as amostras (moldagem, adensamento e cura).

3.3 Caracterização dos materiais

Para a elaboração deste trabalho, foi realizada a mistura dos elementos que constituem o concreto: cimento, agregados (graúdos e miúdos) e água, além da incorporação de resíduos de

tijolos cerâmicos. Os materiais foram comprados em lojas de construção e armazenados no laboratório do Centro Universitário Assis Gurgacz.

3.3.1 Aglomerante

Foi utilizado o cimento Portland (CPII-E-32). Suas especificações seguem normas NBR 11578 (ABNT, 1991).

3.3.2 Agregados

Os materiais utilizados foram os agregados graúdos convencionais, agregados miúdos convencionais e agregados graúdos reciclados de tijolos cerâmicos. O agregado graúdo convencional utilizado é de origem basáltica denominado como brita 1 (9,5 mm a 19,0 mm), para o agregado miúdo foi utilizado a areia média que possui grãos com diâmetro entre 0,42 a 2 mm, conforme especificação da NBR 7211 (ABNT, 2005).

O agregado graúdo reciclado, utilizado no presente estudo, consistiu de fragmentos de cerâmica vermelha, com dimensões variadas, provenientes de uma obra, localizada em Cascavel-PR. Eles passaram por um processo de britagem com a finalidade de fragmentar os mesmos em pequenos pedaços, até se obter um agregado com dimensões semelhantes à brita 1 (Figura 1). Posteriormente, o agregado passou por um processo de peneiramento, com o intuito de se obter dimensões uniformes (Figura 2).

Figura 1 – Britagem da cerâmica



Fonte: Autores (2023).

Figura 2 – Agitador de peneiras



Fonte: Autores (2023).



3.4 Dosagem do concreto

O traço escolhido para o concreto convencional e o concreto reciclado foi: 1:2:3 em massa, e relação água/cimento de 0,6, adaptando o traço com variações de substituição do agregado gráúdo por cerâmica em 0%, 50% e 100%, obtendo diferentes traços para cada substituição, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Traço em massa obtido para cada substituição realizada.

% de substituição da brita por cerâmica	Agregados			
	Cimento	Areia	Brita	Cerâmica
0	1	2	3	-
10	1	2	2,7	0,3
50	1	2	1,5	1,5
100	1	2	0	3

Fonte: Autores (2023).

A Tabela 2 representa a quantidade de material que foi necessário para a realização de cada traço, sendo 4 corpos de prova por traço.

Tabela 2 – Quantidade de material para cada traço (kg/m³).

Substituição do agregado gráúdo %	Quantidade de material utilizado					
	Concreto	Cimento	Areia	Brita	Água	Cerâmica
0	0,0207	7,058	11,625	16,469	4,235	0
10	0,0207	6,769	11,148	14,214	4,061	1,895
50	0,0207	5,815	9,577	6,789	3,489	8,141
100	0,0207	4,944	8,143	0	2,966	13,842

Fonte: Autores (2023).

3.5 Moldagem e cura dos corpos de prova

Antes de moldar os corpos de prova, foi feito um ensaio para verificar a consistência dos concretos pelo ensaio de abatimento de tronco (*slump test*), conforme especificações da NBR 16889 (ABNT, 2020).

Após esta etapa de análise do concreto no estado fresco, foram moldados os corpos de prova com dimensões 10cm de diâmetro e 20cm de altura, conforme prescrições NBR 5738

(ABNT, 1993) (Figura 3). O concreto foi mantido para a secagem no molde de compressão por 24 horas e, após esse período, foram desmoldados e colocados na câmara úmida onde ficaram armazenados até a idade de realização dos ensaios que foi de 28 dias (Figura 4).

Figura 3 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autores (2023).

Figura 4 – Armazenamento na câmara úmida



Fonte: Autores (2023).

3.6 Métodos de ensaios

Os métodos de ensaio são importantes para avaliar as propriedades do concreto produzido com a substituição do agregado graúdo por resíduos cerâmicos. Dentre os ensaios mais comuns, destacam-se a avaliação da trabalhabilidade, a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral e também será realizado o ensaio de absorção de água por imersão. Os ensaios estão detalhados nos itens a seguir.

3.6.1 Trabalhabilidade e consistência

A consistência é normalmente avaliada usando o ensaio do abatimento do tronco de cone (*slump test*). Isso permite que você verifique a coesão e a fluidez da mistura. Este parâmetro pode ser definido em função da necessidade de utilização do concreto e da eficiência dos equipamentos de preparo e adensamento da mistura.

Este teste foi realizado com o auxílio de um tronco de cone, uma barra de aço redonda e uma régua conforme recomendado na NBR 16889 (ABNT, 2020) (Figura 5). A relação água/cimento não será corrigida, somente a consistência e trabalhabilidade serão avaliados em relação à substituição por reciclado de cerâmica.

Figura 5 – Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Autores (2023).

3.6.2 Compressão axial

O ensaio de compressão axial é um dos principais ensaios utilizados para avaliar a resistência mecânica do concreto. Nesse ensaio, uma amostra cilíndrica de concreto é submetida à uma carga axial crescente até a sua ruptura, e a resistência à compressão é determinada a partir da carga máxima suportada pela amostra (Figura 6). A resistência à compressão é uma das principais propriedades do concreto e é amplamente utilizada em projetos estruturais, como edifícios e pontes. O ensaio foi desenvolvido segundo as orientações da NBR 5739 (ABNT, 2018), para cada traço realizado, foram produzidos quatro corpos de prova com dimensões 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para a comparação da resistência à compressão axial.

Figura 6 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Autores (2023).

3.6.3 Tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral é outro ensaio amplamente utilizado para avaliar a resistência mecânica do concreto e foi realizado conforme especificações da NBR 7222 (ABNT, 2010), foram produzidos, para cada traço realizado, quatro corpos de prova com dimensões 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para a comparação da resistência à tração por compressão diametral. Neste ensaio, uma amostra cilíndrica de concreto é submetida a uma carga compressiva aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, causando uma ruptura por tração diagonal na amostra (Figura 7). A resistência à tração por compressão diametral é usada como um indicador da resistência à tração do concreto, que é uma propriedade importante em estruturas que serão submetidas a esforços de tração.

Figura 7 – Ensaio de tração por compressão diametral (0%, 10%, 50% e 100% de substituição)



Fonte: autores (2023).

3.6.4 Determinação da absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água consiste em medir a massa de corpos de prova, ou de peças já moldadas, antes e após a etapa de imersão em um recipiente contendo água. Foram produzidos três corpos de prova para cada traço, que segundo a NBR 9778 (ABNT, 2009), a execução do ensaio consiste em:

- i. Massa na condição seca:
 - a) Colocar a amostra na estufa e mantê-la à temperatura de (105+/-5) por um período de 72h. É determinada e registrada a massa da amostra.
- ii. Massa na condição saturada e imersa em água:
 - a) Imergir a amostra em água a temperatura de (23+/-2) e mantê-la durante 72 h nessa condição.
 - b) Retirar a amostra da água e enxugá-la com pano úmido, determinando e registrando sua massa (saturada). Após o ensaio, são feitos os cálculos para determinação da absorção, índice de vazios e massa específica.

A propriedade como absorção de água é obtida pela seguinte formulação apresentada na Equação 1.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$



Onde:

A= absorção de água (%);

Msat= massa saturada da amostra (g);

Ms= massa seca da amostra (g);

3.7 Análise dos dados

A análise dos dados foi feita sobre a utilização de gráficos no Microsoft Excel como uma ferramenta poderosa para a análise e visualização de dados, permitindo identificar padrões, tendências e insights importantes presentes nos conjuntos de dados obtidos pelos ensaios de trabalhabilidade e de compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, onde seus respectivos dados foram obtidos através de relatórios gerados pelo *software* da prensa hidráulica. Com isso, realizando a análise comparativa dos concretos, que terão substituição do agregado graúdo por resíduos de tijolos cerâmicos e o concreto de referência.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, serão apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos através do ensaio de trabalhabilidade e consistência, compressão axial, tração por compressão diametral e determinação da absorção de água por imersão.

4.1 Trabalhabilidade e consistência

O ensaio de trabalhabilidade e consistência (*slump test*) foi realizado em 3 camadas de assentamento com a haste, procedimento realizado para que não houvesse presença de vazios. Por fim, foi retirado o tronco de cone lentamente por um período mínimo de 10 segundos. Os resultados do ensaio de *slump test* para cada traço podem ser vistos na Tabela 3.



Tabela 3 – Resultados *slump test*.

Amostra	Fator água/ cimento	Slump (mm)
Referência	0,6	200
10% Resíduo	0,6	160
50% Resíduo	0,6	140
100% Resíduo	0,6	80

Fonte: Autores (2023).

Nos resultados apresentados na Tabela 3, pode-se observar que o concreto com agregado reciclado com teor de 10% em comparação ao de referência obteve uma diminuição de 20% da trabalhabilidade. O concreto com teor de 50% de substituição obteve em comparação ao concreto com teor de 10% uma diminuição de 12,5% da trabalhabilidade. O concreto com 100% de substituição, obteve, em comparação ao com teor de 50%, uma perda de trabalhabilidade de 42,85% e, em comparação ao de referência, uma perda de 60% da trabalhabilidade.

A perda da trabalhabilidade pode ser observada conforme aumenta a porcentagem de substituição por resíduo cerâmico. De acordo com Fonseca (2006), a absorção de água da brita comparada com a da cerâmica é consideravelmente mais baixa, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Absorção de água do agregado graúdo natural e reciclado.

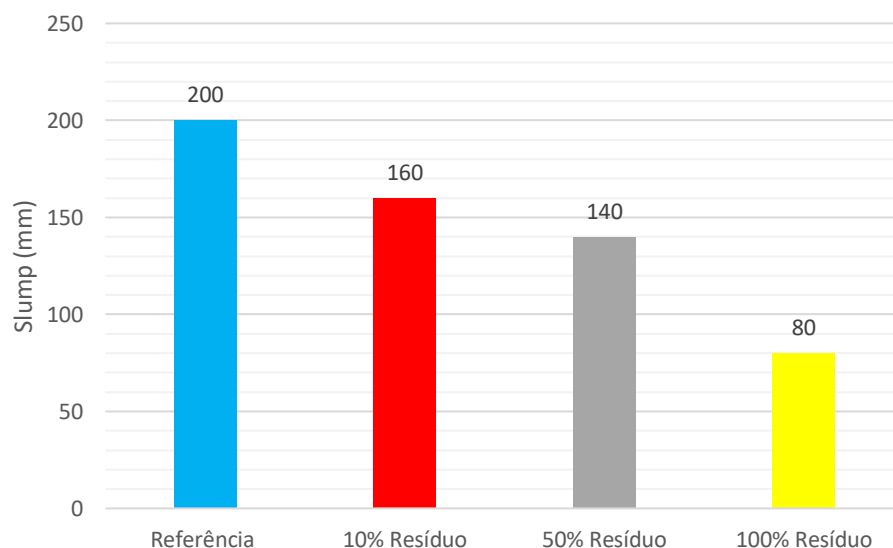
Fração Granulométrica	Tipo do material	Absorção %
Graúdo	Brita	1,8
	Cerâmica	17,5

Fonte: Fonseca (2006).

Os resultados dos ensaios de consistência foram agrupados em um gráfico para comparação, representado na Gráfico 1.



Gráfico 1 – Resumo *slump test*



Fonte: Autores (2023).

4.2. Compressão axial

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial em 16 corpos de prova, sendo quatro de concreto com agregado graúdo convencional e os outros doze de concreto, com parcial substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado de cerâmica, sendo estas de 10, 50 e 100% do total anteriormente utilizado. Todos os corpos de prova foram analisados aos 28 dias de cura.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão (MPa) de corpos de prova com idade de 28 dias.

Corpo de prova	Teor de substituição do agregado convencional			
	0%	10%	50%	100%
1	21,1	20	13,1	11,5
2	18,9	18,2	13,7	13,2
3	19,4	17,8	13,5	13,4
4	21,3	18,9	12,7	13
Média das resistências	20,25	18,55	13,3	13,1

Fonte: Autores (2023).

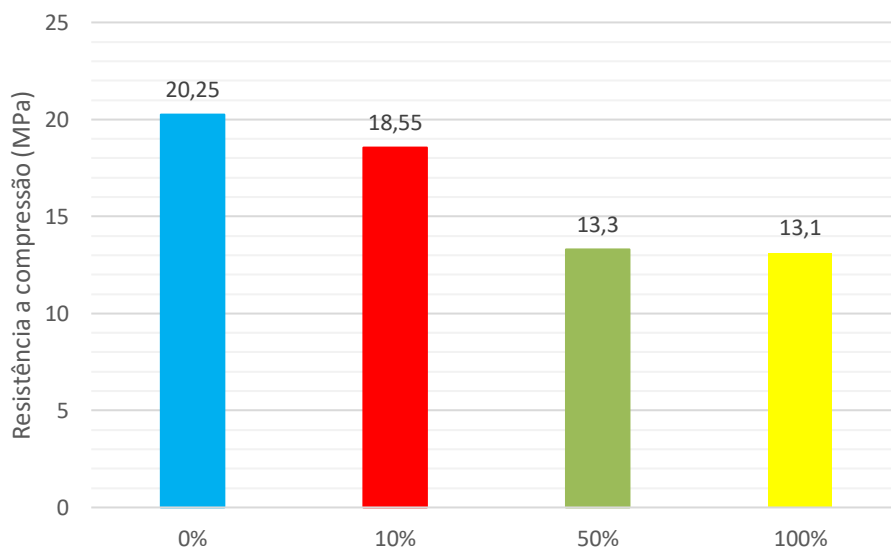
Nos resultados apresentados na Tabela 5, observa-se que o concreto com agregado reciclado com o teor de 10% apresenta uma redução de resistência à compressão de 1,7 MPa

em comparação ao concreto com agregado convencional, tendo-se assim uma diminuição de 8,39% de sua resistência.

Observando o concreto com agregado reciclado com teor de 50%, nota-se uma redução de 6,95 MPa de sua resistência à compressão em comparação ao concreto com agregado convencional, sendo assim uma redução de 34,32% de sua resistência. Quando comparado ao concreto com teor de 10% de substituição, nota-se que, a redução da resistência à compressão é de apenas 4,75 MPa.

Quando analisado o concreto com teor de 100% de agregado reciclado, nota-se uma perda de resistência à compressão de 7,15 MPa, tendo uma redução de 35,30% quando comparado ao concreto convencional. Se comparado ao concreto com teor de 50%, tem-se uma redução de 0,2 MPa, ou seja, a perda de resistência não é constante à medida que o agregado é substituído (conforme apresentado no Gráfico 2, onde se apresenta graficamente a média das resistências obtidas através do ensaio de compressão axial).

Gráfico 2 – Resumo resistência à compressão



Fonte: Autores (2023).

Confirmando-se assim o que diz ANGULO; FIGUEIREDO (2011), a resistência mecânica do concreto com agregado reciclado pode, no entanto, ser aumentada pela redução da relação água/cimento, com aumento do consumo de cimento, e do controle de teores de substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado. De forma geral, quanto maior o teor de substituição, menor a resistência do concreto.



Ao se analisar apenas a resistência à compressão, o teor com o melhor desempenho e o que mais se aproxima do concreto de referência é o teor com 10% de agregado reciclado, embora após o cálculo de desvio padrão, conforme Tabela 6, tem-se o teor de 50% com o melhor desempenho entre os 3 teores, tendo em vista que o mesmo é o que menos perde resistência à compressão, levando em consideração a quantidade de agregado reciclado em sua composição.

Tabela 6 – Desvio padrão ensaio de resistência à compressão.

Teor de substituição		
10%	50%	100%
0,9639	0,4435	0,8655

Fonte: Autores (2023).

4.3 Tração por compressão diametral

Foi realizado o ensaio de resistência à tração por compressão diametral em 16 corpos de prova, sendo quatro de concreto com agregado graúdo convencional e os outros doze de concreto, com parcial substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado de cerâmica, sendo estas de 10, 50 e 50% do total anteriormente utilizado. Todos os corpos de prova foram analisados aos 28 dias de cura.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (MPa) de corpos de prova com idade de 28 dias.

Corpo de prova	Teor de substituição do agregado convencional			
	0%	10%	50%	100%
1	1,7	1,5	1,3	1,3
2	1,5	1,2	1,3	1,3
3	1,4	1,5	1,1	1,2
4	1,5	1,5	1,4	1,1
Média das resistências	1,5	1,5	1,3	1,25

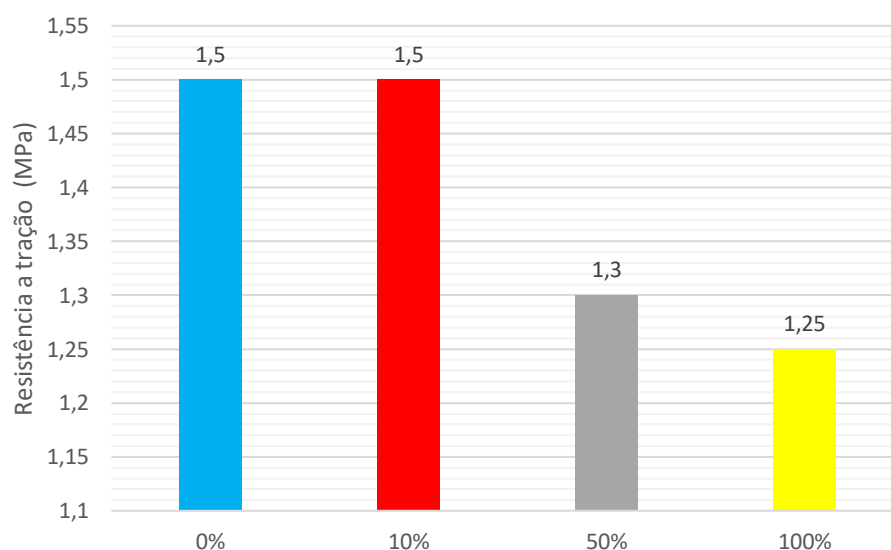
Fonte: Autores (2023).

Nos resultados apresentados na Tabela 7, observa-se que o concreto com agregado reciclado com o teor de 10% não apresentou redução de resistência à tração em comparação ao concreto com agregado convencional.

Observando o concreto com agregado reciclado com teor de 50% nota-se uma redução de 0,2 MPa de sua resistência à tração em comparação ao concreto com agregado convencional, sendo assim, uma redução de 13,33% de sua resistência. Quando comparado ao concreto com teor de 10% de substituição, foram obtidos os mesmos valores.

Quando analisado o concreto com teor de 100% de agregado reciclado, nota-se uma perda de resistência à tração de 0,25 MPa, tendo uma redução de 16,66% quando comparado ao concreto convencional. Se comparado ao concreto com teor de 50%, tem-se uma redução de 0,05 MPa, ou seja, a perda de resistência não é constante à medida que se substitui o agregado. Conforme apresentado no Gráfico 3, onde se apresenta graficamente a média das resistências obtidas através do ensaio de tração por compressão diametral.

Gráfico 3 – Resumo resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autores (2023).

Confirmando-se assim o que diz Pereira *et al.* (2016), o uso de resíduos cerâmicos pode afetar a resistência à tração do concreto, com uma possível diminuição dessa propriedade.

Ao se analisar apenas a resistência à tração, o teor, com o melhor desempenho e o que mais se aproxima do concreto de referência, é o teor com 10% de agregado reciclado, embora após o cálculo de desvio padrão, conforme Tabela 8, tem-se o teor de 100% com o melhor desempenho entre os 3 teores, tendo em vista que o mesmo é o que menos perde resistência à compressão, levando em consideração a quantidade de agregado reciclado em sua composição.



Tabela 8 – Desvio padrão ensaio de resistência à tração.

Teor de substituição		
10%	50%	100%
0,1500	0,1258	0,0957

Fonte: Autores (2023).

4.4 Determinação da absorção de água por imersão

Constam na Tabela 9, os valores de absorção de água medidos para os 4 traços propostos: referência (0%), com substituição de 10%, 50% e 100% por resíduos de tijolos cerâmicos. Foi considerada a média entre os corpos de prova para fazer a análise da propriedade.

Tabela 9 – Absorção de água dos concretos.

Absorção de água (%)	
Teor de resíduo cerâmico (%)	Absorção de água (%)
0	3,62
10	3,81
50	4,76
100	7,68

Fonte: Autores (2023).

Pode-se notar que, os concretos, com resíduos cerâmicos, apresentaram maior absorção de água que o concreto de referência, demonstrando que os resíduos influenciaram negativamente na porosidade do concreto, fator importante para os resultados de diminuição das resistências mecânicas encontradas conforme aumenta a substituição do agregado graúdo por resíduo cerâmico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando-se o efeito do agregado reciclado cerâmico sobre o concreto, este em parcial e completa substituição ao agregado convencional, é possível observar que o mesmo tem direta influência nas propriedades mecânicas do concreto, porque quanto maior o teor de agregado cerâmico, menor é sua trabalhabilidade e consistência, resistência à compressão e tração, porém a diminuição da mesma não acontece progressivamente linear.



A partir dos resultados obtidos, o teor com melhor proporção de agregado cerâmico, levando em consideração a resistência à compressão obtida, foi a proporção de 50%, onde se obteve uma perda de 6,95 MPa em relação ao corpo de prova referência. Em relação à resistência à tração, a melhor proporção obtida, foi a de 100%, onde se obteve uma perda de 0,25 MPa em relação ao corpo de prova referência. A trabalhabilidade e consistência tem relação direta ao ensaio de absorção de água, conforme o teor de substituição aumenta, a absorção de água também aumenta, levando assim uma perda de 60% de sua consistência em relação ao concreto com 100% de substituição e o concreto de referência.

A utilização de resíduos cerâmicos, como substituto do agregado convencional, representa uma oportunidade significativa para mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade na indústria da construção. Isso se deve ao potencial de redução da geração de resíduos e à preservação de matéria-prima.

Enquanto países mais desenvolvidos já adotaram práticas de reutilização de resíduos de forma rotineira, o Brasil enfrenta desafios como preocupações com o retorno financeiro e a qualidade estrutural do concreto reciclado. É importante ressaltar que, o concreto reciclado geralmente possui menor resistência em comparação ao concreto convencional. No entanto, promover o uso de concreto com agregados reciclados requer incentivos, pesquisa em tecnologias e alternativas viáveis para sua implementação em larga escala na indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS

ANGULO, S. C; TEIXEIRA, C. E; CASTRO, A. L.; NOGUEIRA, T. P. **Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação**, São Paulo: Scielo, 2011.

ANICER-ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Dados do setor**. (2020).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.



_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8522: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão.** Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 11578: Cimento Portland composto.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 16889: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

AZEVEDO, G, O. D; KIPERSTOK. A; MORAES, L, R. S. **Resíduos Da Construção Civil Em Salvador: Os Caminhos Para Uma Gestão Sustentável,** Bahia, 2005.

BRASIL: SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, ESPM **Cerâmica vermelha: estudo de mercado,** 2008.

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

FONSECA, A. P. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo de telha cerâmica e agregado graúdo natural.** 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

GLORIA, M. V. A; JUNIOR, L, C. R; SOUSA, F, H. F; **Reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil e demolição.** Tocantins, Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 2020.

GUIMARÃES, A. T. da C. Propriedades do concreto fresco. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: Ibracon, 2005. 2v.

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

LUCENA, L. F. L.; NEVES, G. A.; NASCIMENTO, J. D.; OLIVEIRA, D. F. **Diagnóstico da geração de resíduos da construção civil no Município de Campina Grande.** Simpósio brasileiro de gestão e economia da construção, 4 encontros latino-americano de gestão e economia da construção, Porto Alegre, 2005.



MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da Deposição Clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em Bairros Periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável.** Uberlândia: Ufu 2006.

OLIVEIRA, E. G. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da resolução 307 do CONAMA.** Goiânia: Unicap, 2008.

VIEIRA, C. M. F.; SOUZA, E. T. A.; MONTEIRO, S. N. **Efeito da Incorporação de Chamote no Processamento e Microestrutura da Cerâmica Vermelha.** Rio de Janeiro: UENF, 2004.