



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

BRUNO AFONSO BÜCHELE MENDONÇA

**ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE
POLIURETANO E RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA DA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Palhoça

2020

BRUNO AFONSO BÜCHELE MENDONÇA

**ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE
POLIURETANO E RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA DA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Professora Dr^a. Rachel Faverzani
Magnago,

Palhoça

2020

BRUNO AFONSO BÜCHELE MENDONÇA

**ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE
POLIURETANO E RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 17 de julho de 2020.

Rachel Magnago

Professora e orientadora Rachel Faverzani Magnago, Dr.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Joelcio Luiz Stocco
Professor Joelcio Luiz Stocco, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Diego Valdevino Marques
Eng. Prod. Diego Valdevino Marques, MSc.
Profissional Liberal

Às pessoas com quem pude trocar experiências e conhecimentos, podendo crescer como pessoa e profissional.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Rachel Faverzani Magnago que esteve e de prontidão para esclarecer dúvidas transmitir conhecimentos.

A minha família e amigos, que muito me apoiaram e acreditaram em mim, dando suporte e motivação em todos os momentos de minha vida.

A todos os meus colegas que contribuíram com apoio e união, trazendo não apenas um auxílio nos trabalhos, mas também incentivo e fraternidade para essa experiência.

“Todo mundo é um gênio. Mas, se você julgar um peixe por sua capacidade de subir em uma árvore, ela vai gastar toda a sua vida acreditando que ele é um estúpido.” (Albert Einstein).

RESUMO

O uso do Poliuretano na construção civil tem um aumento contínuo e significativo nos últimos tempos. Uma das razões para esse fato é seu fácil manuseio e transporte, por se tratar de um produto leve. Usualmente utilizado em locais com necessidade de vedação acústica, como casas de festas, hospitais e estúdios de gravação, as placas de poliuretano devem possuir resistência mecânica para não romper durante seu processo de transporte e manuseio nos locais em que serão instaladas. Embora a aplicação das placas de poliuretano seja interna, evitando a exposição a umidade, por exemplo, entre duas paredes de alvenaria ou entre dois perfis metálicos, é importante baixa absorção de água para esse produto, para que, caso ocorra contato com a umidade ou até mesmo infiltrações provenientes de vazamentos, seja mantida sua integridade física e tempo de uso, sem criar mofo entre outras patologias. Esse estudo preparou compósitos de poliuretano com a incorporação de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de resíduo de tijolo. Os compósitos e o padrão de poliuretano foram obtidos pela reação entre polioli poliéster e toluene-diisocyanate. Foi determinada a massa específica dos compósitos, absorção de água e resistência mecânica a compressão. A massa específica aparente dos compósitos com até 30% de resíduo nos compósitos ficou muito próxima das amostras de poliuretano, mostrando reprodutibilidade para os compósitos e a velocidade de expansão da reação diminuiu conforme aumentou a massa de resíduo incorporado, facilitando a homogeneização e moldagem dos corpos de prova. A absorção de água aumentou conforme foi acrescido massa de resíduo incorporado. Com base nos testes de resistência a compressão mecânica, verificou-se que a adição do resíduo de tijolo reduz a resistência a compressão mecânica (Tensão máxima), mas atende padrões mínimos exigidos pela NBR 8082 e ASTM D1621—16. Assim, foi possível verificar uma alternativa para agregar valor para esse resíduo da construção civil, produzido em grande escala mundial. Sendo a indústria da construção civil fundamental para a economia dos países, porém produtor em grande escala de resíduos, é fundamental reaproveitar seus rejeitos, reduzindo o volume dos aterros, emissão de poluentes e gerando novos produtos.

Palavras-chave: Poliuretano. Tijolo. Resíduo.

ABSTRACT

The use of Polyurethane in civil construction has increased continuously and significantly in recent times. One of the reasons for this is its easy handling and transport, as it is a light product. Currently used in places with a need for acoustic sealing, such as party houses, hospitals and recording studios, such as polyurethane plates, mechanical resistances must be used so as not to break during the transport and handling process in the places where it is installed. Commonly used between building structures, for example, between two masonry walls or between two metal profiles, it is at risk of contact with moisture or even with leakage infiltration, therefore, a low material water humidity is useful to maintain its physical integrity and time of use. This study analyzed the incorporation of 10%, 20%, 30% and 40% of the brick residue in polyurethane, matrix formed by Polyol and Isocyanate for comparison with polyurethane. Based on the tests of resistance to mechanical compression, it was found that the addition of brick residue to resistance to mechanical compression (maximum stress), but meets the minimum requirements required by NBR 8082 and ASTM D1621—16. The apparent specific mass of the composites was very close to the polyurethane sample and the rate of expansion of the reaction decreased as the incorporated waste mass was applied. The water absorption increased as the mass of incorporated waste was added. Then obtaining a new way of using brick waste, which is mass produced excessively in the civil construction industry.

Keywords: Polyurethane. Brick. West.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (a) Tijolo lavado, (b) moinho para abatimento do tijolo e (c) tijolo moído depositados em béquer.....	20
Figura 2 - Reagentes Isocianato, Polioliol e resíduo de tijolo moído utilizados para fabricação dos compósitos.....	21
Figura 3 – Moldes para fabricação de compósitos para os ensaios de compressão mecânica, massa específica aparente e absorção de água e vaselina utilizada.....	22
Figura 4 – Mistura dos reagentes sendo vertida em um molde e o molde lacrado com grampos tipo C ou “Sargento”.....	22
Figura 5 – EMIC DL-30000.....	23
Figura 6 – poliuretano e compósitos de poliuretano com incorporação de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de cerâmica vermelha.....	25
Figura 7 – Relação de percentual de resíduo incorporado e resistência a compressão mecânica (Tensão máxima)	27
Figura 8 – Gráfico de Tensão/Deformação das amostras de poliuretano.....	28
Figura 9 – Gráfico de Tensão/Deformação médio das amostras de poliuretano.....	28
Figura 10 – Gráfico de Tensão/Deformação com 10% de resíduo de tijolo.....	29
Figura 11 – Gráfico de Tensão/Deformação médio 10% de resíduo de cerâmica vermelha...	30
Figura 12 – Gráfico de Tensão/Deformação com 20% de resíduo de tijolo.....	31
Figura 13 – Gráfico de Tensão/Deformação médio 20% de resíduo de cerâmica vermelha incorporado.....	32
Figura 14 – Gráfico de Tensão/Deformação com 30% de resíduo de tijolo.....	33
Figura 15 – Gráfico de Tensão/Deformação médio 30% de resíduo de cerâmica vermelha incorporado.....	34
Figura 16 – Gráfico de Tensão/Deformação média das amostras de poliuretano e 10%, 20% e 30% de resíduo de cerâmica vermelha.....	35
Figura 17 – Absorções médias de água do poliuretano e dos compósitos.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição químicas do tijolo	16
Tabela 2 – Massa dos reagentes e resíduo.....	21
Tabela 3 – Dimensões e áreas médias dos corpos de poliuretano e compósitos de poliuretano com 10%, 20% e 30% de massa de resíduo de cerâmica vermelha.....	26
Tabela 4 – Resistência a compressão mecânica (Tensão máxima) dos corpos de prova de poliuretano e compósitos de poliuretano com 10%, 20% e 30% de incorporação de cerâmica..	26
Tabela 5 – Massa específica aparente dos corpos de prova de poliuretano e compósitos de poliuretano com 10%, 20% e 30% de resíduo de cerâmica vermelha.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	14
2.1.1 Tijolo.....	15
2.1.2 Materiais reciclados na construção civil	16
2.2 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM NOVOS PRODUTOS	17
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 MATERIAS E PREPARAÇÃO DOS COMPOSITOS	19
3.2 MASSA ESPECÍFICA APARENTE	22
3.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA	22
3.4 RESISTENCIA MECÂNICA DE COMPRESSÃO.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
4.1 MATERIAS E PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS	24
4.2 MASSA ESPECÍFICA APARENTE	24
4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA	25
4.4 RESISTENCIA MECÂNICA DE COMPRESSÃO.....	26
5 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento demográfico, a verticalização das edificações e a necessidade de aproveitar ao máximo os espaços, levar serviços aos bairros residenciais tornou-se comum. Então encontra-se em uma mesma rua ou mesmo numa edificação espaços residências, escritórios, comércios diversos e ambientes de lazer. Essa miscigenação e diversificação trás aspectos positivos, como reduzir a distância entre o trabalhador e o local de trabalho, e entre os prestadores de serviços e seus usuários, mas também acarreta alguns transtornos, como o maior número de pessoas circulando pelas mesmas ruas, frequentando os mesmos espaços e dessa forma gerando diferentes níveis de som. Além disto, é necessário levar segurança as pessoas que utilizam estes espaços, evitando problemas que coloquem em risco sua saúde, como incêndios, infiltrações e problemas acústico (PIVNENKO et al., 2016; REBEHY et al., 2017; SALESA et al., 2017).

Estes fatores agregam importância ao estudo de isolantes acústicos, visto que os níveis de ruídos devem ser compatíveis com o conforto acústico dos ambientes (SHAMS et al., 2015; GARRIDO; CORREIA; KELLER, 2016). Materiais para isolamento devem possuir características de resistência a esforços e deformabilidade, estabilidade dimensional, exclusão de água, resistência a chamas e vapor e durabilidade (ISLAM; BHAT, 2019).

O poliuretano (PU) é utilizado na construção civil em telhados e paredes por conta da sua capacidade termo acústico de bloquear sons e ruídos, destaca-se por sua leveza e fácil manuseio (VLADIMIROV et al., 2011; GUO et al., 2015; MILLING; MWASHA; MARTIN, 2020). Com base na emergente necessidade de desenvolver produtos mais sustentáveis, seguros e eficientes, e de baixo custo, foram elaborados compósitos com traços diferentes incorporado resíduo de tijolo moído. Os novos materiais preparados foram avaliados quanto a resistência a compressão mecânica e absorção de água e foram caracterizados quanto sua massa específica aparente.

De modo geral, o resíduo de cerâmica vermelha foi utilizado para a produção de um novo produto, reincorporando o resíduo em um novo ciclo de vida, agregando valor e tornando a indústria da construção civil mais sustentável.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar absorção de água e resistência mecânica a compressão de compósitos de poliuretano com resíduo de cerâmica vermelha da construção.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Produzir compósitos de poliuretano com resíduo de cerâmica;
2. Verificar a massa específica aparente dos compósitos;
3. Avaliar a absorção de água dos compósitos preparados;
4. Investigar a resistência a compressão mecânica;

1.2 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil tem contribuído positivamente em inúmeros aspectos para com o crescimento social, oferecendo segurança, mobilidade, conforto e inovação. Desde a construção de residências, edificações comerciais, estradas, pontes, portos e aeroportos, os produtos da construção civil são fundamentais para o crescimento da infraestrutura e economias de cidades e países. Porém, é preciso ter consciência dos impactos negativos agregados a esta indústria. Impactos esses de âmbito ecológicos, social, técnico e econômico, por conta da exploração de recursos naturais, geração de resíduos aumento do volume em aterros e desvaloriza no preço de compra dos terrenos próximos, entre outros.

Dentre os resíduos gerados, destacam-se os resíduos sólidos, que contribuem para o aumento do volume dos aterros industriais e sanitários. Deste modo é fundamental desenvolver alternativas para a reciclagem dos materiais descartados das obras. Produtos que incorporam resíduos são excelentes meios de agregar valor e prolongar a vida útil dos materiais.

O tijolo é um dos materiais mais utilizados na indústria da construção civil, seja como parte da estrutura, na alvenaria, na vedação de ambientes ou até mesmo como composição decorativa. Seu resíduo pode ser utilizado de diversas maneiras, podendo ser incorporado em outros produtos, como é o caso da utilização para a constituição de placas de poliuretano para isolamento térmico e acústico.

Placas de poliuretano são comumente utilizadas em edificações por reduzir a troca de calor e sons entre ambientes. A incorporação do resíduo de cerâmica proporciona uma alternativa de resgatar os resíduos para a linha produtiva e modificar as propriedades do poliuretano, sendo necessários estudos que investiguem as propriedades relacionada a incorporação desses materiais. O desenvolvimento de produtos que atendam requisitos de desempenho e durabilidade para sistemas que tragam conforto para a população é uma realidade. A utilização de resíduos na fabricação desses produtos, além de diminuir o custo com matéria prima contribui com a redução do impacto ambiental diminuindo o volume de resíduos a serem lançados em aterros

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para torna-se possível o reaproveitamento de rejeitos da construção civil é fundamental entender quais resíduos essa indústria gera em maior quantidade e se estes já são reciclados de alguma forma. Tais conhecimentos são explorados nos tópicos abaixo.

2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil é fundamental para o desenvolvimento econômico dos países, dado que, a produção de matéria-prima, fabricação de equipamentos e serviços complementares dessas etapas influenciam na economia local (LAFAYETTE et al., 2018). O setor da construção civil pode ser considerado um dos pilares da economia brasileira, uma vez que, aproximadamente 14% do Produto Interno Bruto (PIB) está vinculado a esse setor que gera empregos diretos e indiretos (COMITÊ et al., 2018; LAFAYETTE et al., 2018).

As etapas construtivas ocorrem, na grande maioria das vezes de forma manual, intensificam-se os desperdícios e o descarte indevido dos resíduos. A quantidade, já preocupante de resíduos da construção e demolição tendem a aumentar aproximadamente 70% (3,40 bilhões de toneladas) até 2050 (MAK et al., 2019). Os resíduos podem ser sólidos do tipo inerte, contendo vidro, madeira, plástico, metais, tijolo, concreto, entre outros, que podem ser reutilizados em cerca de 80% (ISLAM et al., 2019). Considera-se resíduos da construção e demolição uma grande variedade de materiais tendo destaque para solos, pedras, cerâmicas, componentes do isolamento, produtos à base de gesso, concreto, ladrilhos, madeira, vidro, plástico, metais, betume, detritos de drenagem, eletrônicos, papelão e embalagem plásticas (KNOERI; BINDER; ALTHAUS, 2011; TANG; LI; TAM; XUE, 2020).

Outro resíduo ordinário da construção civil são as cinzas volantes e escória de alto-forno, materiais comumente misturados no cimento, para diminuir o custo de fabricação, reduzir a extração de matéria-prima e modificar suas propriedades. Esses materiais são gerados na proporção de um bilhão para cinzas volantes e 360 bilhões de toneladas para escória de alto-forno (JUENGER; SIDDIQUE, 2015). O vidro também sofre com demasiado desperdício em sua produção e aplicação. Visto que, em 2010 foi produzido cerca de 425,000 toneladas e apenas 192,000 toneladas foram reciclados, sendo de fundamental importância o melhor reaproveitamento desse produto (ABDOLLAHNEJAD; KHERADMAND; PACHECO-TORGAL, 2017). O descarte do vidro ocorre, na maioria das vezes, por conta das impurezas

presentes, sua cor ou custo (ASHISH; VERMA, 2019). A madeira utilizada na construção civil de forma temporária, para cofragem de estruturas em concreto e instalações provisórias em obras, e também para usos de longo prazo, em estruturas de madeira ou esquadrias (KERN et al., 2018), pode chegar a 30% do volume dos resíduos da construção por conta da cofragem (LU et al., 2011).

Dentre os demais resíduos observa-se a presença dos restos de tijolo em todas as diversas etapas construtivas, sendo utilizado, por exemplo, na construção de muros, paredes internas e externas das edificações, churrasqueiras e outros, onde esse material representa aproximadamente a metade dos resíduos gerados na etapa de alvenaria em uma construção. Pesquisas apontam que reciclar resíduos de concreto e tijolo agregam economicamente em torno de 44,96 milhões de dólares, além de reduzir a emissão de CO₂ e diminuir a solicitação de espaço físico em aterros (APITHANYASAI; SUPAKATA; PAPONG, 2020; COBÎRZAN et al., 2020; ISLAM et al., 2019; SHARKAWI et al., 2018). Desta forma, o reaproveitamento desses materiais é fundamental, para reduzir a quantidade de materiais nos aterros (SCHAMNE; NAGALLI, 2018). Sendo assim, a indústria da construção civil pode incorporar práticas sustentáveis na produção de novos materiais com a reciclagem de seus resíduos.

2.1.1 Tijolo

O Tijolo derivado de argila é um material produzido mundialmente e em grande escala, cerca de 86,660 toneladas de lodo de cerâmica é gerado anualmente no Brasil, e mais de 1 trilhão de unidades de tijolos cerâmicos produzidos em escala mundial, com um valor próximo de US \$ 1,837 bilhões, crescentes referentes a indústria global de blocos de tijolo e alvenaria, onde 70% é representado pelo tijolo de argila (FARIA et al., 2019; NANDI et al., 2015; ZHOU et al., 2020). Podendo desempenhar diferentes funções em uma edificação, desde estrutural, como uma coluna até a função de vedação, como paredes internas ou externas de uma edificação ou ainda na construção de um muro (GUIMARÃES et al., 2015; JIAO; XIA; SHI, 2019; JONAITIS; ZAVALIS; OGANIAN, 2017).

Seu processo de fabricação tradicional pode ser com queima ou secagem ao sol, onde, deve-se preparar a argila, moldar no formato desejado e então deixar secar ao sol ou queimar em um forno com temperaturas de queima padronizadas (ABBAS; SALEEM; KAZMI; MUNIR, 2017; AL-FAKIH; MOHAMMED; LIEW; NIKBAKHT, 2019).

A resistência mecânica a compressão dos tijolos cerâmicos que seguem o processo de queima costuma ser superiores dos secos ao sol, porém essas e outras propriedades variam não

apenas por conta dos processos produtivos, mas também a natureza e composições químicas da argila utilizada (SYED M.S. KAZMI, ABBAS, SALEEM, MUNIR, & KHITAB, 2016). É possível verificar a composição química do tijolo oriundo de cerâmica vermelha na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição químicas do tijolo

Composição química	(% em peso)
SiO ₂	52,94
Al ₂ O ₃	14,83
Fe ₂ O ₃	11,48
MgO	1,39
CaO	8,11
Na ₂ O	1,74
K ₂ O	1,33
SO ₃	0,08
Cl	-
Lol	8,1

Fonte: Adaptado de (SUBASHI DE SILVA; HANSAMALI, 2019).

Como foi possível observar na Tabela 1, o tijolo de cerâmica vermelha apresenta em predomínio de sua composição química dióxido de silício, também conhecido como sílica. Isso pode aumentar a absorção de água do tijolo.

Contudo, a produção de tijolos de argila gera impacto negativo ambiental pela emissão de gases de efeito estufa e demandam uma exploração intensa de matéria-prima por meio da mineração, reduzindo assim os recursos naturais de argila (AL-FAKIH et al., 2019; KAZMI et al., 2016b, 2016a; SUBASHI DE SILVA; MALLWATTHA, 2018). Esses e outros fatores de impacto negativo ao meio ambiente sinalizam a urgente necessidade de aproveitar ao máximo esse material e reincorporar seus resíduos em novos produtos de diversos setores, como por exemplo, materiais da construção civil, gerando assim produtos mais verdes (ESMERAY; ATIS, 2019; MARY et al., 2018; MURMU; PATEL, 2018).

2.1.2 Materiais reciclados na construção civil

A geração de resíduos por ser constante e intensa na indústria da construção civil, torna-se uma preocupação interdisciplinar e multinacional. O setor da construção e demolição tem destaque nos indicadores de maiores geradores de resíduos sendo aproximadamente 84 Mm³ ano conforme dados da Associação Brasileira de Resíduos de Demolição (ABRECON),

onde próximo de 70% são descartados em aterros passando apenas por um simples processo de britagem (AZEVEDO et al., 2020; SOMMERHUBER et al., 2017).

Desenvolver produtos com a incorporação de resíduos é um desafio, pela compatibilidade química necessária entre os materiais (SOMMERHUBER et al., 2017). Contudo, quando bem sucedidas podem agregar maior resistência a compressão mecânica, reduzir o peso, reduzir taxa de queima entre outras propriedades ou serem reprocessados em novos produtos, como tijolos, telhas e cerâmica (COLANGELO; CIOFFI, 2017; CONTRERAS et al., 2016; OSSA; GARCÍA; BOTERO, 2016).

A maior parte dos resíduos de construção e demolição são inertes, entre 75 a 95%, tais como tijolos, cerâmicas, concreto, ladrilhos, solos não contaminados e pedras, favorecendo, assim, sua reutilização (COELHO; DE BRITO, 2011). Com base na diversificada e constante geração de resíduos da construção e demolição em grandes proporções, tem-se a possibilidade de obter modificação físico-químicas em diversos novos produtos e reduzindo a geração de resíduos (KNOERI; BINDER; ALTHAUS, 2011; MAGNONI et al., 2016) gerando uma construção mais limpa, sustentável e com novas tecnologias, que atendem as demandas tecnológicas e traz conforto para os usuários.

2.2 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM NOVOS PRODUTOS

Com uma geração anual de resíduos sólidos superando 17 bilhões de toneladas que prospectam se tornar 27 bilhões de toneladas anuais até 2050, tanto a preocupação quanto a responsabilidades por essas dados é mundial, fomentando de grande preocupação e busca de alternativas para reuso desses materiais (LAURENT et al., 2014; TANG et al., 2020).

Diversos estudos incorporando diferentes resíduos da construção civil estão sendo desenvolvidos nos últimos tempos. Podendo citar como exemplo o uso de resíduo de vidro, plásticos, pneus, e outros para o desenvolvimento de pavimentos asfálticos (HUANG; BIRD; HEIDRICH, 2007). Outro exemplo interessante é o uso de resíduos de concreto, tijolo, vidro, na produção de novos blocos de concreto (MENG; LING; MO, 2018).

O tijolo cerâmico, produzido por meio de barro gera resíduos desde seu processo de fabricação, transporte e aplicação em obras, ocupa a segunda posição no ranking de resíduos mais comuns dos materiais da construção, perdendo apenas para o concreto (TANG et al., 2020). Ao citar alguns estudos destinados a incorporar esse resíduo em outros produtos podemos destacar seu uso na produção de argamassa (HWANG et al., 2019; REIG et al., 2017)

(HWANG et al., 2019), cimento alternativo (ROBAYO et al., 2016) e até mesmo concreto (WONG et al., 2018).

3 METODOLOGIA

O estudo foi classificado como quantitativo experimental com o intuito de desenvolver compósitos de poliuretano com a incorporação de resíduos cerâmico e avaliar seu desempenho em diferentes porcentagens. Caracterizar a massa específica aparente, investigar a absorção de água e verificar a resistência mecânica a compressão dos compósitos.

Os insumos para a fabricação desses compósitos foram poliéster e toluenediisocyanate (2,4-tdi:2,6-tdi, 80:20, Arianos), obtidos da empresa (Audaz Brasil) e resíduo de tijolo, doado pela Kafer Construtora.

A preparação dos compósitos e os ensaios de absorção de água e massa específica aparente ocorreram no Laboratório de Química das Engenharias, enquanto os ensaios de resistência a compressão mecânica ocorreram no Laboratório de Engenharia Civil. Ambos os laboratórios se localizam no bloco “L” da Universidade do Sul de Santa Catarina, no Campus Pedra Branca, Palhoça – SC.

3.1 MATERIAS E PREPARAÇÃO DOS COMPOSITOS

Desenvolveu-se compósitos incorporando resíduo de tijolo em poliuretano com 4 percentuais distintos, sendo 10, 20, 30 40% e 50%, além de espécime de poliuretano.

O resíduo de tijolo que foi coletado do papa entulhos de uma obra em execução, lavado com escovas para retirar poeira e outras sujeiras, (a) quebrado com um martelo, seco em uma temperatura de 100 °C por 24 h, (b) desbastados em um moinho, peneirado em #75 mm (c) e armazenado em béquer, como apresenta a Figura 1.

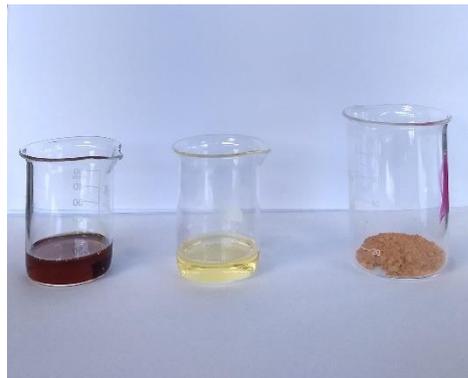
Figura 1 – (a) Tijolo lavado, (b) moinho para abatimento do tijolo e (c) tijolo moído depositados em béquer.



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 1, que apresenta também o tamanho médio que os tijolos tinham ao serem introduzidos no moinho (a) e qual a aparência que eles tinham ao sair do moinho (c). Os reagentes Isocianato, Polioli e resíduo de tijolo moído, insumos para produção dos compósitos são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Reagentes Isocianato, Polioli e resíduo de tijolo moído utilizados para fabricação dos compósitos



Fonte: Autor, 2020.

Na Figura 2 visualiza-se os materiais utilizados. As massas destes foi pesada em balança analítica e os recipientes utilizados na pesagem foram os béqueres apresentados na Figura 2.

Na Tabela 2 destaca-se a massa dos reagentes e resíduo utilizados para composição das amostras de poliuretano e compósitos de poliuretano com resíduo de cerâmica vermelha incorporado.

Tabela 2 – Massa dos reagentes e resíduo.

% DE INCOPORAÇÃO	POLIOL (g)	ISOCIANATO (g)	RESÍDUO DE TIJOLO
0%	12,37	15,12	-
10%	11,00	13,75	02,75
20%	09,62	12,37	05,50
30%	08,26	11,00	08,25
40%	06,87	09,62	11,00
50%	05,50	08,25	13,75

Fonte: Autor, 2020.

Foi possível analisar na Tabela 2 que a massa total do poliuretano (polioli e isocianato) foi substituída em 10%, 20%, 30%, 40% e 50% por resíduo de cerâmica vermelha.

Os moldes onde foram fabricados compósitos para os ensaios de compressão mecânica, massa específica aparente e absorção de água e vaselina utilizada para facilitar o desmolde são apresentados na Figura 3.

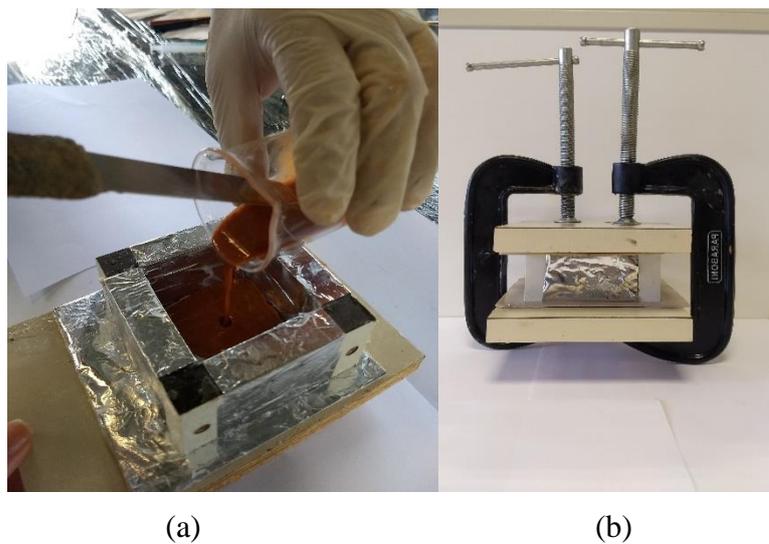
Figura 3 – Moldes para fabricação de compósitos para os ensaios de compressão mecânica, massa específica aparente e absorção de água e vaselina utilizada.



Fonte: Autor, 2020.

Observa-se na Figura 3 que os moldes de madeira foram revestidos com fita alumínio para facilitar os desmolde dos corpos de prova. O processo de fabricação dos compósitos para o ensaio de compressão mecânica, massa específica aparente e absorção de água ocorreu seguindo as etapas de separar e lubrificar os moldes a serem utilizados, pesar os insumos (Poliol, Isocianato e tijolo moído) nas massas necessárias, de acordo com a Tabela 2, (seguindo a ordem de resíduo de tijolo, polioliol e isocianato) homogeneizando a mistura o mais breve possível (entre 5 e 10 segundos), após depositar o isocianato, verter a mistura no molde, conforme apresenta a Figura 4a. O molde foi lacrado com grampos metálicos, demonstrado na figura 4b e esperou-se ocorrer as reações químicas necessárias.

Figura 4 – Mistura dos reagentes sendo vertida em um molde e o molde lacrado com grampos tipo C ou “Sargento”.



Fonte: Autor, 2020.

Como observamos na Figura 4 é preciso cuidado para verter todo o conteúdo do béquer no molde e lacrar o molde, para que não ocorra perda de materiais, visto que a reação possui força de expansão e a perda de massa pode alterar o desempenho do compósito.

3.2 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

O ensaio para determinar a massa específica aparente dos compósitos foi baseado na NBR11506 e ASTM D1622/D1622M, onde foi medido a largura, o comprimento e a altura dos compósitos por uso de um paquímetro digital, e em seguida foram pesadas as amostras em uma balança analítica que apresenta a massa em gramas (g). Com os valores obtidos podemos calcular a massa específica aparente, obtida por meio da fórmula $\rho = \frac{m}{v}$, onde, ρ = densidade (kg/m^3), m = massa (g) e v = volume (cm^3).

3.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção de água teve como base a NBR6578 e ASTM D570. Os corpos de provas foram submergidos em um béquer de 1L por 15 min e em seguida repousaram em uma superfície de tela a 30° em relação a posição vertical por mais 15 min, para o escoamento do excesso de água e então pesou-se as amostras, obtendo assim o valor de massa inicial. Em seguida, as amostras foram novamente submergidas, desta vez por 24 h. Quando retiradas da água, novamente repousaram em uma superfície de tela a 30° em relação a posição vertical por 15 min, para o escoamento do excesso de água e pesadas para obtenção da massa final.

Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem e podem variar em 2%. A equação é expressa da seguinte maneira:

$$\frac{Mf - Mi}{2*(L*C) + 2*(L*A) + 2*(C*A)} * 100$$

Onde “Mf” representa a massa final, “Mi” a massa inicial, “L” a largura das amostras, “C” o comprimento das amostras e “A” a altura das amostras.

3.4 RESISTENCIA MECÂNICA DE COMPRESSÃO

A confecção dos corpos de prova ocorreu seguindo as orientações da norma NBR 8082 e ASTM D1621—16, assim como o ensaio de resistência mecânica a compressão, que ocorreu no laboratório de engenharia civil da Universidade do sul de Santa Catarina.

O equipamento EMIC DL-30000 (Figura 5) foi utilizado para realização do teste, a uma velocidade de 2,5 mm/min e com uma célula de carga de 5 kN, as amostras foram submetidas a carga até ocorrer a deformação de 10%, gerando então gráfico de resistência a compressão axial por deformação.

Figura 5 – EMIC DL-30000



Fonte: Autor, 2020.

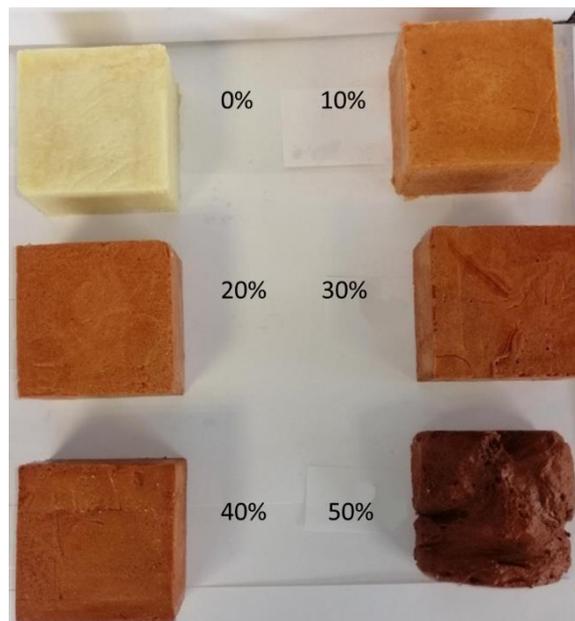
Por meio da Figura 5 é possível visualizar o equipamento utilizado no teste e uma amostra sendo comprimida. Todos os procedimentos orientados pelo manual do equipamento foram seguidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MATERIAS E PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

O poliuretano e os compósitos de poliuretano com incorporação de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de cerâmica vermelha podem ser visualizados na Figura 6.

Figura 6 – poliuretano e compósitos de poliuretano com incorporação de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de cerâmica vermelha.



Fonte: Autor, 2020.

Na Figura 6, o aspecto homogêneo dos espécimes desenvolvidos foi devido a uma homogeneização dos insumos e preenchimento total do volume do molde, com exceção no percentual de incorporação de 50%. No compósito com 50% de cerâmica vermelha, o volume do molde não foi completamente preenchido, como pode ser observado na Figura 6.

Ao produzir amostras em maior escala, para os ensaios de compressão mecânica e massa específica aparente, as amostras com o percentual de 40% não preencheram o volume do molde por completo, sendo possível ensaiar apenas os corpos de prova com poliuretano e 10% 20% e 30% de massa de cerâmica vermelha incorporada ao poliuretano.

4.2 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Na Tabela 5 a massa específica aparente dos compósitos desenvolvidos, assim como a média e o desvio padrão desses dados foi apresentada.

Tabela 5 – Massa específica aparente dos corpos de prova de poliuretano e compósitos de poliuretano com 10%, 20% e 30% de resíduo de cerâmica vermelha.

% de Incorporação	Massa específica aparente (g/cm ³)						
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	Média	Desvio padrão
0	0,155	0,152	0,146	0,149	-	0,150	0,003
10	0,161	0,157	0,151	0,166	0,156	0,159	0,005
20	0,164	0,165	0,159	0,162	0,166	0,163	0,003
30	0,158	0,165	0,169	0,16	0,166	0,164	0,004

Fonte: Autor, 2020.

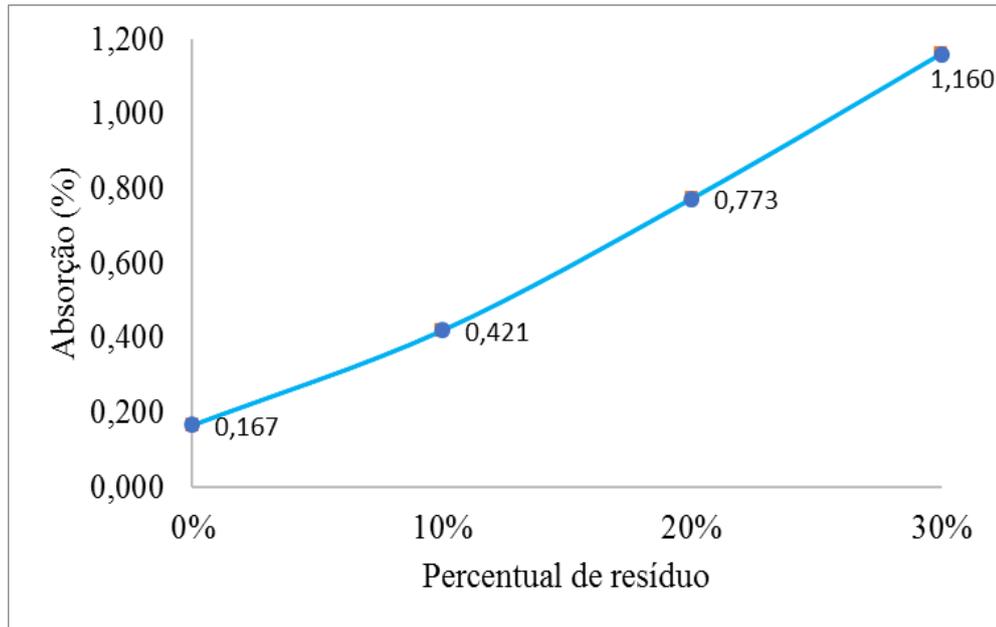
Na tabela 5 foi possível analisar que a massa específica aparente variou de $0,150 \pm 0,003$ (g/cm³) para as amostras de poliuretano a $0,164 \pm 0,004$ (g/cm³) para os compósitos com 30% de massa de resíduo de cerâmica vermelha incorporada ao poliuretano. Essa variação na massa específica pode ocorrer por conta de perda de material durante o processo de homogeneização dos reagentes e moldagem dos corpos de prova. A velocidade de expansão da reação diminui conforme é adicionado resíduo na composição do produto, visto que a ligação química do poliuretano é alterada (LI et al., 2014; MAGNAGO et al., 2017; MARQUES et al., 2018)

O desvio padrão entre os resultados obtidos demonstrando que foi possível reproduzir corpos de prova com similaridades e indicando uniformidade nas amostras. Quanto mais próximo de 0 for o desvio padrão, mais homogêneo são os dados. Foi possível analisar nesse estudo que ao aumentar o percentual de incorporação do resíduo de cerâmica vermelha, se manter o volume do molde, obtém-se compósitos com massa específica aparente similar.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção média de água das amostras de poliuretano e dos compósitos de poliuretano com 10%, 20% e 30% de incorporação de resíduo de cerâmica vermelha pode ser observada na Figura 17.

Figura 17 – Absorções médias de água do poliuretano e dos compósitos.



Fonte: Autor, 2020.

Com base na Figura 17 observou-se notável um aumento, quase linear na absorção de água, conforme ocorreu o aumento de massa de resíduo nas amostras. As amostras de poliuretano apresentaram a menor absorção média de água, 0,167%. Já o maior percentual de absorção de água ocorreu nos compósitos de poliuretano com 30% de incorporação de resíduo de cerâmica vermelha, que foi de 1,160%.

Ao incorporar 10% de resíduo nos compósitos de poliuretano, ocorre um aumento na absorção média de água de 2,52 vezes. Quando incorporamos 20% de resíduo nos compósitos, esse aumento é de 4,62% em relação as amostras de poliuretano. Ao aumentar em 30% a massa de resíduo de cerâmica vermelha em relação ao poliuretano, o valor médio da absorção de água das amostras foi aproximadamente 7 vezes maior.

Através da análise da Figura 17 foi possível perceber que o resíduo de cerâmica vermelha aumentou a absorção de água dos compósitos, devido a porosidade característica da cerâmica vermelha, usualmente fabricada em temperaturas mais baixas e também por apresentar argilominerais, presentes em sua composição e que aumentam a absorção de água (RICHERSON, 2006; SÁNCHEZ et al., 2006).

4.4 RESISTENCIA MECÂNICA DE COMPRESSÃO

As dimensões médias e áreas médias dos corpos de provas que foram utilizadas neste estudo para calcular a tensão máxima do poliuretano e compósitos foram apresentados na Tabela 3, assim seu desvio padrão.

Tabela 3 – Dimensões e áreas médias dos corpos de poliuretano e compósitos de poliuretano com 10%, 20% e 30% de massa de resíduo de cerâmica vermelha.

Resíduo incorporado (%)	Largura média (cm)	Comprimento médio (cm)	Altura média (cm)	Área média (cm ²)
0	6,014±0,013	6,051±0,032	4,055±0,036	36,388±0,258
10	5,981±0,024	6,002±0,042	4,013±0,063	35,927±0,393
20	6,020±0,028	6,001±0,025	4,025±0,055	36,116±0,286
30	5,990±0,033	6,001±0,025	3,980±0,052	36,066±0,347

Fonte: Autor, 2020.

Na tabela 3, as amostras de poliuretano apresentaram dimensões medias de largura 6,014±0,013 cm por comprimento 6,051±0,03 cm por altura 4,055±0,036 cm, com área de 36,388±0,258 cm². As amostras de compósito de poliuretano com 10% de cerâmica vermelha apresentaram dimensões medias de largura 5,981±0,024 cm por comprimento 6,020±0,042 cm por altura 4,013±0,063 cm, com área de 35,927±0,393 cm². As amostras de compósito de poliuretano com 20% de cerâmica vermelha apresentaram dimensões medias de largura 6,020±0,028 cm por comprimento 6,001±0,025cm por altura 4,025±0,055cm, com área de 36,116±0,286 cm². As amostras de compósito de poliuretano com 30% de cerâmica vermelha apresentaram dimensões medias de largura 5,990±0,033 cm por comprimento 6,001±0,025 cm por altura 3,980±0,052 cm, com área de 36,066±0,347 cm². A tabela 3 destaca ainda um baixo desvio padrão nas dimensões e áreas das amostras, indicando que as dimensões das amostras são próximas, reprodutíveis e os resultados dos testes serão mais confiáveis.

A tensão máxima que os corpos de provas suportaram foi descrita na Tabela 4, assim como a média e o desvio padrão desses valores.

Tabela 4 – Resistência a compressão mecânica (Tensão máxima) dos corpos de prova de poliuretano e compósitos de poliuretano com 10%, 20% e 30% de incorporação de cerâmica.

% de resíduo incorporado	Resistência a compressão mecânica (MPa)						
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	Média	Desvio padrão
0	1,5	1,5	1,4	1,4	-	1,5	0,05
10	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	0,05
20	1,2	1,1	1,0	1,1	1,2	1,1	0,05
30	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,0	0,07

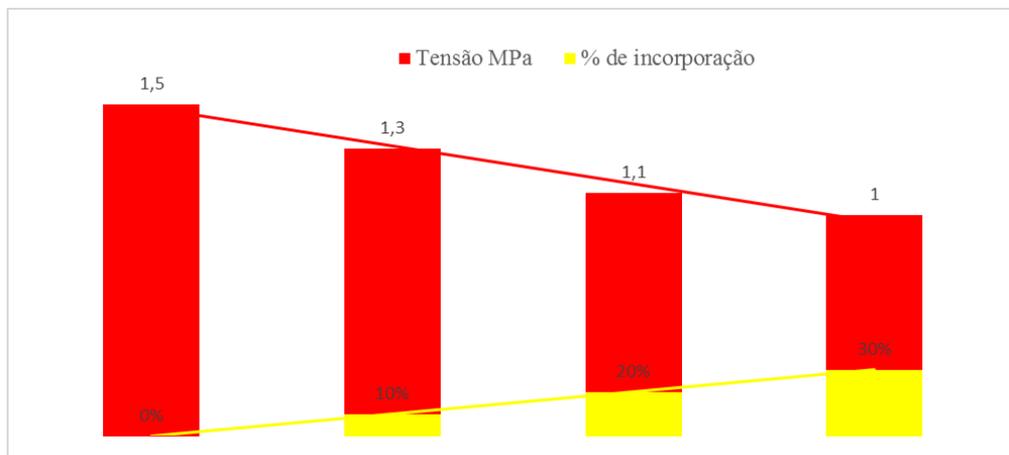
Fonte: Autor, 2020.

Na tabela 4 a resistência a compressão média (Tensão máxima) dos corpos de prova variou de 1,5 MPa para as amostras de poliuretano a 1,0 MPa para as amostras de poliuretano com 30% de incorporação de resíduo de cerâmica vermelha. Deste modo foi observado a queda da resistência a compressão mecânica conforme ocorreu o aumento da quantidade de massa em

percentual de resíduo de cerâmica vermelha substituindo a massa de polioli e isocianato. O desvio padrão dos resultados obtidos foi de 0,05 para as amostras de poliuretano, poliuretano com 10% e 20% de incorporação de resíduo e de 0,07 para as amostras com 30% de incorporação de resíduo de cerâmica vermelha, o que apresenta boa produtividade e confiabilidade ao teste.

A relação de percentual de resíduo incorporado que substituiu a massa de polioli e isocianato e a resistência a compressão mecânica (Tensão máxima) entres as amostras foi possível observado na Figura 7 que apresenta também a linha de tendência desses parâmetros.

Figura 7 – Relação de percentual de resíduo incorporado e resistência a compressão mecânica (Tensão máxima)

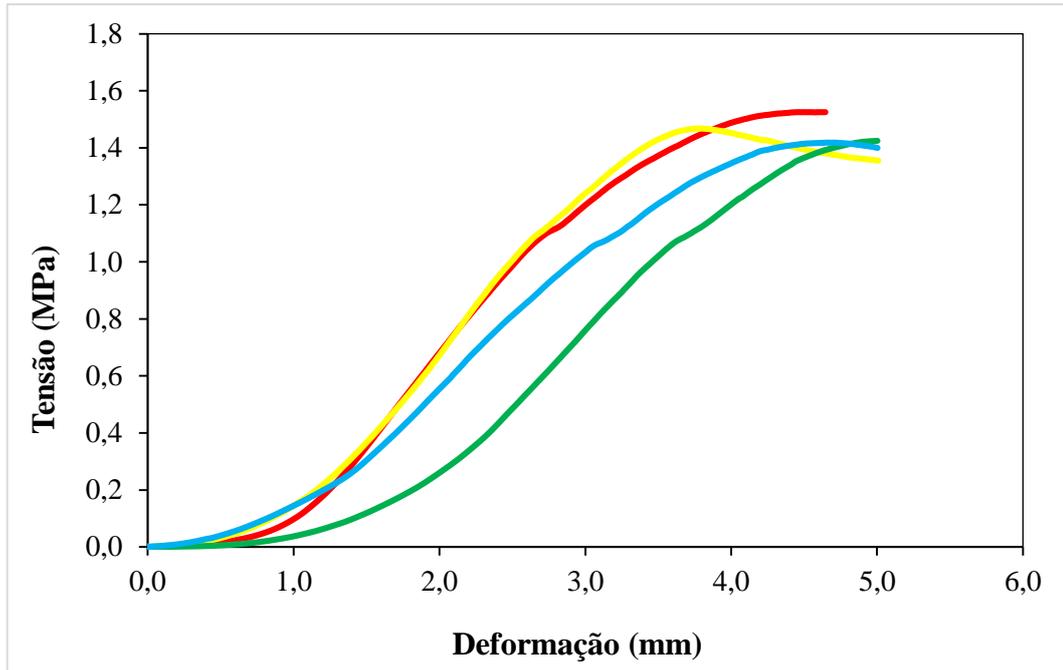


Fonte: Autor, 2020.

Foi possível verificar na Figura 7 que conforme ocorre o aumento do percentual de resíduo de cerâmica vermelha (em amarelo) a resistência a compressão mecânica (Tensão máxima) tende a diminuir. Tal fenômeno por ser resultado de um rompimento nas ligações do poliuretano sem formar novas ligações igualmente resistentes entre poliuretano e cerâmica vermelha (HEIKAL; ISMAIL; IBRAHIM, 2015; KUNTHER; FERREIRO; SKIBSTED, 2017; MARQUES et al., 2019).

Na Figura 8 observou-se o gráfico de Tensão/Deformação das amostras de poliuretano, ou seja, sem a incorporação de resíduo de cerâmica.

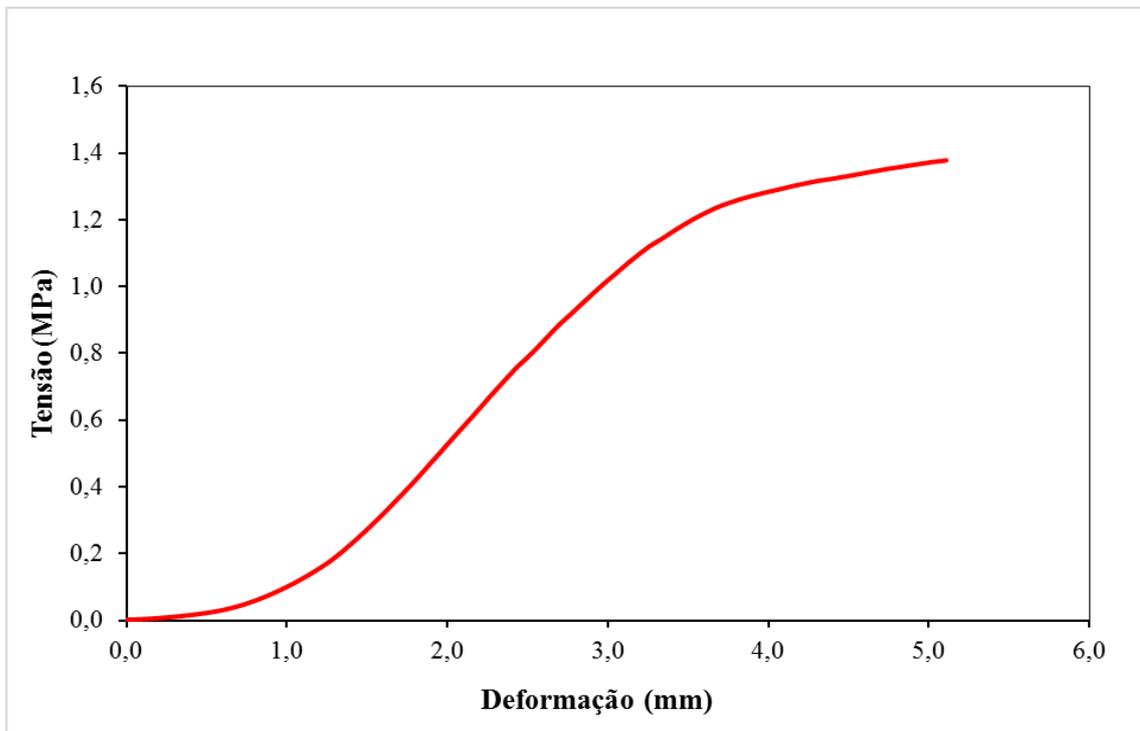
Figura 8 – Gráfico de Tensão/Deformação das amostras de poliuretano.



Fonte: Autor, 2020.

Na Figura 8 observa-se similaridade no desempenho dos corpos de prova, tanto na deformação, quanto na tensão máxima suportada. A Figura 9 apresentou um gráfico com a média Tensão/Deformação das amostras sem a incorporação de resíduo de cerâmica vermelha.

Figura 9 – Gráfico de Tensão/Deformação médio das amostras de poliuretano.

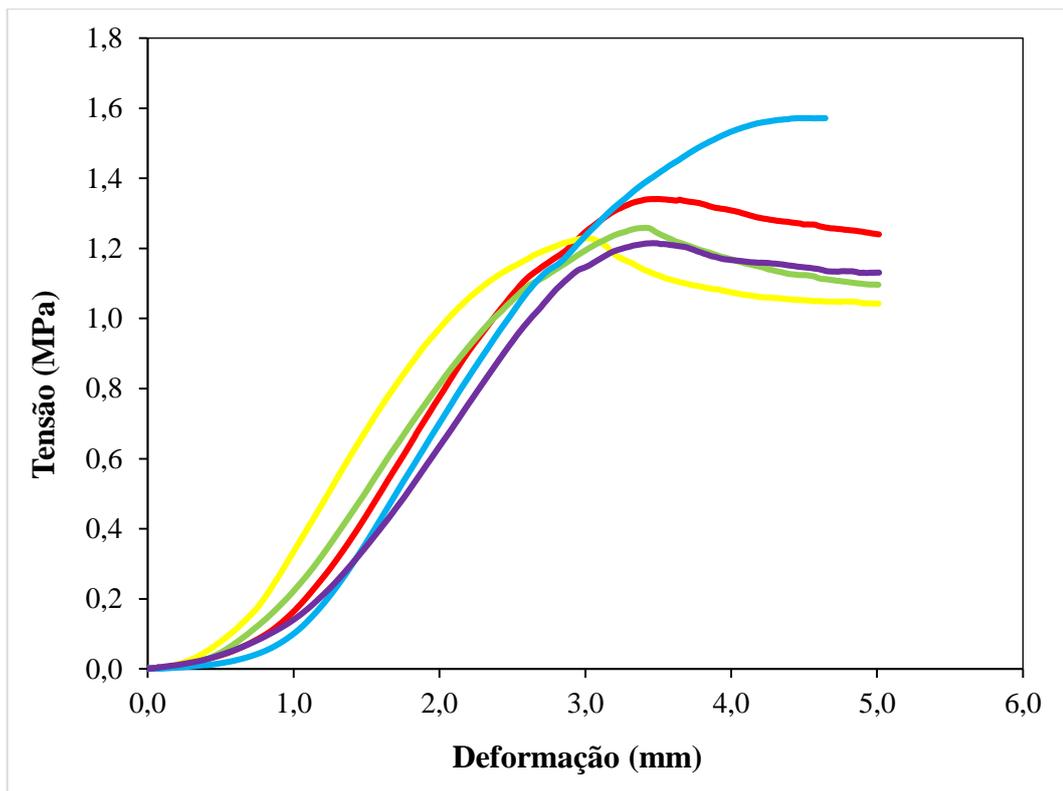


Fonte: Autor 2020.

A média da tensão máxima dos corpos de prova com 10% de resíduo de tijolo apresentada na Figura 9 atingiu 1,5 MPa. Essa informação foi importante para comparar o desempenho médio das amostras conforme ocorrer o aumento de massa de resíduo.

Para os corpos de provas com 10% de resíduo de tijolo podemos observar na Figura 10 o gráfico com o desempenho mecânico dessas amostras.

Figura 10 – Gráfico de Tensão/Deformação com 10% de resíduo de tijolo.

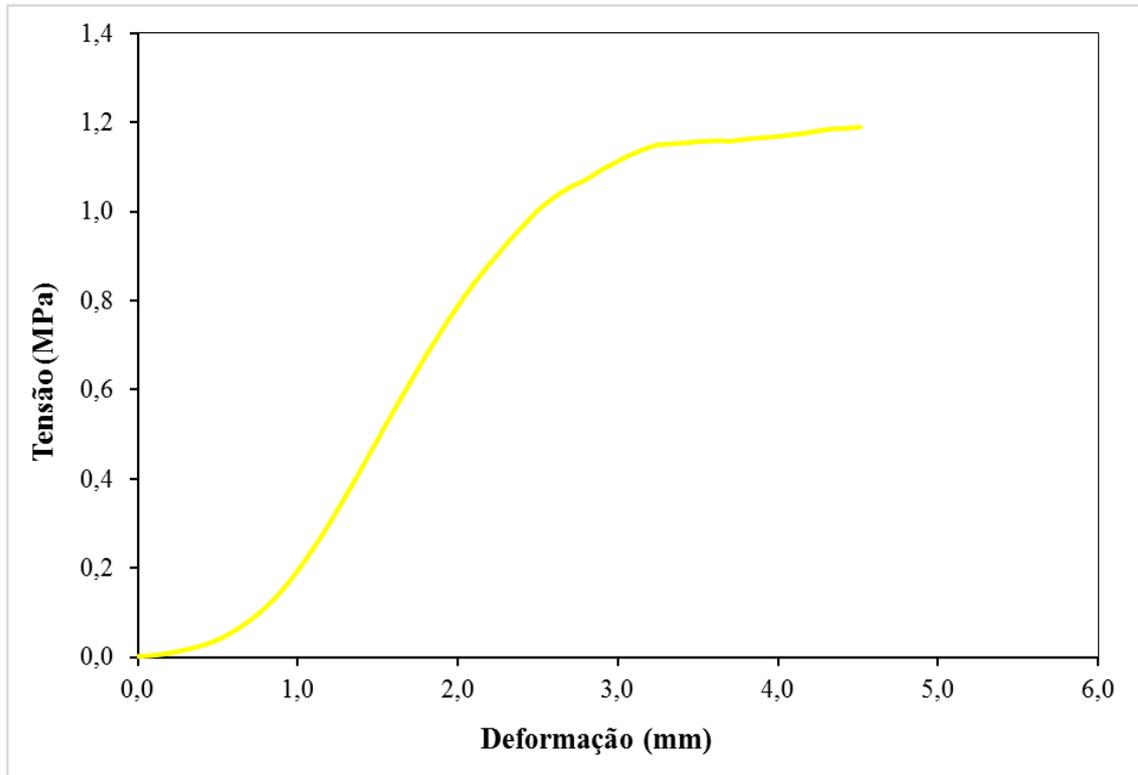


Fonte: Autor 2020.

De modo geral, a curva Tensão/Deformação dos corpos de provas segue em paralelo, com baixa variação na tensão máxima suportada. Foi possível observar na Figura 10 uma diminuição das resistências a compressão mecânica dos corpos de prova, por conta da incorporação do resíduo de cerâmica vermelha.

A Figura 11 apresentou um gráfico com a média Tensão/Deformação das amostras com 10% de incorporação de resíduo de cerâmica vermelha.

Figura 11 – Gráfico de Tensão/Deformação médio 10% de resíduo de cerâmica vermelha.

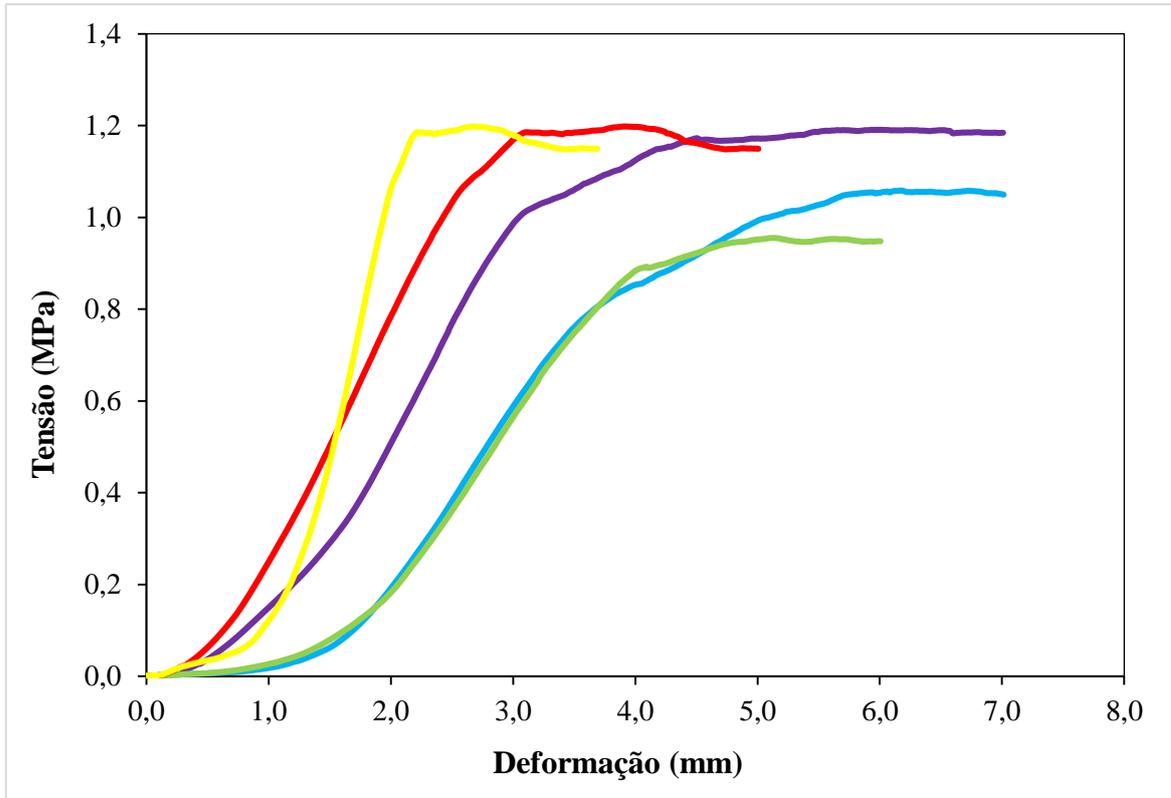


Fonte: Autor 2020.

A média da tensão máxima dos corpos de prova com 10% de resíduo de tijolo que foi apresentada na Figura 11 atingiu 1,3 MPa. Observa-se uma queda de 13,33% na resistência a compressão média (tensão máxima) do compósito por conta da incorporação de 10% de resíduo de cerâmica vermelha.

Quanto aos corpos de provas com 20% de resíduo de tijolo foi possível observar na Figura 12 o gráfico com o desempenho mecânico dessas amostras.

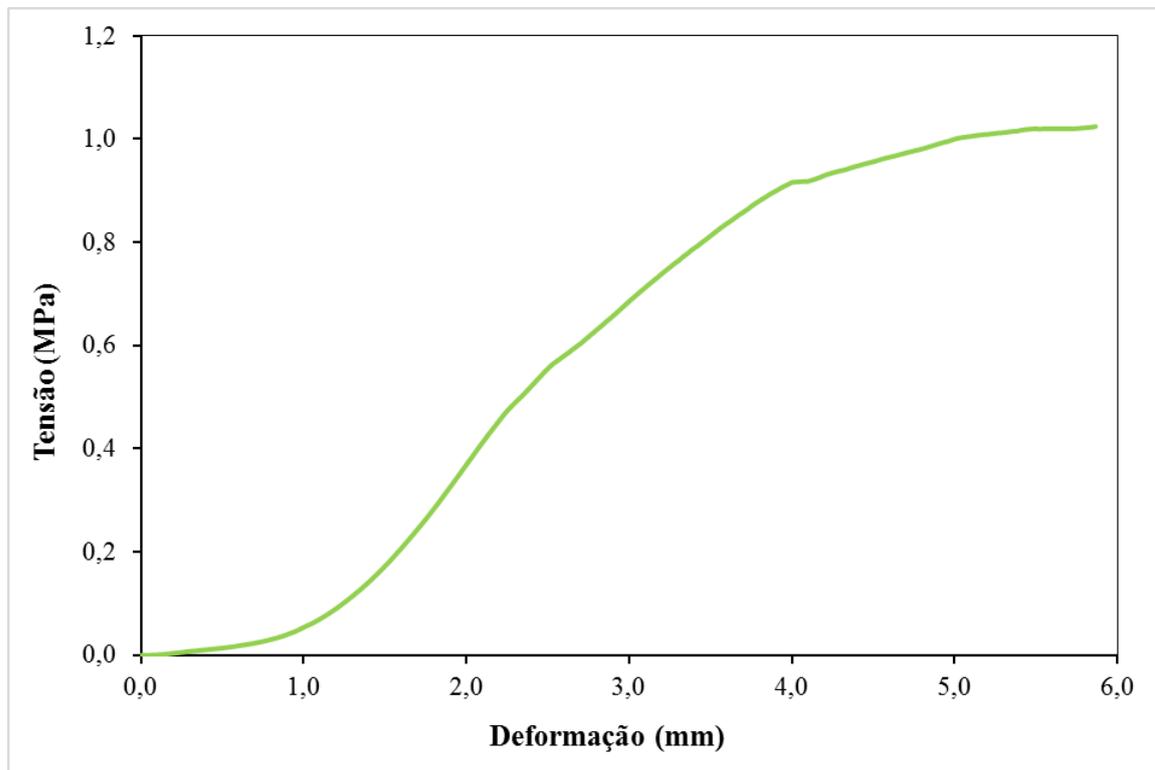
Figura 12 – Gráfico de Tensão/Deformação com 20% de resíduo de tijolo.



Fonte: Autor 2020.

Na Figura 12, observou-se que a resistência a compressão mecânica das amostras é inferior aos compósitos sem a incorporação de resíduo e que a massa mais elevada de resíduo de cerâmica vermelha aumenta a variação do desempenho das amostras. Entretanto, na Figura 12 também foi possível observar que as amostras resistiram valores de tensão máxima próximos. Um gráfico com as médias das tensões máximas apresentadas na Figura 12 foi apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Gráfico de Tensão/Deformação médio 20% de resíduo de cerâmica vermelha incorporado.

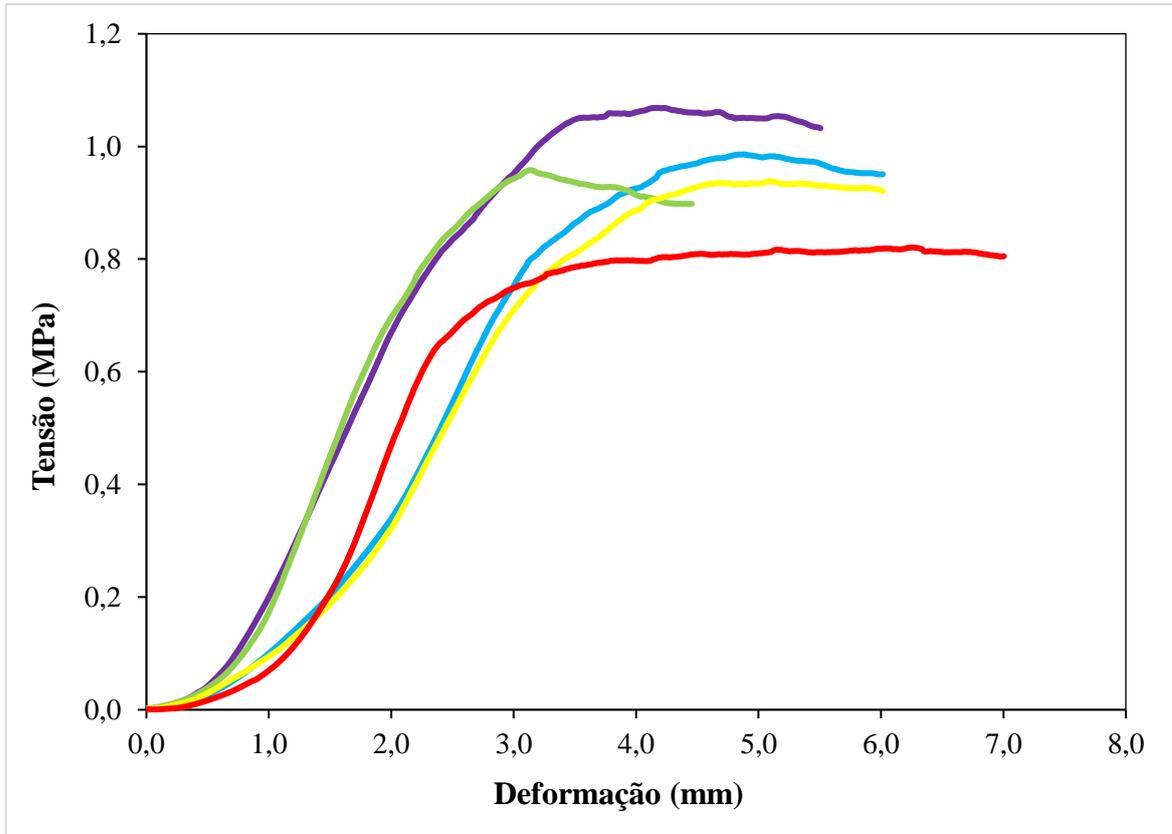


Fonte: Autor 2020.

A Figura 13 apontou uma resistência a compressão mecânica média (tensão máxima) em queda, se comprado com as amostras de poliuretano os compósitos com 10% de resíduo, devido ao aumento de massa de resíduo de cerâmica vermelha incorporado. A tensão máxima média dos corpos de prova com 20% de resíduo de tijolo apresentada na Figura 13 atingiu 1,1 MPa, uma queda de 26,7% se comparado a média dos compósitos sem a incorporação de resíduos.

No que se refere aos corpos de provas com 30% de resíduo de tijolo incorporados foi possível analisar na Figura 14 o gráfico com o desempenho mecânico dessas amostras.

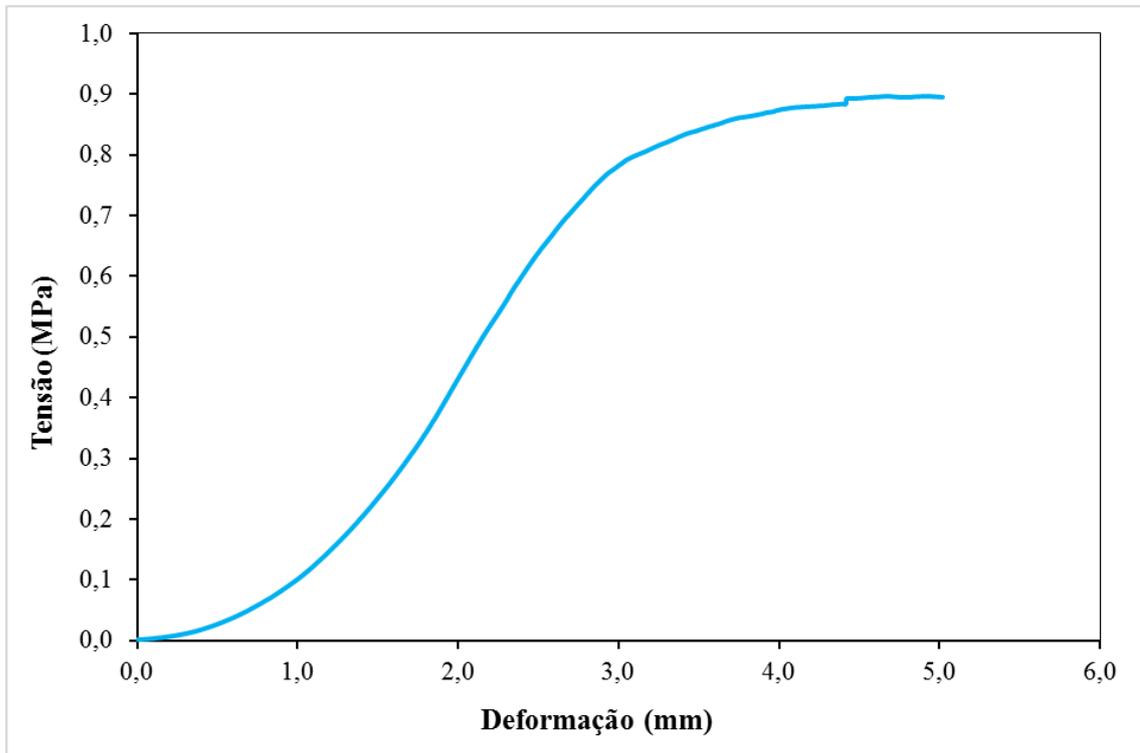
Figura 14 – Gráfico de Tensão/Deformação com 30% de resíduo de tijolo.



Fonte: Autor 2020.

Um comportamento correlato entre as amostras se destacou na Figura 14, assim como uma perda na resistência a compressão mecânica (tensão máxima) em relação as amostras de poliuretano e compósitos com menor percentual de resíduo de cerâmica vermelha incorporado. Um gráfico com as médias das tensões máximas dos compósitos com 30% de resíduo incorporado apresentada na Figura 14 foi exibido na Figura 15.

Figura 15 – Gráfico de Tensão/Deformação médio 30% de resíduo de cerâmica vermelha incorporado.

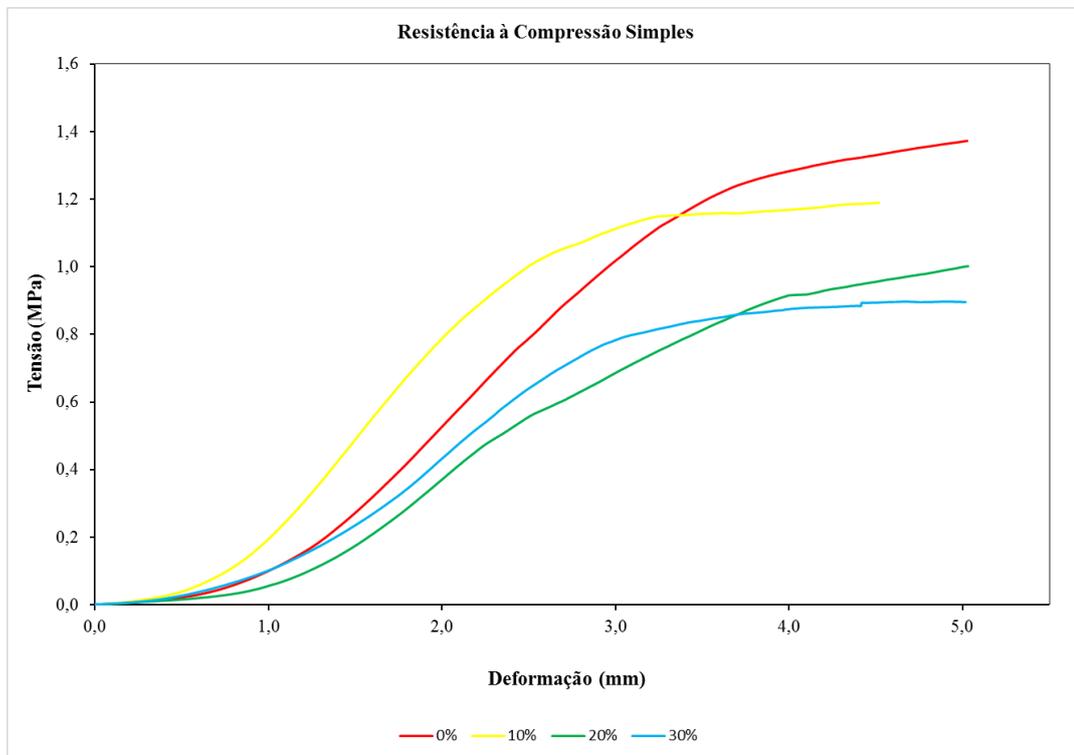


Fonte: Autor 2020.

Identificou-se na Figura 15 o contínuo declínio da resistência a compressão mecânica das amostras por conta do aumento da massa de resíduo incorporado nos compósitos. Com 30% de resíduo de cerâmica vermelha incorporado, a tensão máxima média apresentada na Figura 15 foi de 0,9 MPa, 33,4% a menos em relação ao desempenho apresentado pelas amostras de poliuretano.

Na Figura 16, as curvas médias do desempenho médio das amostras e poliuretano e compósitos com 10%, 20% e 30% de resíduo de cerâmica vermelha, foi apresentada, para analisar o comportamento entre os compósitos.

Figura 16 – Gráfico de Tensão/Deformação média das amostras de poliuretano e 10%, 20% e 30% de resíduo de cerâmica vermelha.



Fonte: Autor, 2020.

Por meio do gráfico das tensões máximas médias, apresentado na Figura 16 notou-se que as amostras apresentaram inicialmente um comportamento elástico e uma deformação plástica, comportamento característico do poliuretano (AKINDOYO et al., 2016; MAGNAGO et al., 2017; MARQUES et al., 2019).

Ainda na Figura 16 destacou-se uma queda no desempenho dos compósitos (Tensão máxima suportada) em paralelo ao aumento da massa de resíduo de cerâmica vermelha, que substituiu em percentuais a massa de polioliol e isocianato presente no poliuretano. Tal incorporação pode ter rompido as ligações do poliuretano sem formar novas ligações igualmente resistentes entre poliuretano e cerâmica vermelha (HEIKAL; ISMAIL; IBRAHIM, 2015; KUNTHER; FERREIRO; SKIBSTED, 2017; MARQUES et al., 2019).

5 CONCLUSÃO

Os compósitos desenvolvidos demonstram uma possibilidade para o reaproveitamento do resíduo de tijolo, que é produzido em grande escala na construção civil, assim como uma alternativa para reduzir o consumo de polioliol e isocianato na produção de placas de poliuretano. Podendo ainda ressaltar que o ideal é incorporar até 30% de resíduo nos compósitos para obter amostras que preencham por completo o volume de seus moldes e apresentam bons aspectos visuais.

A massa específica aparente dos compósitos é similar ao poliuretano. Uma pequena variação pode ocorrer por perda de material na homogeneização ou moldagem.

A absorção de água aumenta quase que de forma linear ao aumento em percentual de resíduo de cerâmica vermelha no poliuretano. A cerâmica é um material que apresenta alta absorção de água, o que pode ter contribuído para esses indicativos.

Quanto a resistência a compressão mecânica, verificou-se que quanto maior a incorporação de resíduo de tijolo, menor é a resistência dos compósitos. Contudo mesmo com a incorporação, os compósitos possuem resistência mínima para manuseio aplicação em obras de reforma e construção, de acordo com a NBR 8082 e ASTM D1621—16.

Segue como sugestão para estudos futuros analisar outros percentuais de incorporação de resíduo de tijolo com Polioliol e Isocianato, como, por exemplo, 5%, 15%, 25% e 35%. Outra sugestão para estudos futuros é analisar outros resíduos da construção civil. Analisar outras características físicas, como, por exemplo a condutividade térmica e acústica desse material é de alta relevância. Por fim, é sugerido substituir o Polioliol e o Isocianato por resíduos capaz de desempenhar o mesmo resultado e trazer desempenho positivo para a incorporação, reduzindo ainda mais o consumo de matéria-prima virgem nesse processo.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, S. et al. Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: Mechanical and durability properties. **Journal of Building Engineering**, v. 14, n. November 2016, p. 7–14, 2017.
- ABDOLLAHNEJAD, Z.; KHERADMAND, M.; PACHECO-TORGAL, F. Short-term compressive strength of fly ash and waste glass alkali-activated cement-based binder mortars with two biopolymers. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 7, p. 1–18, 2017.
- AKINDOYO, J. O. et al. Polyurethane types, synthesis and applications-a review. **RSC Advances**, v. 6, n. 115, p. 114453–114482, 2016.
- AL-FAKIH, A. et al. Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review. **Journal of Building Engineering**, v. 21, n. February 2018, p. 37–54, 2019.
- APITHANYASAI, S.; SUPAKATA, N.; PAPONG, S. The potential of industrial waste: using foundry sand with fly ash and electric arc furnace slag for geopolymer brick production. **Heliyon**, v. 6, n. 3, p. e03697, 2020.
- ASHISH, D. K.; VERMA, S. K. Determination of optimum mixture design method for self-compacting concrete: Validation of method with experimental results. **Construction and Building Materials**, v. 217, p. 664–678, 2019.
- AZEVEDO, A. R. G. et al. Analysis of the compactness and properties of the hardened state of mortars with recycling of construction and demolition waste (CDW). **Integrative Medicine Research**, n. x x, 2020.
- COBÎRZAN, N. et al. ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Microscopical and Macroscopical Analysis of Recovered Bricks for Microscopical and Their Macroscopical Analysis of Recovered Bricks for Assessing Reusability in Masonry Buildings Assessing Their a , Reusability in. **Procedia Manufacturing**, v. 46, p. 144–149, 2020.
- COELHO, A.; DE BRITO, J. Distribution of materials in construction and demolition waste in Portugal. **Waste Management and Research**, v. 29, n. 8, p. 843–853, 2011.
- COLANGELO, F.; CIOFFI, R. Mechanical properties and durability of mortar containing fine fraction of demolition wastes produced by selective demolition in South Italy. **Composites Part B: Engineering**, v. 115, p. 43–50, 2017.
- COMITÉ, O. et al. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS. v. 7, p. 131–145, 2018.
- CONTRERAS, M. et al. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, v. 123, p.

594–600, 2016.

ESMERAY, E.; ATIS, M. Utilization of sewage sludge, oven slag and fly ash in clay brick production. **Construction and Building Materials**, v. 194, p. 110–121, 2019.

FARIA, J. S. DE et al. Incorporation of unserviceable tire waste in red ceramic. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 6, p. 6041–6050, 2019.

GARRIDO, M.; CORREIA, J. R.; KELLER, T. Effect of service temperature on the shear creep response of rigid polyurethane foam used in composite sandwich floor panels. **Construction and Building Materials**, v. 118, p. 235–244, 2016.

GUIMARÃES, A. S. et al. The interface effect in the water absorption in ceramic brick. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1395–1400, 2015.

HEIKAL, M.; ISMAIL, M. N.; IBRAHIM, N. S. Physico-mechanical, microstructure characteristics and fire resistance of cement pastes containing Al₂O₃ nano-particles. **Construction and Building Materials**, v. 91, p. 232–242, 2015.

HUANG, Y.; BIRD, R. N.; HEIDRICH, O. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 1, p. 58–73, 2007.

HWANG, C. L. et al. Performance evaluation of alkali activated mortar containing high volume of waste brick powder blended with ground granulated blast furnace slag cured at ambient temperature. **Construction and Building Materials**, v. 223, p. 657–667, 2019.

ISLAM, R. et al. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. **Waste Management**, v. 95, p. 10–21, 2019.

ISLAM, S.; BHAT, G. Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. **Journal of Environmental Management**, v. 251, p. 1–21, dez. 2019.

JIAO, J.; XIA, Q.; SHI, F. Nondestructive inspection of a brick–timber structure in a modern architectural heritage building: Lecture hall of the Anyuan Miners’ Club, China. **Frontiers of Architectural Research**, v. 8, n. 3, p. 348–358, 2019.

JONAITIS, B.; ZAVALIS, R.; OGANIAN, J. Experimental Investigation of the Behaviour of Brick Lintels. **Procedia Engineering**, v. 172, p. 465–472, 2017.

JUENGER, M. C. G.; SIDDIQUE, R. Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 78, p. 71–80, 2015.

KAZMI, S. M. S. et al. Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 29–41, 2016a.

KAZMI, S. M. S. et al. Exploratory study on the effect of waste rice husk and sugarcane bagasse

- ashes in burnt clay bricks. **Journal of Building Engineering**, v. 7, p. 372–378, 2016b.
- KERN, A. P. et al. Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction. **Waste Management**, v. 78, p. 446–455, 2018.
- KNOERI, C.; BINDER, C. R.; ALTHAUS, H. J. Decisions on recycling: Construction stakeholders' decisions regarding recycled mineral construction materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 1039–1050, 2011.
- KUNTHER, W.; FERREIRO, S.; SKIBSTED, J. Influence of the Ca/Si ratio on the compressive strength of cementitious calcium–silicate–hydrate binders. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 5, n. 33, p. 17401–17412, 2017.
- LAFAYETTE, K. P. V. et al. Analysis of generation and characterization of construction and demolition waste on construction sites in the city of Recife, Brazil. **Revista Materia**, v. 23, n. 3, 2018.
- LAURENT, A. et al. Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. **Waste Management**, v. 34, n. 3, p. 573–588, 2014.
- LI, M. et al. Recycling of waste poly(ethylene terephthalate) into flame-retardant rigid polyurethane foams. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 19, p. 1–6, 2014.
- LU, W. et al. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 680–687, 2011.
- MAGNAGO, R. F. et al. Investigating the influence of conduit residues on polyurethane plates. **Polimeros**, v. 27, n. 2, 2017.
- MAGNONI, M. et al. Recycling practices for airport pavement construction: Valorisation of on-site materials. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 59–68, 2016.
- MAK, T. M. W. et al. A system dynamics approach to determine construction waste disposal charge in Hong Kong. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118309, 2019.
- MARQUES, D. V. et al. Recycled polyethylene terephthalate-based boards for thermal-acoustic insulation. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, 2018.
- MARQUES, D. V. et al. Recycled polyethylene terephthalate and aluminum anodizing sludge-based boards with flame resistance. **Waste Management**, v. 92, p. 1–14, 2019.
- MARY, M. L. et al. Energy efficient production of clay bricks using industrial waste. **Heliyon**, v. 4, n. 10, p. e00891, 2018.
- MENG, Y.; LING, T. C.; MO, K. H. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, n. August, p. 298–312, 2018.
- MILLING, A.; MWASHA, A.; MARTIN, H. Exploring the full replacement of cement with

- expanded polystyrene (EPS) waste in mortars used for masonry construction. **Construction and Building Materials**, v. 253, p. 119158, 2020.
- MURMU, A. L.; PATEL, A. Towards sustainable bricks production: An overview. **Construction and Building Materials**, v. 165, p. 112–125, 2018.
- NANDI, V. S. et al. The use of ceramic sludge and recycled glass to obtain engobes for manufacturing ceramic tiles. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 461–470, 2015.
- OSSA, A.; GARCÍA, J. L.; BOTERO, E. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 379–386, 2016.
- PIVNENKO, K. et al. Recycling of plastic waste: Presence of phthalates in plastics from households and industry. **Waste Management**, v. 54, p. 44–52, ago. 2016.
- REBEHY, P. C. P. W. et al. Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 462–473, jun. 2017.
- REIG, L. et al. Compressive strength and microstructure of alkali-activated mortars with high ceramic waste content. **Ceramics International**, v. 43, n. 16, p. 13622–13634, 2017.
- RICHERSON, D. W. **Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design, Third Edition**. 3, revised. ed. New York: 2005, 2006.
- ROBAYO, R. A. et al. Alternative cements based on alkali-activated red clay brick waste. **Construction and Building Materials**, v. 128, p. 163–169, 2016.
- SALESA, Á. et al. Physico – mechanical properties of multi – recycled concrete from precast concrete industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 248–255, 2017.
- SÁNCHEZ, E. et al. Porcelain tile microstructure: Implications for polished tile properties. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 26, n. 13, p. 2533–2540, 2006.
- SCHAMNE, A. N.; NAGALLI, A. Evaluation of the potential application of the precepts of solid waste reverse logistics to the civil construction sector in Curitiba, Paraná. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 22, n. 1–4, p. 24–47, 2018.
- SHAMS, A. et al. Innovative sandwich structures made of high performance concrete and foamed polyurethane. **Composite Structures**, v. 121, p. 271–279, 2015.
- SHARKAWI, A. M. et al. Feasible Construction Applications for Different Sizes of Recycled Construction Demolition Wastes. **Alexandria Engineering Journal**, v. 57, n. 4, p. 3351–3366, 2018.
- SOMMERHUBER, P. F. et al. Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying an environmental sound end-of-life option. **Resources**,

Conservation and Recycling, v. 117, p. 235–248, 2017.

SUBASHI DE SILVA, G. H. M. J.; HANSAMALI, E. Eco-friendly fired clay bricks incorporated with porcelain ceramic sludge. **Construction and Building Materials**, v. 228, p. 116754, 2019.

SUBASHI DE SILVA, G. H. M. J.; MALLWATTHA, M. P. D. P. Strength, durability, thermal and run-off properties of fired clay roof tiles incorporated with ceramic sludge. **Construction and Building Materials**, v. 179, p. 390–399, 2018.

TANG, Z. et al. Advanced progress in recycling municipal and construction solid wastes for manufacturing sustainable construction materials. **Resources, Conservation & Recycling: X**, v. 6, p. 1–22, maio 2020.

VLADIMIROV, V. S. et al. New types of light-weight refractory and heat-insulation materials for long-term use at extremely high temperatures. **Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika)**, v. 68, n. 3–4, p. 116–122, 2011.

WONG, C. L. et al. Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 226–239, 2018.

ZHOU, K. et al. Developing advanced techniques to reclaim existing end of service life (EoSL) bricks – An assessment of reuse technical viability. **Developments in the Built Environment**, v. 2, p. 1–10, 2020.