

# SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO MIÚDO UTILIZANDO RESÍDUO DE REVESTIMENTO CERÂMICO NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Bruna Mendes da Silva<sup>1</sup>  
Poliana Bellei<sup>2</sup>

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi de analisar a substituição parcial e total do agregado miúdo utilizando resíduo de revestimento cerâmico na argamassa de revestimento. O resíduo de revestimento cerâmico utilizado para realização deste estudo foi originado da moagem de peças cerâmicas quebradas no canteiro de obras. A caracterização dos agregados se deu por meio de ensaios físicos descritos no decorrer deste trabalho. Para atingir os propósitos desta pesquisa o processo metodológico foi realizado com base em testes e realização de fotos, a metodologia quanto ao método classifica-se como indutiva, já com relação ao nível de pesquisa classifica-se como explicativa e trata-se de uma pesquisa experimental quanto ao delineamento. A técnica para análise e interpretação de dados originou uma abordagem quantitativa. A substituição aplicada para este estudo foi de 20 %, 40 % e 100 % de resíduo de revestimento cerâmico, o traço utilizado para as argamassas foi de 1:1:6 (cimento: cal: areia média fina), sendo que a relação água cimento variou de acordo com a proporção de substituição. O tempo de cura dos corpos de prova foi de 28 dias, após este período foram realizados testes para verificar sua resistência mecânica. Com a intenção de minimizar os impactos gerados no setor da construção civil, assim como garantir a sustentabilidade ambiental, o reuso de materiais descartados em canteiros surge como alternativa para diminuir o número de aterros, bem como reduzir novas jazidas minerais. Após a análise dos ensaios constatou-se que há otimização dos resultados em relação à resistência a tração na flexão e na resistência à compressão nas argamassas que obtinham substituição em comparação à argamassa de referência (sem adição de resíduo). A pesquisa demonstrou que conforme se aumenta a proporção de substituição, paralelamente aumenta os resultados dos ensaios mecânicos. Estes resultados estimulam novos estudos demonstrando a viabilidade da substituição de materiais, que provém da própria obra, como alternativa para um destino mais sustentável e econômico.

**Palavras-chave:** Argamassa. Resíduo de revestimento cerâmico. Reutilização.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações do setor da construção civil, diz respeito à gestão ambiental, a qual estabelece a função de organizar e destinar os resíduos gerados no processo de execução dos empreendimentos.

---

<sup>1</sup> Trabalho de conclusão de curso da Engenharia Civil, UCEFF. E-mail: Bruna\_bm6@unochapeco.edu.br.

<sup>2</sup> Docente do curso de Engenharia Civil, UCEFF. E-mail: polianabellei@gmail.com.

Os impactos gerados pelo setor aumentam, quando analisado o consumo de matérias primas de origem natural que são extraídas diariamente. Com o tempo, esses materiais podem se tornar escassos. A construção civil utiliza aproximadamente 50 % dos recursos gerados no país, grande parte desses materiais acaba sendo utilizado no beneficiamento de agregados, como a brita e a areia, utilizados para a produção de concretos e argamassas (MALTA, 2012).

Agopyan (1987) afirma que única indústria capaz de absorver quase que a totalidade dos resíduos que produz é a construção civil. O reaproveitamento de materiais transforma-se na solução mais prática e viável, para a redução do impacto causado pela geração de resíduos, e ao consumo de matéria prima natural.

Dos resíduos gerados durante a execução a maior parte deles provém de concretos, argamassas e materiais cerâmicos. Esses materiais possuem características físicas compatíveis com os agregados usados nas construções, podendo ser reaproveitado em outros processos (CARDOSO, 2010).

Na atualidade, um dos poucos materiais que podem ser produzidos no canteiro de obras, é a argamassa. Também, é possível comprar embalagens com a mistura pronta, bastando apenas adicionar água para sua utilização, além do material industrializado que é fornecido por concreteira, na quantidade e traço pré-definidos.

A argamassa pode ser definida como uma mistura homogênea de agregados, aglomerantes e água, podendo ou não conter aditivos. É utilizada desde épocas remotas, e comumente utilizada pelos egípcios. Tem por finalidade revestir paredes e tetos, protegendo-as das intempéries do tempo, e realizando a vedação dos mesmos (ABNT/NBR 7200, 1998).

Com o intuito de reutilizar o revestimento cerâmico descartado em canteiros de obra pesquisas estão sendo desenvolvidas com este material, o qual estando pronto para utilização não existe separação de seus componentes, e nem impurezas. Uma das opções para a reutilização deste componente está na substituição pelo agregado miúdo na argamassa.

A construção civil consome grande parte de recursos naturais para execução de seus empreendimentos, e desperdiça grande parte de material, muitas vezes considerado impróprio para utilização em suas obras, seja por defeitos na fabricação ou danificado em seus canteiros. Dentro deste contexto, essa pesquisa define como questão problema: **É possível a substituição parcial e total do agregado miúdo utilizando resíduo de revestimento cerâmico na argamassa de revestimento?**

No entanto, esse estudo tem como objetivo analisar a substituição parcial e total do agregado miúdo utilizando resíduo de revestimento cerâmico na argamassa de revestimento. De acordo com Cardoso (2010), o volume de resíduo gerado poderia ser incorporado ao processo produtivo através do reaproveitamento, devido ao volume das novas edificações, em especial, as construções verticais e condomínios que se alastram na cidade.

Neste sentido, essa pesquisa justifica-se, pois é de fundamental importância reaproveitar os materiais, os quais acabam sendo descartados nas obras, assim minimizando o impacto ambiental gerado.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Uma das grandes preocupações do setor da construção civil, diz respeito à gestão ambiental, a qual estabelece a função de organizar e destinar os resíduos gerados no processo de execução dos empreendimentos.

Os impactos gerados pelo setor aumentam, quando analisado o consumo de matérias primas de origem natural extraídas diariamente. Com o tempo, esses materiais podem se tornar escassos. A construção civil utiliza aproximadamente 50 % dos recursos gerados no país, grande parte desse material é utilizado no beneficiamento de agregados, como a brita e a areia, utilizados para a produção de concretos e argamassas (MALIA, 2012).

Segundo Agopyan (1987), “a construção civil é a única indústria capaz de absorver quase totalmente os resíduos que produz”. O reaproveitamento de materiais transforma-se na solução mais prática e viável, para a redução do impacto causado pela geração de resíduos, e ao consumo de matéria prima natural.

Dos resíduos gerados durante a execução a maior parte deles provem de concretos, argamassas e materiais cerâmicos. Esses materiais, possuem características físicas compatíveis com os agregados usados nas construções, podendo ser reaproveitado em outros processos (CARDOSO, 2010). Nos dias atuais, um dos poucos materiais que podem ser produzidos no canteiro de obras, é a argamassa. Também é possível comprar embalagens com a mistura pronta, bastando apenas adicionar água para sua utilização, além do material industrializado que é fornecido por concreteira, na quantidade e traço pré-definidos.

A argamassa pode ser definida como uma mistura homogênea de agregados, aglomerantes e água, podendo ou não conter aditivos. É utilizada desde épocas remotas, e

comumente utilizada pelos egípcios. Tem por finalidade revestir paredes e tetos, protegendo-as das intempéries do tempo, e realizando a vedação dos mesmos (ABNT/NBR 7200, 1998).

Com o intuito de reutilizar o revestimento cerâmico descartado em canteiros de obra pesquisas estão sendo desenvolvidas com este material, o qual já está pronto para utilização não existindo separação de seus componentes, e nem impurezas. Uma das opções para a reutilização deste componente, está na substituição pelo agregado miúdo na argamassa.

Seguindo essa linha, a presente pesquisa visa o reaproveitamento de revestimento cerâmico antes desperdiçado e descartado, várias vezes de forma inadequada, como substituição de um dos materiais essenciais para confecção da argamassa, o agregado miúdo. O agregado miúdo não possui substitutos compatíveis em relação ao custo original, com isso surge à necessidade de estudos com materiais paralelos, como forma de substituição deste agregado.

## 2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

Todos os dias são descarregados toneladas de resíduos, armazenados em construções, em quantidade considerável. O cimento Portland é um dos exemplos mais comuns, material utilizado em canteiros, gerando um impacto ambiental durante o processo, também utiliza uma grande quantidade de energia e água (MENDONÇA, 2011).

O autor ressalta que o desperdício de água e energia ocorre em maioria nas construções mal planejadas, onde se encontram dificuldades em descartar os resíduos, os quais são responsáveis por boa parte dos emissores de gases de efeito estufa.

Segundo Angulo (2000, p. 25), as principais fontes de ocorrência para a geração dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), são:

Elaboração do projeto, causando erro de contratos e ou modificações no projeto; Intervenção, causando excesso ou ausência de ordens, além de erros no fornecimento; Manipulação dos materiais, causando danos durante o transporte dos materiais e realizando estoques inadequados; Operação e outras ações, causando mau funcionamento dos equipamentos, uso de materiais incorretos, sobras de materiais em dosagens, vandalismos e roubos.

O crescimento acelerado da construção civil no Brasil, demanda de métodos e materiais, que minimizem os prejuízos ao meio ambiente. Segundo Ferreira (2014, p. 55), "Para fazer uma reciclagem de entulho na obra é importante que haja um rigoroso controle de qualidade. É necessário gerar condições para rastreabilidade da utilização do entulho

reciclado para que se possa saber onde é aplicado esse resíduo na obra." Lora e Lindner (2008, p. 37), "A construção civil hoje no Brasil é considerada um dos maiores geradores de resíduos do país".

### **2.1.1 Resíduos de construção e demolição (RCD)**

É considerado RCD, todo material residual provido de construções, reformas e demolições de edifícios ou obras de infraestrutura, estes resíduos podem ser constituídos por telhas, forros, tijolos e blocos cerâmicos, concreto em geral, madeira, argamassa, gesso, tubulações, vidros, entre outros (CONAMA, 2002). "A composição dos RCD vai variar, entre outros fatores, com o tipo, fase e localização da obra e com os materiais, equipamentos e processos utilizados na construção" (MALIA, 2010, p. 27).

Uma das mais importantes características a ser considerada na reciclagem de RCD, é o entrosamento com a questão ambiental e sua abordagem com a atividade que agrega. "Ser sustentável garante ao setor um crescimento acima do esperado e ainda facilita as negociações com órgãos públicos, iniciativa privada e com potenciais parceiros" (OLIVEIRA, 2015, p. 11).

### **2.1.2 RCD na substituição de agregados**

Segundo Mália (2010, p. 33), a reciclagem e reutilização de resíduos podem oferecer três benefícios:

Reduzem a procura sobre novos recursos naturais; diminuem a energia necessária para a produção de novos materiais; e usam resíduos que de outra forma teriam o aterro como destino final. A reutilização é a opção mais desejável em comparação com a reciclagem, porque é mais eficaz na redução do desperdício e na procura de recursos. Ao ser reutilizado, o material recuperado não sofre qualquer tipo de processamento, ao contrário da reciclagem, em que o material usado é reprocessado para a produção de um novo produto similar ou diferente.

"Quando o resíduo coletado da obra puder ser peneirado, obtêm-se uma mistura de argamassa e areia. Esse material pode ser utilizado no processo de fabricação de argamassa de assentamento, argamassa de revestimento e outros, substituindo os agregados naturais" (OLIVEIRA, 2015 p. 19).

No Quadro 1, pode-se observar todo material reciclado na construção civil bem como sua composição e o benefício da utilização.

**Quadro 1: Material reciclado, composição e benefícios**

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	O QUE SE GANHA COM SUA RECICLAGEM?
Fração cerâmica	Tijolo branco, bloco cerâmico, telha cerâmica, placa cerâmica, azulejo cerâmico, revestimento cerâmico, tubulação cerâmica, louça cerâmica e outros derivados.	Aplicado como concreto de menor resistência, por exemplo: bloco, contra pisos, passeio e outros. Pode ser aplicado com argamassa de assentamento ou na forma de sub-base de calçamento, pavimentação, lastros em lagos, córregos e represas.
Fração concreto e rocha natural	Brita (sobra de rocha natural), bloco de concreto, peça pré-moldada de concreto, sobra de concreto, viga, pilar e outros.	Indicado para produção de concreto estrutural, como agregados em artefatos de concreto (brita nº 1,2,3, etc.) e como cascalho granulado para regularização de vias não pavimentadas. Dependendo da granulometria, pode até substituir a pedra britada na construção de lastros e vias.
Fração argamassa	Areia, cimento e cal	Usado na preparação de massa para assentamentos de tijolos e blocos e revestimento de paredes. Com este há redução do traço de areia e cal.

Fonte: Adaptado de Silva e Santos (2014).

Ainda, o Quadro 1 mostra os ganhos com o beneficiamento dos resíduos da construção, destacando os tipos de materiais recicláveis e a composição de cada um deles.

As argamassas, produtos de cerâmica vermelha e revestimentos, provocam uma redução da resistência dos agregados e um aumento da absorção de água. Desta forma, os agregados mistos passam a ter a sua aplicação limitada à concretos de menor resistência, como blocos de concreto, contra pisos, entre outras (SILVA; SANTOS, 2014).

Bavaresco (2001, p. 8), afirma que “Os agregados reciclados possuem todas as condições para serem usados em habitações de interesse social por associar baixos custos com desempenho adequado, podem ser usados em edificações ou na infraestrutura de entorno”. Isso leva ao desperdício de revestimento cerâmico na construção.

### 2.1.3 Resíduos de revestimento cerâmico na substituição de agregados

A cerâmica por ser definida como “A produção de uma pasta cujo componente principal é a argila, sucessivamente queimada e secada a altíssimas temperaturas que confere ao material, resistência e dureza” (FRANCO, 2008, p. 28).

Segundo definição da ABNT/NBR 13816 (1997), a placa cerâmica constitui “Lâmina fina fabricada de argilas e/ou outras matérias-primas inorgânicas, usadas como revestimentos para piso e parede”. É possível dividir os produtos cerâmicos na construção civil em duas categorias: materiais de argila e materiais de três cerâmicos (AMBROZEWICZ, 2012).

“Houve uma grande evolução nos tipos de materiais empregados para o revestimento de fachadas e paredes, principalmente no que se refere a produtos cerâmicos, que literalmente subiram as paredes, uma vez que sua aplicação originaria sempre foram os pisos”. (BORGES, 2009, p. 197)

## 2.2 ESTRUTURA DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Segundo Alvarez, Serqueira e Costa (2005, apud ROCHA, 2012), as primeiras argamassas estão datadas com 10.000 anos de existência, formadas basicamente de cal e areia, encontradas no estado de Israel. Porém, foram os romanos quem desempenharam e melhoraram as técnicas, para cozimento do material, e ainda utilizando adições orgânicas concedendo melhores propriedades de resistência e trabalhabilidade.

Argamassa é definida como uma mistura de aglomerantes e agregados com água, sua característica é a capacidade de endurecimento e aderência. Constituem uma dosagem de cimento e/ou cal, areia e água, isso depende onde será aplicada (ABNT/NBR 7200, 1998).

“As argamassas, junto com os elementos de alvenaria, são os componentes que formam a parede de alvenaria não armada; [...]” (MELITO, 2013, p. 83). O Quadro 2, demonstra os principais usos da argamassa.

**Quadro 2: Principais usos de argamassas**

TIPO DE ARGAMASSA	COMPOSIÇÃO
Argamassa resistente para assentamento de tijolo.	Areia grossa. A mistura será bastarda: 1 cal, 4 areias e 12 cimentos, ou seja para casa 12 partes de argamassa cal/ areia (1:4) uma parte de cimento.
Argamassa de revestimento interno.	Argamassa de cal. Areia média ou fina ou peneirada. 1 cal: 4 de areia.
Argamassa de revestimento externo.	Mistura bastarda 1:4 para 12.
Argamassa de resistência muito grande ou ambiente úmidos (partes enterradas).	Cimento e areia de 1:5 a 1:10 a partir de 1:6 difícil trabalhabilidade.

Fonte: Adaptado de Botelho (2009).

Para a preparação da argamassa, pode-se usar a maneira mecânica ou manual, em qualquer desses casos é necessário que as dosagens sejam realizadas da maneira correta, para que seja alcançado o resultado esperado. Isso somente acontecerá se seguir o traço orientado

pelo responsável técnico da obra, e utilizar equipamentos para facilitar o processo da mistura (AMBROZEWICZ, 2012).

Como pode ser observado no Quadro 2, apresenta os principais usos da argamassa, para casa ambiente e tipo de material, se usa um determinado tipo de argamassa, e com suas diferentes composições.

Os revestimentos de modo geral são sempre constituídos de diversas camadas de materiais diferentes ligadas entre si. Como estão intimamente ligadas, qualquer deformação em uma dessas camadas resultará no aparecimento de tensões em todo o conjunto. Tais tensões dependem da espessura, do módulo de elasticidade e, enfim, de todas as características físicas de cada camada. (FIORITO, 2009, p.23)

De acordo com a ABNT/NBR 13749 (1995), para cada revestimento de argamassa, existe uma espessura, como se pode observar no Quadro 3.

**Quadro 3: Espessuras admissíveis para o revestimento de argamassa**

REVESTIMENTO	ESPESSURA (mm)
Parede interna	$5 < e < 20$ mm
Parede externa	$20 < e < 30$ mm
Tetos internos e externos	$e < 20$ mm

Fonte: Adaptado de NBR 13749 (ABNT, 1995).

Ainda, o Quadro 3 apresenta as espessuras para revestimento que são determinadas pela norma, para Franciscon (2010), “[...] no caso do revestimento do tipo emboço e reboco, a camada de reboco deve ter, no máximo, 5 mm, sendo o restante da espessura referente à camada de emboço. No revestimento do tipo massa única, a espessura admissível é relativa a essa camada”.

“Todos os materiais empregados nas construções estão sujeitos a dilatações com o aumento de temperatura, e, a contrações com a sua diminuição. A intensidade desta variação dimensional, para uma dada variação de temperatura, varia de material para material” (THOMAZ 1989, apud SILVA; SANTOS, 2014, p. 38).

### 3 METODOLOGIA

O tipo de método utilizado nesse trabalho é o indutivo. Para Gil (2008, p. 11), “Parte-se da observação de fatos ou fenômenos cujas causas se deseja conhecer. A seguir, procura-se

compará-los com a finalidade de descobrir as relações existentes entre eles. Por fim, procede-se à generalização, com base, na relação verificada entre os fatos ou fenômenos”.

**Quadro 4: Material, ensaios, normas e equipamentos**

Areia	Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248/03	Estufa; Balança analítica; Peneiras da série normal e intermediárias, com tampa e fundo; Agitador mecânico de peneiras; Bandejas; Pincel.
	Determinação da Massa específica	NBR NM 52/09	Balança analítica; Frasco aferido de 500cm <sup>3</sup> ; Molde tronco-cônico; Haste de compactação.
	Determinação da Massa Unitária e do volume de vazios	NBR NM 45/06	Balança analítica; Pá; Recipiente; Estufa.
Resíduo de revestimento cerâmico	Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248/03	Estufa; Balança analítica; Peneiras da série normal e intermediárias, com tampa e fundo; Agitador mecânico de peneiras; Bandejas; Pincel.
	Determinação da Massa específica	NBR NM 52/09	Balança analítica; Frasco aferido de 500cm <sup>3</sup> ; Molde tronco-cônico; Haste de compactação.
	Determinação da Massa Unitária e do volume de vazios	NBR NM 45/06	Balança analítica; Pá; Recipiente; Estufa.
Argamassa no estado fresco	Índice de consistência	NBR 13276/05	Balança analítica; Recipiente cilíndrico; Régua; Soquete metálico; Concha metálica.
	Determinação da retenção de água	NBR 13277/05	Funil de Buchner com bomba de vácuo; Discos de papel filtro; Soquete metálico; Régua metálica; Balança analítica; Cronometro.
	Determinação da densidade de massa e teor de água incorporado	NBR 13278/05	Balança analítica; Soquete metálico; Pá.
Argamassa no estado Endurecido	Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	NBR 13279/05	Moldes prismáticos metálicos; Mesa de adensamento por queda; Nivelador de camadas; Régua metálica; Máquina para ensaios de resistência à tração.

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

O nível de pesquisa deste estudo é classificado como pesquisa explicativa. Para Gil (2008, p. 28), a pesquisa explicativa “[...] têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa, é o que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

Quanto ao delineamento esta pesquisa classificasse como pesquisa experimental. Gil (2008, p. 52), afirma que para a pesquisa experimental, “[...] é necessário que os indivíduos que participam do experimento componham dois grupos: o experimental e o de controle”.

Para atingir os propósitos dessa pesquisa, a forma de coleta de dados é a teste e imagens. De acordo com Roech (2009, apud FIGUEIREDO et al., 2014), os testes “[...] tem a função de medir como ou o que o indivíduo pensa sobre determinado fenômeno”.

Todos os foram realizados no centro Politécnico da UCEFF Faculdades de Chapecó – SC, no período de março de 2017 á Junho de 2017. Os ensaios realizados com para caracterização dos materiais assim como normas e equipamentos podem ser observados no Quadro 4.

A população desta pesquisa são todos os materiais considerados como agregados da argamassa. Para essa pesquisa a amostra se delimitou a utilização de dois agregados (areia e resíduo) na argamassa para execução dos testes.

Para esse trabalho foi realizada uma abordagem quantitativa. De acordo com Figueiredo et al (2014, p. 43), a pesquisa quantitativa é “[...] avaliação através de dados metrificantes (matemáticos/estatísticos), podem ser realizados vários tipos de cálculos e testes com os dados dependendo de como foram coletados; geralmente são apresentados no trabalho através de gráficos e tabelas”.

#### **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Para a produção das argamassas, tanto no processo de colocação, bem como tempo de mistura seguiu-se os padrões da ABNT/NBR 13276 (2005). Em relação aos materiais que fizeram parte da constituição das argamassas, os mesmos foram adquiridos com base nos materiais comumente utilizados em obras na cidade de Chapecó - SC. Com isso, o cimento Portland utilizado foi o CP II Z - 32, fabricado pela empresa Votorantin.

Já, para a cal fora utilizada a cal hidratada CH – II fabricado pela empresa Votoran. A origem do agregado miúdo e resíduo foram dispostos anteriormente. Em relação à água

utilizada, esta provém da rede local de abastecimento (CASAN). O traço adotado para realização desta pesquisa foi de 1:1:6 (cimento, cal, agregado), traço este comumente utilizado em obras na cidade de Chapecó - SC.

A quantidade de água adicionada, variou conforme a substituição do agregado miúdo por resíduo, procurando-se uma homogeneidade entre as variações de material. Esta consistência foi analisada com auxílio de mesa de adensamento.

A confecção das argamassas foi efetuada utilizando um traço referência (REF), o qual somente possuía o agregado miúdo, sem substituições. As outras argamassas sofreram substituição parcial e total do agregado miúdo por resíduo de revestimento cerâmico, sendo essas substituições 20 %, 40 % e 100 %, respectivamente. A Tabela 1 os traços utilizados para confecção das argamassas.

**Tabela 1: Traços utilizados para confecção das argamassas**

TRAÇO DAS ARGAMASSAS 1:1:6					
Argamassa	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Resíduo (g)	Água (g)
REF	500 g	500 g	3000g	-	640g
20 %	500 g	500 g	2400g	600g	640g
40 %	500 g	500 g	180g	1200g	910g
100 %	300 g	300 g	-	1800g	630g

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A mistura dos materiais foi feita com auxílio de argamassadeira. O preparo e adição dos materiais seguiu o disposto na ABNT/NBR 13276 (2005).

Depois da etapa de preparo da argamassa foram utilizadas amostras, com e sem substituição do agregado miúdo, sendo que as mesmas foram submetidas a ensaios, que avaliaram seu desempenho e a caracterizaram, tanto no estado fresco quanto endurecido.

Para iniciar, o ensaio de índice de consistência foi realizado seguindo o disposto na ABNT/NBR 13276 (2005). A Tabela 2 mostra o resultado médio obtido para o ensaio do índice de consistência.

**Tabela 2: Resultados do ensaio do índice de consistência**

Argamassa	Índice de consistência (mm)
REF.	19,43 mm
20 %	16,8 mm
40 %	18,76 mm

100 %	21,66 mm
-------	----------

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

As argamassas produzidas com agregados reciclados (resíduo de revestimento cerâmico) possuem relação água/cimento considerada elevada quando comparada com a argamassa de referência. Esta maior absorção de água é consequência da diferença do teor de finos dos agregados. A argamassa referência e a com 20 % de resíduo de revestimento cerâmico, tiveram a mesma quantidade de água adicionada na mistura, como observado, a argamassa com a adição do resíduo (16,8 mm) perdeu trabalhabilidade em relação a argamassa referência (19,43 mm). Em relação a argamassa com 40 % e 100 % de substituição, as quantidades de água na mistura foram aumentadas, mais ainda para a de 100 %, resultando em uma consistência maior. Quanto maior o percentual de resíduo, maior a necessidade de água para uma mesma trabalhabilidade.

Para determinação da densidade de massa, a realização deste ensaio transcorreu com base na norma ABNT/NBR 13278 (2005). A Tabela 3 expressa a densidade de massa encontrada para as argamassas.

**Tabela 3: Resultados do ensaio de densidade de massa da argamassa**

Argamassa	Densidade de água (g/cm <sup>3</sup> )
REF.	2,10
20 %	2,08
40 %	2,03
100 %	1,90

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Os resultados obtidos com o ensaio demonstram que a utilização de resíduo de revestimento cerâmico na argamassa reduziu a densidade de massa, o ensaio evidenciou que quanto maior a substituição, menor se apresentou a densidade. Isso pode ser observado na pesquisa de Oliveira (2015).

O ensaio de densidade das argamassas decorre da massa específica do agregado miúdo. Os resultados obtidos neste ensaio podem classificar ambas as argamassas como normal indicando facilidade para sua aplicação manual. O ensaio de retenção de água obedeceu ao que segue a norma ABNT/NBR 13277 (2005). A determinação do valor da retenção de água das argamassas, pode ser observada na Tabela 4.

**Tabela 4: Resultados do ensaio de retenção de água**

Argamassa	$R_a$ (%)
REF.	80,2
20 %	96,1
40 %	97,1
100 %	95,5

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A ABNT/NBR 13277 (2005) estabelece que a retenção de água é considerada normal se apresentar valores entre 80 % e 90 % e alta com valores maiores que 90 %. Com a análise dos resultados encontrados neste ensaio pode-se perceber que somente a argamassa de referência apresentou valor como normal e as argamassas contendo substituição comportam-se com alta retenção de água.

A retenção de água é uma propriedade associada à trabalhabilidade da argamassa quando submetida a situações que provoquem a perda de água como a evaporação.

Para ambos os traços de argamassas produzidas, foram realizados ensaios no estado endurecido, que determinaram sua resistência à tração na flexão e à compressão.

O ensaio de resistência à tração na flexão obedeceu aos preceitos da norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Para cada traço de argamassa confeccionado foram moldados três corpos de prova prismáticos em formas metálicas de 4 x 4 x 16 cm. Os ensaios foram realizados aos 28 dias de idade dos corpos de prova.

Mediante Tabela 5 podem ser observados os resultados da média para o ensaio de resistência à tração na flexão após 28 dias de cura.

**Tabela 5: Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão**

Argamassa	Resistência (MPa)
REF.	1,37
20 %	1,83
40 %	2,06
100 %	3,21

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Em relação à resistência à tração na flexão os resultados obtidos apontam um crescimento paralelo de resistência em relação à porcentagem de substituição. O melhor resultado obtido foi com 100 % de substituição. O ensaio de resistência à compressão axial seguiu os preceitos da norma NBR 13279 (ABNT, 2005), a realização do ensaio aconteceu

aos 28 dias de idade dos corpos de prova. A Tabela 6 apresenta os resultados da média para o ensaio de resistência à compressão axial após 28 dias de cura.

**Tabela 6: Resultados do ensaio de resistência à compressão axial**

Argamassa	Resistência (MPa)
REF.	6,74
20 %	7,72
40 %	8,51
100 %	6,72

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O ensaio de resistência à compressão axial se comportou de maneira semelhante ao ensaio de resistência à tração na flexão, obtendo valores de resistência crescente em relação ao acréscimo de resíduo cerâmico como substituto parcial, exceto a argamassa com 100 % de substituição, a qual apresentou menor valor entre todos os ensaios.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios pode-se observar que a substituição do resíduo de revestimento cerâmico teve grande influência em relação às propriedades das argamassas.

Em relação aos ensaios desenvolvidos, a massa específica do resíduo de revestimento cerâmico apresentou desempenho semelhante ao agregado miúdo: 2,62 g/cm<sup>3</sup> (agregado miúdo) e 2,37 g/cm<sup>3</sup> (resíduo de revestimento cerâmico).

No que se refere à massa unitária o resíduo de revestimento cerâmico apresentou valor inferior ao agregado miúdo, confirmando a tendência de que os substitutos em RCD possuem, no geral, menor massa específica e unitária que os agregados naturais, característica causada pela menor densidade e alta porosidade dos compostos reutilizados. A resultante do ensaio de massa unitária foi: 1,56 g/m<sup>3</sup> (agregado miúdo) e 1,11 g/m<sup>3</sup> (resíduo de revestimento cerâmico). Para a composição granulométrica tanto o agregado miúdo quanto o resíduo de revestimento cerâmico foram classificados como “fino” conforme NBR 7711 (ABNT, 2009).

No resultado da curva granulométrica o agregado miúdo e o resíduo de revestimento cerâmico apresentaram curvas dentro dos padrões da norma NBR 7711 (ABNT, 2009). Em relação ao diâmetro máximo para as partículas: o agregado miúdo obteve valor de diâmetro máximo característico (DMC) de 1,18 mm, e o resíduo de revestimento cerâmico de 2,36 mm. Já, para o módulo de finura: o agregado miúdo obteve valor de MF de 2,55 e o resíduo de revestimento cerâmico de 4,2.

No que se refere ao índice de consistência as amostras tanto da argamassa de referência (sem adição de resíduo) quanto às argamassas contendo substituições ficaram dentro do padrão estabelecido pela norma que é de  $255 \pm 10$  mm. Contudo, as argamassas contendo resíduo apresentaram uma maior relação água/cimento em comparação à argamassa de referência, em função da perda de trabalhabilidade que o resíduo acarreta.

Em relação a densidade de massa, as argamassas contendo substituição do agregado miúdo apresentaram valores proporcionalmente menores que a argamassa de referência, fazendo com que a argamassa fique mais leve, ou seja, quanto maior a adição menor o valor obtido para a densidade, confirmando que a densidade do agregado miúdo é maior que o resíduo de revestimento cerâmico utilizado. Os resultados em relação à densidade de massa: argamassa de referência  $2,10 \text{ g/m}^3$ , com substituição de 20 % apresentou  $2,08 \text{ g/m}^3$ , a amostra com 40 % de substituição resultou em  $2,03 \text{ g/m}^3$  e com 100 % totalizou  $1,9 \text{ g/m}^3$ .

A determinação da retenção de água apresentou variação em relação à argamassa de referência e as argamassas contendo substituição, apresentando um acréscimo de retenção nas argamassas contendo substituição parcial e total em relação à argamassa produzida com o traço referência, sendo os resultados obtidos: argamassa de referência 80,2 %, com 20 % de substituição 96,10 %, com 40 % de substituição 97,10 %, e com 100 % de substituição 95,5 %. Em relação à resistência à tração na flexão os resultados obtidos apontam um crescimento paralelo de resistência em relação à porcentagem de substituição. O melhor resultado obtido foi com 100 % de substituição. Os resultados foram: argamassa de referência apresentou o valor de 1,37 MPa, com 20 % de substituição a argamassa obteve 1,83 MPa, com 40 % de substituição o resultado foi de 2,06 MPa, e com 100 % de substituição resultou em 3,21 MPa.

O ensaio de resistência à compressão axial se comportou de maneira semelhante ao ensaio de resistência à tração na flexão, obtendo valores de resistência crescente em relação ao acréscimo de resíduo cerâmico como substituto parcial, exceto a argamassa com 100 % de substituição, a qual apresentou menor valor entre todos os ensaios. Porém todos os resultados obtidos apresentaram valores acima do limite estabelecido pela norma NBR 13281 (ABNT, 2005). Os valores alcançados foram: a argamassa referência 6,74 MPa, com 20 % de substituição 7,72 MPa, com 40 % de substituição 8,51 MPa, e com 100 % de substituição 6,72 MPa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção de resíduo de revestimento cerâmico é de fácil acesso, pois este material é encontrado em canteiros de obra na fase de acabamentos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho era analisar a substituição parcial e total do agregado miúdo utilizando resíduo de revestimento cerâmico na argamassa de revestimento. Após realização de ensaios obteve-se resultados positivos tanto para as argamassas no estado fresco como no estado endurecido.

Primeiramente foi realizada a confecção de um traço referência de argamassa para revestimento, este traço foi confeccionado no laboratório do centro Politécnico da UCEFF de Chapecó – SC, sendo o mesmo igual a 1:1:6.

Na sequência, foi efetuada a dosagem em laboratório das amostras de argamassa com 20 %, 40 % e 100 % de substituição do agregado miúdo por resíduo de revestimento cerâmico, estas amostras foram confeccionadas também no laboratório da UCEFF Faculdades utilizando o traço de 1:1:6 realizando os devidos ajustes nas quantidades de areia e resíduo, bem como na quantidade de água da mistura.

Após, foi realizada análise das propriedades no estado fresco e endurecido da argamassa referência com a argamassa utilizando o resíduo cerâmico, vários ensaios foram realizados. Em relação às características, o resíduo de revestimento cerâmico provocou pequenas mudanças na coloração das amostras, não alterando sua tonalidade e pode-se observar, que conforme se aumentava a proporção de substituição, mais se necessitava inserir água para que sua trabalhabilidade fosse homogênea. Por meio dos ensaios no estado fresco, foi verificado o aumento da retenção de água, e diminuição da densidade de massa, a trabalhabilidade observada pelo ensaio de consistência comprovou que quanto maior a inserção de resíduo, maior a dificuldade em manter o material trabalhável. No estado endurecido, os valores obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, indicam um aumento nas resistências nas argamassas que contém substituição, exceto a argamassa com 100 % de substituição, que no ensaio de resistência a compressão axial apresentou menor valor entre todos os ensaios.

E, por final, foi analisado se o resíduo cerâmico teria condições de substituir parcialmente a areia natural, na produção de argamassa. Constatou-se que de maneira geral, esse resíduo pode ser empregado como agregado miúdo na confecção da argamassa de

revestimento, mesmo que em pequenas quantidades, proporcionando melhorias na argamassa, tanto do ponto de vista ambiental quanto técnico.

## REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V. **Estudo dos materiais de construção civil – Materiais alternativos in:** Tecnologia das Edificações. São Paulo: PINI, 1987.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção:** normas, especificações, ampliação e ensaios de laboratório. São Paulo: PINI, 2012

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC), São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas orgânicas. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:** Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276:** Índice de consistência – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277:** Determinação da retenção de água – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278:** Determinação de massa e teor de água incorporado – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279:** Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529:** Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13816:** Placas cerâmicas para revestimento: Terminologia. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:** Determinação da massa untaria e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:** Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BORGES, A. C.; **Práticas das pequenas construções.** 9ª ed. 2009. São Paulo: Bluch.

CONAMA, Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução n ° 307, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em outubro 2016.

CARDOSO, J. R.A. **Uso do agregado de entulho da construção civil de Manaus – AM para obtenção de bloco de argamassa celular.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. 84p. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br>. Acesso em agosto 2016.

FERREIRA, L. H.; **Sustentabilidade nas obras e nos projetos: questões práticas para profissionais e empresas.** São Paulo: PINI, 2014.

FRANCO, A. L. C. **Revestimento ceramicos de fachada: composição, patologias e técnicas de aplicação.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte / MG, 2008. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br>. Acesso em outubro 2016.

LORA, C.; LINDNER, E. **Diagnóstico dos resíduos da construção civil: Conhecimento em construção: Pesquisas em engenharia civil/ Universidade de Santa Catarina.** Joaçaba : Ed. Unoesc, 2008, p. 37.

MALIA, M. Â. B. **Indicadores de resíduos de construção e demolição.** Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil, 2010. Instituto superior técnico: Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt>. Acesso em novembro 2016.

MENDONÇA, E. J.; **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil;** Planeta Sustentável, 2011. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br>. Acesso em agosto 2016.

OLIVEIRA, B. T. **Uso de resíduos de construção e demolição em argamassa para revestimento de alvenaria.** Poli/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2015. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014872.pdf>. Acessado em: 26 set. 2016.

SILVA, M. A.; SANTOS, V. A. A.. **Reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil em São Luís- MA: um processo sustentável.** Revista do CEDS, Periódico Do Centro De Estudos Em Desenvolvimento Sustentável Da UNDB. N. 1 agosto/dezembro 2014 – Semestral. Disponível em: <http://www.undb.edu.br/ceds/revistadoceds>. Acesso em outubro 2016.

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil.** 2001. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAen4MAE/agregados-a-construcao-civil>. Acessado em: 01 out. 2016.