

VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Gilles Paulo Lunkes Knob¹
Poliana Bellei²
Ailson Oldair Barbisan³

RESUMO

A construção civil, é considerada um dos maiores agentes de degradação do meio ambiente, devido ao volume de insumos minerais consumidos, e a quantidade de resíduos gerados, durante as atividades de construção e demolição. A reciclagem dos resíduos é, portanto, uma forma de contribuir na redução do seu significativo impacto ambiental. A presente pesquisa buscou a substituição parcial do agregado miúdo natural (areia) utilizado na confecção de argamassas de revestimento por agregado reciclado oriundo de argamassa, concreto e tijolo, em porcentagens de 5 %, 25 % e 50 %, onde os mesmos foram analisados a partir de uma argamassa referência. O traço utilizado para a confecção das argamassas foi de 1:1:6 (cimento, cal, areia), sendo que, a relação água cimento foi alterada, de acordo com a proporção de substituição. Para atingir os propósitos desta pesquisa o processo metodológico foi realizado com base em testes e fotos, a metodologia escolhida foi à indutiva, seu nível de pesquisa é explicativo, a técnica para análise e interpretação de dados originou uma abordagem quantitativa. Foram realizados ensaios para analisar as argamassas no estado fresco, e após o tempo de cura dos corpos de prova de 28 dias avaliou-se as propriedades no estado endurecido. A pesquisa demonstrou que é viável a produção de argamassa com substituição parcial do agregado natural por agregado reciclado, possibilitando a utilização deste material para a produção de argamassas de revestimento.

Palavras-chave: Argamassa. Reutilização. Resíduo de Argamassa, Concreto e Tijolo.

1 INTRODUÇÃO

As cidades veem enfrentando variados problemas relacionadas aos resíduos sólidos da construção civil. A baixa cobertura de serviços de coleta e a situação precária das áreas destinadas à disposição final, tornam urgente a implantação de políticas que diminuam o volume dos resíduos sólidos produzidos pela indústria da Construção. Ao mesmo tempo, faz-se necessária, a busca de soluções para o problema da disposição, como o fortalecimento do processo de reciclagem e a reutilização de produtos. O mau gerenciamento desses resíduos contribui para o acelerado esgotamento das áreas de disposição final do lixo urbano, os custos adicionais de governos e o desperdício de recursos naturais não renováveis (BLUMENSCHNEIN, 2007).

¹ Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da UCEFF.

² Docente do curso de Engenharia Civil da UCEFF: polianabellei@gmail.com.

³ Docente da UCEFF. ailsonbarbisan@uceff.edu.br.

No Brasil, o setor da construção civil, é apontado como maior gerador de RCD do mundo, sendo que, a Resolução 307 do Conselho Nacional do meio ambiente, estabelece leis para a gestão dos resíduos (LORA; LINDNER, 2008).

A reciclagem dos Resíduos Construção e Demolição (RCD) nos últimos anos tem trazido debates, pois é de percutido em todos as mídias, a degradação causada pelo ser humano. Desde a existência do homem e todas as espécies que habitam no planeta, interagem com o meio ambiente, modificando e transformando conforme suas necessidades (FERREIRA, 2013).

Na busca pelo bem-estar do meio ambiente, a reutilização de resíduos tem se tornado uma alternativa eficaz na diminuição dos impactos causados pelo consumo desordenado de matéria prima. Com isso, a transformação destes materiais em fonte alternativa do próprio campo que a consumiu, constitui um desafio para o meio técnico científico. Então, a questão problema da pesquisa é: **Qual a viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento?** O objetivo geral dessa pesquisa é analisar a viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento.

2 REVISÃO TEÓRICA

O setor da construção civil é um dos grandes vilões na geração de resíduos, também chamados de entulhos. Esses resíduos são gerados desde o início da implantação do canteiro de obras até o término da construção. A Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA (2002) define os resíduos de construção civil como sendo tudo aquilo que é oriundo de construções, reparos, reformas e demolições de obras de construção civil.

O gerenciamento de resíduos está interligado ao desperdício da mão de obra na execução do empreendimento, o gerenciamento pode ser realizado através do uso de ferramentas, que auxiliam a minimizar a produção desses resíduos (DE PAULA, 2010).

2.1 PROCESSO DE RECICLAGEM UTILIZANDO RCD NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dentro da construção civil são utilizados agregados, considerados materiais granulares, alguns já com definições para uso em obras de engenharia civil, entre eles estão a brita, cascalho e areias que são obtidas pelas rochas (SANTO; LIRA; RIBEIRO, 2012).

Apesar de já haver reciclagem de RCD, ainda se enfrenta certo preconceito dentro do mercado, pois os reciclados devem passar por etapas de desenvolvimento e crescimento. É necessário que os produtos sejam fiscalizados (DE PAULA, 2010).

É possível analisar no Quadro 1, 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, apud MENDES, 2017).

Conforme Quadro 1, 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”.

2.2 TIPOS DE ARGAMASSA

Os tipos de argamassas podem ser de cal, cimento ou misto, isso vai depender do aglomerante que será utilizado. No Quadro 2 é possível ver o uso e funções das argamassas.

Quadro 1 - Usos e funções das argamassas

USOS	FUNÇÕES
Assentamento Estrutural	Suportar esforços mecânicos, unir blocos da alvenaria, fazer a vedação das juntas.
Assentamento Convencional	Unir os blocos da alvenaria e vedar juntas
Assentamento de Acabamentos	Unir elementos de acabamento ao substrato

Fonte: Adaptado de Martinelli e Helene (1991, apud MACCARI, 2010).

Conforme Quadro 2, dos usos e funções das argamassas Franciscan (2010), afirma que a produção da massa pode ser realizada na obra, industrializada ou fornecida em silos, cada tipo interfere de alguma maneira nas atividades, por isso que a organização do canteiro e equipamentos depende de cada situação.

2.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Para que os revestimentos de argamassa possam cumprir adequadamente as suas funções, é necessário apresentar um conjunto de propriedades específicas, que são relativas à argamassa nos estados fresco e endurecido (ROCHA, 2012).

De acordo com Silva (2011), o desempenho satisfatório de uma argamassa para revestimentos quanto a sua função depende das propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido. A correta adequação das propriedades da argamassa no estado fresco permitirá que o revestimento cumpra as funções específicas no estado endurecido.

2.3.1 Propriedades no estado fresco

Segundo Bauer (2005), a caracterização da propriedade no estado fresco deve ser realizada de modo a relacionar parâmetros como consistência e plasticidade, na qual determinam trabalhabilidade das argamassas.

Lemos (2010, p. 13), afirma que, “Para que os revestimentos de argamassa possam cumprir adequadamente suas funções, eles precisam apresentar uma gama de propriedades específicas, relacionadas à argamassa no estado fresco como também no estado endurecido”.

Torna-se importância conhecer o comportamento das argamassas, pois as falhas resultam na perda das características das argamassas. Quando no estado fresco as argamassas possuem diferentes propriedades, como por exemplo: trabalhabilidade, retenção de água, aderência inicial e retração na secagem (THOMAS, 2012).

2.3.2 Propriedades no estado endurecido

As propriedades da argamassa no estado endurecido apresentam uma importância fundamental para o revestimento. Após conhecer as propriedades, é possível realizar uma análise das características do revestimento. As principais propriedades das argamassas no

estado endurecido são: aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, permeabilidade e durabilidade (THOMAS, 2012).

É necessário conhecer as propriedades da argamassa, pois as mesmas correspondem ao comportamento do próprio revestimento, e a partir disso pode-se analisar com maior relevância, principalmente, os casos de aplicação que requerem maior atenção (BAIA; SABBATINI, 2008).

3 METODOLOGIA

A escolha de um tema é o primeiro passo fundamental para realizar uma pesquisa, pois é a definição do que vai ser estudado, bem como realizar o levantamento de dados para facilitar a formulação do problema, para posteriormente identificar respostas, ao final o pesquisador verifica os resultados da pesquisa (GIL, 2010).

O tipo de método científico utilizado nesse trabalho é o método indutivo. Segundo Mascarenhas (2012, p. 53), o método indutivo “parte do pressuposto de que o conhecimento deve ser construído com base na experiência, sem levar em conta os princípios preexistentes”.

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”. O delineamento da pesquisa é classificado como experimental. De acordo com Gil (2008, p. 52), 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 foram testes e imagens. Segundo Roech (2009, apud FIGUEIREDO et al., 2014), os testes “[...] tem a função de medir como ou o que o indivíduo pensa sobre determinado fenômeno”. Para Marconi e Lakatos (2003, p.184), a utilização de imagens é necessário: “[...]abrange a documentação por imagem, compreendendo gravuras, estampas, desenhos, pinturas etc”.

A população alvo para esta pesquisa são os resíduos da construção civil, utilizados como agregados na argamassa. A amostra delimita-se a utilização de três materiais: resíduos de argamassa, concreto e tijolos. Gil (2008) delimita a coleta de dados de duas maneiras, em:

- a) População: é um conjunto com determinadas características, onde referência, habitantes de um determinado local;

- b) Amostra: é um subconjunto da população, onde se estabelece as características da população.

A abordagem utilizada para a técnica de análise e interpretação dos dados foi de forma quantitativa, pois foram usados quadros, tabelas e gráfico para expor os resultados dos ensaios. 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 DADOS

O presente trabalho tem por finalidade analisar a viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento.

Como o entulho é uma mistura de vários materiais e nem todos apresentam interesse para esta pesquisa (gesso, madeira, materiais metálicos, etc.), o resíduo de construção previamente coletado foi selecionado contendo: resíduos de argamassa, concreto e tijolos.

Para o desenvolvimento do trabalho experimental, foi utilizado o laboratório de materiais da UCEFF - Faculdades, campus de Chapecó – SC, com equipamentos de precisão e ambiente adequado. Primeiramente foram realizados ensaios para caracterização dos materiais utilizados na produção da argamassa (areia e resíduo). Na sequência produziu-se as argamassas e realizou-se seus respectivos ensaios no estado fresco e endurecido. O diagrama de execução da parte experimental do trabalho está apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Parte experimental do trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Com isso, os resultados estão apresentados na sequência do trabalho.

4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os resíduos oriundos da construção civil, utilizado nesta experiência provém de resíduos de argamassa, concreto e tijolos. No Quadro 3, demonstra-se os ensaios realizados com o aglomerante e os agregados (cimento, areia e resíduos) utilizados para confecção da argamassa de revestimento.

Quadro 3 - Ensaios de caracterização do agregado

CIMENTO	AREIA NATURAL E RESÍDUOS DE ARGAMASSA, CONCRETO E TIJOLOS
Massa específica: ABNT NBR 16605 (2017)	Granulometria: ABNT NBR NM 248 (2003) Massa específica: ABNT NBR NM 52 (2009) Massa unitária e volume de Vazios: ABNT NBR NM 45 (2006)

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A metodologia aplicada para realização dos ensaios seguiu as recomendações das normas vigentes. Foram desenvolvidos ensaios para a composição análise de características, apresentando os resultados a seguir. O cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland CP II E – 32 (Votorantim), adquirido em uma loja de materiais de construção na cidade de Chapecó-SC. Após realizados os procedimentos do ensaio obteve-se o valor da massa específica do cimento de 2,96 g/cm³.

A areia utilizada nessa pesquisa foi extraída em jazida localizada no litoral de Santa Catarina, e adquirida em uma loja de materiais de construção da cidade de Chapecó - SC. A areia foi deixada por um período de 24 horas em uma temperatura de 110 graus para completa secagem antes da realização dos ensaios, para não interferir na relação água/cimento.

O material utilizado para realização desta pesquisa, os resíduos de argamassa, concreto e tijolos, foram coletados em uma obra situada no município de Guatambú - SC. No local da coleta haviam vários restos/resíduos, as quais seriam descartadas. Em seguida, foram realizadas as etapas de seleção e retirada das impurezas, como materiais metálicos, gesso, madeira, entre outros. Para que os ensaios pudessem ser realizados foi necessária à trituração deste material, para obter granulometria próxima a do agregado miúdo. A moagem do resíduo foi triturada manualmente com auxílio de uma maretá. Após a trituração os resíduos foram feitos um primeiro peneiramento, para a exclusão dos resíduos de maior dimensão.

Os procedimentos de ensaio para o agregado miúdo reciclado seguiram os mesmos procedimentos que para o agregado miúdo. Por meio do ensaio de granulometria verificou-se a porcentagem retida de material em cada peneira, conforme Tabela 1. O resíduo apresenta uma maior diversificação granulométrica, enquanto o agregado natural apresenta uma concentração granulométrica com aproximação de diâmetro. A peneira com 0,15 mm possui uma maior concentração de agregado natural, e a peneira de 0,30 mm do sistema de peneiramento obteve uma maior concentração do agregado reciclado.

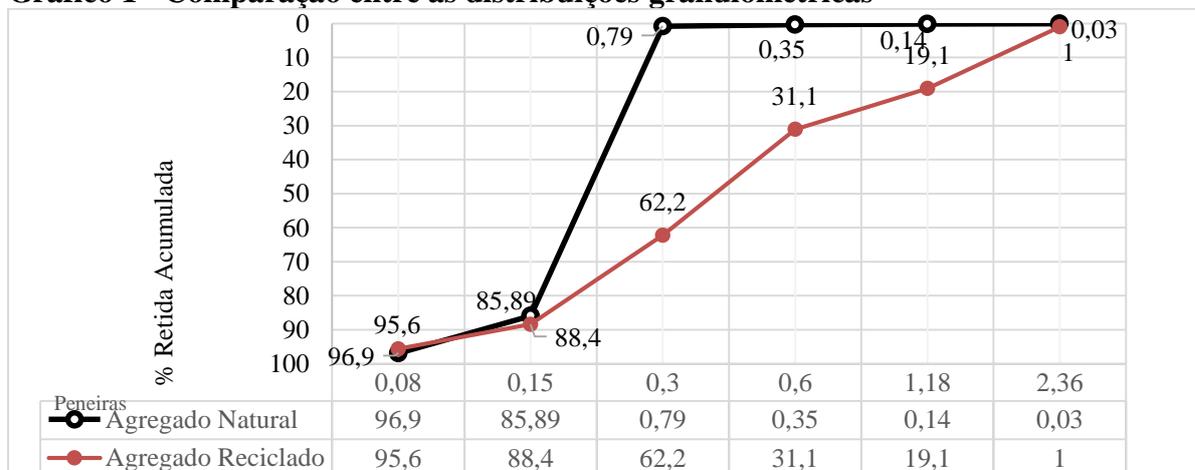
Tabela 1 - Distribuições granulométricas agregado natural e agregado reciclado

Peneiras (mm)	Areia natural			Resíduo reciclado		
	Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
2,36	0,33	0,33	0,03	10	1,0	1,0
1,18	1,09	0,11	0,14	180	18,10	19,10
0,60	2,18	0,21	0,35	120	12,0	31,10
0,30	4,40	0,44	0,79	310	31,10	62,20
0,15	850,60	85,10	85,89	260	26,10	88,40
0,08	109,90	11,01	96,90	72	7,20	95,60
Fundo	31,20	3,10	-	44	4,40	-
Total	999,73	100	100	996	99,90	100
Dimensão máxima característica			Agregado Natural (areia)	0,15	Agregado Reciclado	1,18
Módulo de finura (MF)				1,84		2,97
Zona granulométrica		Zona ótima	Zona utilizável inferior		Zona utilizável superior	

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

O Gráfico 1, mostra a comparação entre as distribuições granulométricas dos materiais.

Gráfico 1 - Comparação entre as distribuições granulométricas



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

O resumo do ensaio de granulometria foi considerado conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009) onde possibilita a classificação do agregado. O ensaio com o agregado natural resultou em um módulo de finura de 1,84, o qual se enquadra na zona utilizável inferior, sem que, conforme a norma varia de 1,55 a 2,20. O ensaio com agregado reciclado resultante em um módulo de finura de 2,97 enquadrando-se no módulo de finura da zona utilizável superior, segundo a norma varia de 2,90 a 3,50.

Referente ao módulo de finura, o agregado natural mostra-se mais fino do que o agregado reciclado podendo influencia diretamente nos outros ensaios, bem como nas propriedades das argamassas, e no desempenho dos revestimentos quanto à fissuração.

Em relação a massa específica do agregado miúdo natural e do agregado miúdo reciclado, os mesmo obtiveram os seguintes valores: 2,57 g/cm³, e 2,08 g/cm³, respectivamente. Pode-se observar que o agregado reciclado apresentou uma menor massa específica que o agregado natural. Possivelmente acarretado pela maior quantidade de poros que os agregados reciclados possuem, e também com diversificação granulometria maior.

Para a massa unitária o agregado miúdo natural obteve o valor de 1,37 g/cm³ e o agregado miúdo reciclado 1,18 g/cm³. Conforme as informações a massa unitária do resíduo do agregado reciclado apresentou valor inferior ao agregado miúdo, confirmando a menor massa específica e unitária que os agregados naturais possuem, característica causada pela menor densidade e alta porosidade dos compostos reutilizados, que faz com que sua massa seja mais leve.

4.2 PREPARAÇÕES DAS ARGAMASSAS

Para a produção das argamassas foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Cimento Portland: CP II E – 32 (Votorantim);
- b) Cal Hidratada: CH – II;
- c) Água potável disponibilizada pela rede local de abastecimento (CASAN);
- d) Agregado miúdo: Areia Natural;
- e) Resíduo da Construção Civil (RCC): argamassa, tijolo, concreto.

A Figura 2 demonstra os materiais utilizados para realização do traço da argamassa de referência com substituição do agregado miúdo por resíduos de argamassa, concreto e tijolos.

Figura 2 - Materiais utilizados para confecção da argamassa com substituição

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

As argamassas foram preparadas de acordo com as orientações da NBR 13276 (ABNT, 2005). O traço adotado para realização dessa 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. Para a confecção dos traços foram adicionados a areia e respectivas substituições parciais por resíduos, em seguida o cimento e a cal, em conjunto.

Através da relação definida no traço referência (REF), o qual somente possuía o agregado miúdo sem substituição, foram confeccionadas argamassas com substituição, sendo, Traço A: 5 %, Traço B: 25 % e Traço C 50 % de porcentagem de agregado miúdo substituído parcialmente por resíduos de argamassa, concreto e tijolos.

O agregado miúdo, resíduo, cimento e cal foram pesados em balança com sensibilidade de 0,01 gramas para maior aproximação dos padrões definidos. Os traços utilizados para a confecção das argamassas são indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Traços utilizados

TRAÇO DAS ARGAMASSAS 1:1:6						
Traço	Argamassa	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Resíduo (g)	Água (g)
REF	REF	500g	500g	3000g	-	800ml
Traço A	Substituição 5 %	500g	500g	2850g	150g	800ml
Traço B	Substituição 25 %	500g	500g	2250g	750g	830ml
Traço C	Substituição 50 %	500g	500g	1500g	1500g	860ml

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A mistura dos materiais foi feita com auxílio de argamasseira, considerando o tempo de mistura conforme a NBR 13276 (ANBT, 2005)

Para o comparativo das argamassas foram realizados os ensaios tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido, tendo por objetivo determinar quais as argamassas possuem melhores propriedades. O Quadro 4 apresenta os ensaios realizados para caracterização das argamassas. Todos os ensaios realizados foram feitos segundo o que determinam as normas.

Quadro 42 - Ensaio realizados e normas correspondentes

ESTADO FRESCO	ESTADO ENDURECIDO
Índice de consistência: ABNT NBR 13276 (2005)	Determinação da resistência à tração flexão e à compressão: ABNT NBR 13279 (2005)
Determinação da retenção de água: ABNT NBR 13277 (2005)	
Densidade e teor de água incorporado: ABNT NBR 13278 (2005)	Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade: ABNT NBR 15259 (2005)

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

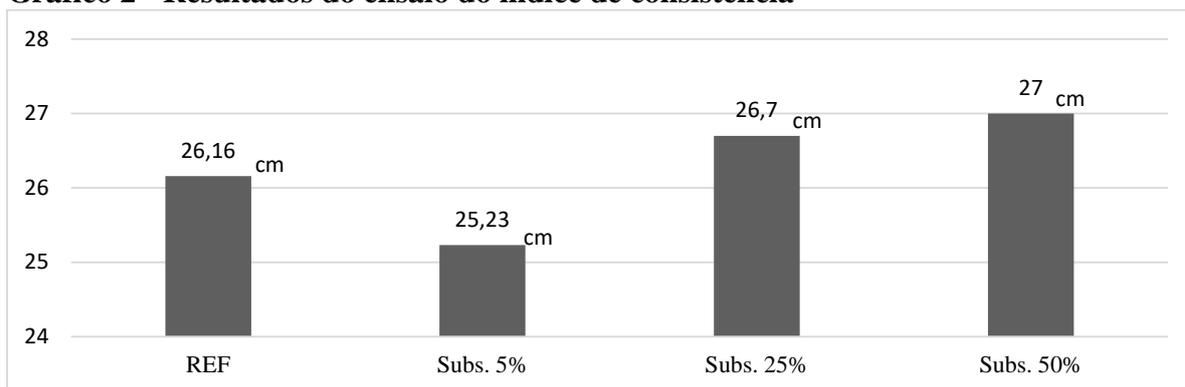
Para a realização dos ensaios conforme o Quadro 4, foram separadas amostras das argamassas após sua produção, tanto da argamassa com substituição do agregado miúdo reciclado como da argamassa referência.

4.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Os ensaios no estado fresco determinam o índice de consistência, densidade de massa e do teor de ar incorporado e a retenção de água.

4.3.1 Índice de consistência

O índice de consistência é um parâmetro ligado diretamente a trabalhabilidade da argamassa. Os valores de índice não devem ser muito elevados pois a argamassa estará muito mole e será difícil de aplicar, e nem muito baixos pois a argamassa não se espalhará na parede. O Gráfico 2 apresenta os resultados obtido.

Gráfico 2 - Resultados do ensaio do índice de consistência

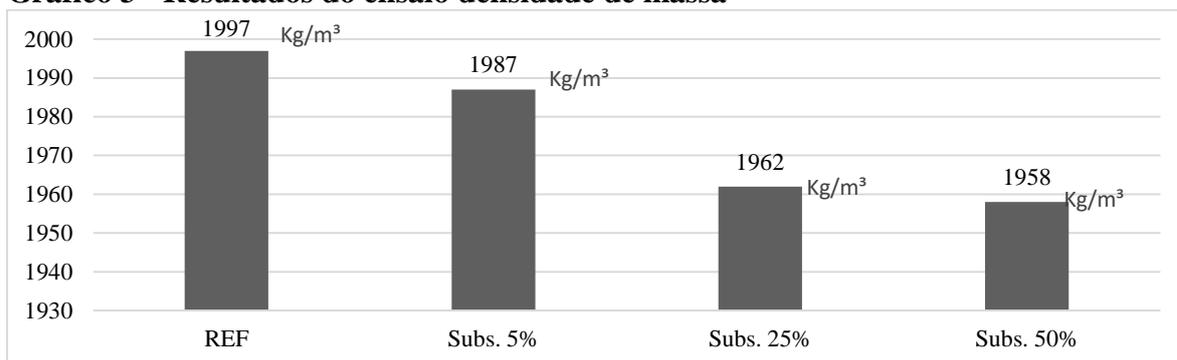
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Em função da perda de trabalhabilidade que o resíduo acarreta, as argamassas contendo resíduos apresentam uma maior relação água/cimento em comparação à argamassa de referência. A argamassa com substituição de 5 % foi adicionada a mesma quantidade de água que o traço referência, por isso foi adicionado uma quantidade de água maior no traço com 25 % e 50 %, para que tivessem uma trabalhabilidade semelhante à usada na obra. Observando assim, que houve uma menor consistência na argamassa com 5 % de substituição. Isso se dá pela grande presença de partículas finas, aumentando assim, a superfície a ser molhada e também a porosidade do agregado.

As amostras tanto da argamassa quanto na substituição do agregado reciclado ficaram dentro do padrão estabelecido pela norma que é de 260 ± 5 mm.

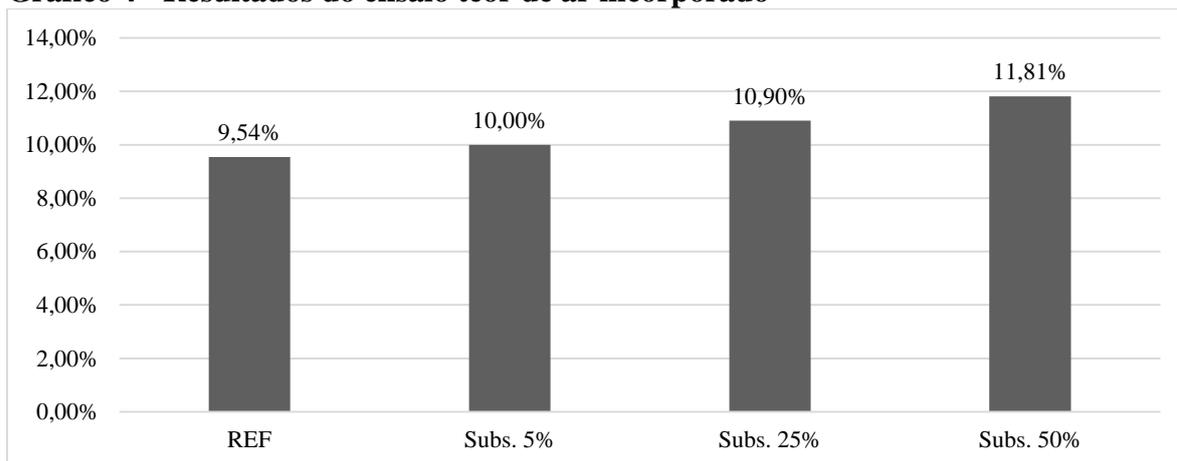
4.3.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

No que se refere a densidade da massa, as argamassas contendo substituição do agregado miúdo apresentam valores menores, que a argamassa de referência, fazendo com que a argamassa fique mais leve tendo menor esforço para ser aplicada. O Gráfico 3 mostra os resultados obtidos.

Gráfico 3 - Resultados do ensaio densidade de massa

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Conforme a classificação à NBR 13281 (ABNT, 2005), todas as argamassas produzidas com suas respectivas substituições ficam na faixa de classificação D4. Os resultados do ensaio de teor de ar incorporado pode-se observar no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Resultados do ensaio teor de ar incorporado

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

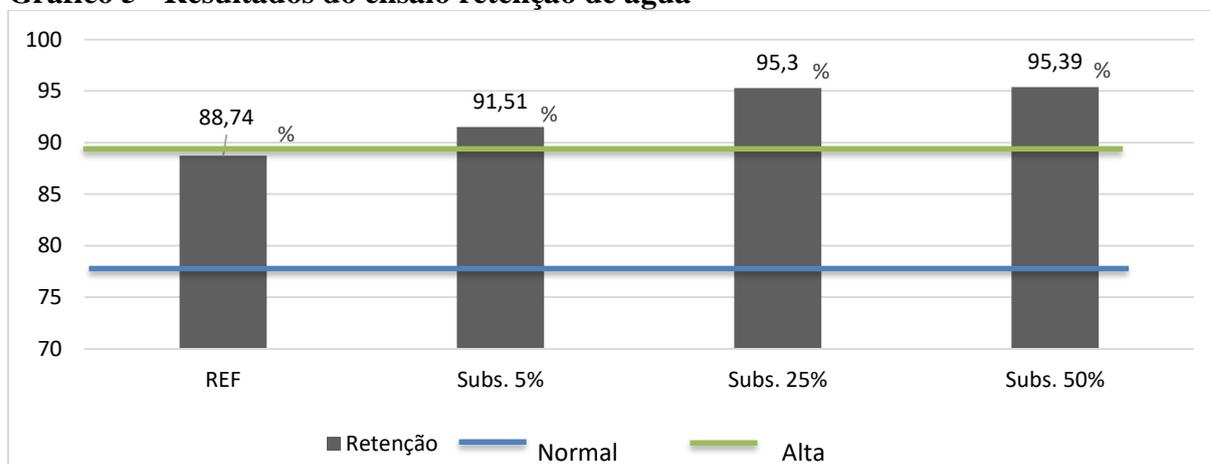
Conforme aumenta-se a substituição parcial do agregado miúdo gradativamente o teor de ar incorporado também aumenta. Por meio da análise dos gráficos, observa-se que quanto menor o teor de ar incorporado maior é a densidade da massa.

4.3.3 Determinação da retenção de água

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

Os resultados de retenção de água para cada traço estudado são apresentados no Gráfico 5, percebe-se que a retenção de água aumenta com a substituição de resíduo.

Gráfico 5 - Resultados do ensaio retenção de água



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A NBR 13277 (ABNT, 2005) estabelece que a retenção de água é considerada normal se apresentar valores entre 80 % e 90 %. Analisando o gráfico pode ser observado que somente a argamassa de referência apresenta valor normal, e as argamassas com substituição parcial de agregado reciclado apresenta alta retenção de água.

Como as argamassas de substituição parcial do agregado apresentaram porcentagem maiores que 90 %, possuem uma probabilidade a ter a aderência entre revestimentos e substrato prejudicada. É importante lembrar que a retenção de água pela argamassa é um fator que confere maior qualidade para a argamassa, uma vez que evita a evaporação da água de amassamento, e minimiza o efeito de perda de água devido à sucção do substrato, nestas condições, contribui para a hidratação do cimento e uma maior resistência da argamassa.

4.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Foram realizados ensaios no estado endurecido que determinaram a absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, e a resistência à tração na flexão e à compressão da argamassas. Para cada traço confeccionado foram moldados seis corpos de prova prismáticos em formas metálicas de 4 x 4 x 16 cm, com idades de ensaio aos 28 dias.

O ensaio para determinar a absorção de água por capilaridade ocupou três desses corpos de prova, e o restante foi destinado ao ensaio de resistência.

O segmento para ruptura dos corpos de prova foi por meio de uma prensa hidráulica com compartimentos especiais para a ensaio à tração na flexão, a velocidade aplicada foi de 50 ± 10 N/s até a ruptura do corpo de prova. Após o ensaio à tração na flexão as metades resultantes dos corpos de prova foram separadas, para a realização do ensaio de resistência à compressão axial, sendo aplicada uma carga de 500 ± 50 N/s até a ruptura do corpo de prova.

4.4.1 Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

A determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade foram obtidos através da média do resultado dos ensaios de três corpos de prova. No Tabela 3 observa-se que o coeficiente de capilaridade teve um valor maior no traço referência, em comparação com traços com substituição de resíduo.

Tabela 3 – Resultados do ensaio absorção de água por capilaridade

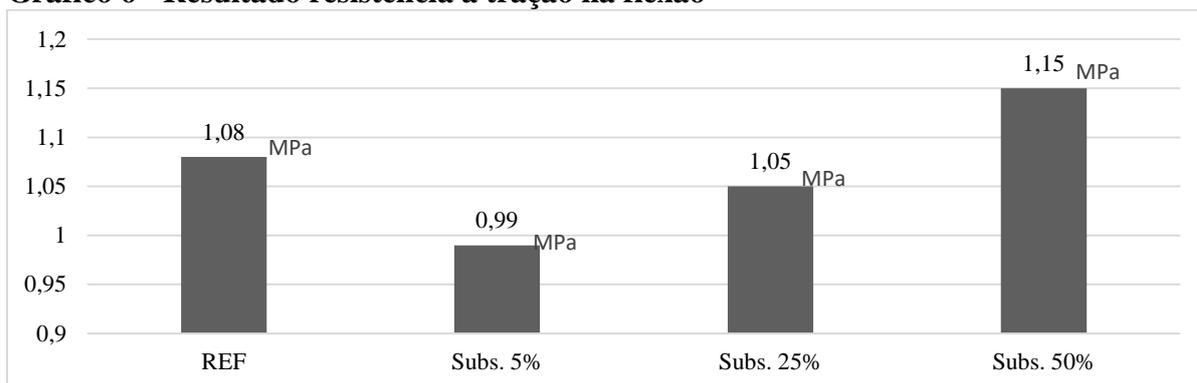
Argamassa	10 min	90 min	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})
REF	0,30	0,60	0,46
Subs. 5%	0,25	0,56	0,40
Subs. 25%	0,20	0,50	0,31
Subs. 50%	0,18	0,50	0,32

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Analisando a capacidade de absorção por capilaridade das argamassas observou-se que as argamassas com adição de resíduos tiveram uma pequena diminuição da absorção em função do aumento do teor de substituição, fato que pode ser explicado pelo aumento de material poroso que acaba fechando maiores poros evitando a entrada de água por capilaridade, e uma maior hidratação do cimento nos traços com 25 % e 50 %.

4.4.2 Ensaio de resistência à tração na flexão e compressão axial

A resistência à tração na flexão pode ser observada no Gráfico 6, onde está indicada a resistência média obtida no rompimento aos 28 dias de cura do corpo de prova.

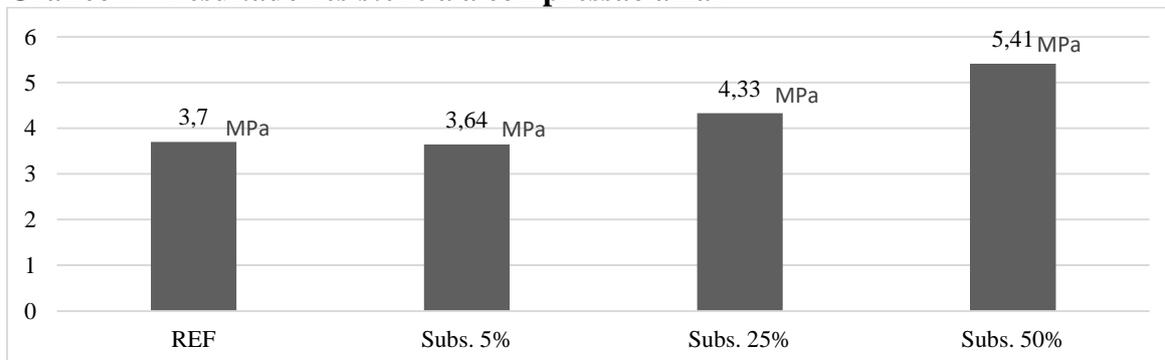
Gráfico 6 - Resultado resistência à tração na flexão

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Para os ensaios flexão, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), apenas o traço com 5 % de substituição do agregado ficou com classificação R1 ($\leq 1,5$ MPa), o restante enquadrou-se na classificação R2 (1,0 a 2,0 MPa). Os ensaios de flexão mostram, que em comparação com o traço referência, apenas o traço com 5 % de resíduo teve valor abaixo de 1 MPa. Já os resultados com 25 % também se mantiveram abaixo do traço referência, e no traço com 50 % teve aumento na resistência.

Para o ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias obteve-se valores de resistência crescentes somente no traço com 5 %, os outros ficaram abaixo do traço referência conforme o acréscimo de resíduo como substituto parcial. Em relação a classificação conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), observa-se que os traços de REF e substituição de 5 %, as argamassas produzidas se classificaram em P3 (2,5 a 4,0 MPa), os ensaios com substituição do agregado com 25 % e 50 % ficaram dentro da faixa de classificação P4 (4,0 a 6,5 MPa).

Os resultados obtidos com base no ensaio podem ser observados no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Resultado resistência à compressão axial

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

O menor resultado foi no traço com 5 % de substituição, que ficou abaixo tanto no ensaio de tração como de compressão. Isso ocorreu possivelmente pela menor consistência e plasticidade da argamassa, a qual obteve menor quantidade de água, em relação aos outros traços, tendo suas características físicas e químicas prejudicadas ocasionando menor resistência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da busca de materiais alternativos, o objetivo geral desse trabalho era analisar a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado natural pelos resíduos oriundos da construção civil (restos argamassa, tijolo e concreto), para a produção de argamassa de revestimento em paredes de alvenaria.

Para isso foi utilizado um traço referência para a produção da argamassa, e outros com 5 %, 25 % e 50 % de substituição do agregado miúdo por resíduo de construção, essas argamassas foram confeccionadas no laboratório do centro Politécnico da UCEFF Faculdades de Chapecó-SC, utilizando o traço de 1:1:6.

Em relação as propriedades das argamassas confeccionadas percebeu-se que, no estado fresco, no ensaio de índice de consistência, quanto maior a substituição parcial do resíduo oriundo da construção civil, maior a dificuldade de manter a trabalhabilidade da argamassa. No ensaio de densidade da massa houve uma diminuição dos valores, bem como um aumento na retenção da água das argamassas com substituição, em relação ao traço referência. No estado endurecido os valores nos ensaios da absorção de água por capilaridade e do coeficiente mantiveram-se abaixo das argamassas com substituição, em relação ao traço referência. Para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, apenas no traço com 5 % os resultados foram menores, sendo que, nos outros traços ocorreu um aumento nas resistências das argamassas que possuíram substituição parcial do agregado.

Em relação a viabilidade do uso de materiais reciclados da construção civil, especificamente (restos argamassa, tijolo e concreto), os quais foram substituído parcial à areia natural, na produção de argamassa, pelos aspectos analisados, que de maneira geral, a substituição do agregado miúdo por resíduo pode ser empregada na confecção da argamassa.

Os resultados foram satisfatórios, porém ainda há necessidade de continuidade dos estudos para que os resíduos da construção civil possam ser utilizados, de forma segura, como agregados reciclados, e com isso reduzir, os impactos ambientais provocados por esses

resíduos. São necessários ainda ensaios para determinar a aderência ao substrato e sua permeabilidade em condições de aplicação para avaliar seu desempenho em uso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276:**

Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45** – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro/RJ, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52** - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53** – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro/RJ, 2009.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro/RJ, 2011.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro/RJ, 2017.

BAIA, L.L.M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** 4ª ed. Editora: O nome da rosa. São Paulo/SP, 2008.

BAUER, E. **Sistemas de revestimento de argamassa Generalidades Revestimentos de argamassa.** LEM-UNB/Sinduscon. Brasília /DF, 2005.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **Análise comparativa dos sistemas estruturais de lajes convencionais e lajes nervuradas**. Monografia. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade de Santa Cruz do Sul Engenharia Civil. Santa Cruz do Sul, 2014. Acesso em: 03 abr. 2018.

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/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso: 03 mar. 2018.

DE PAULA, P. R. F. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural**. Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Recife/ PE, 2010.

FERREIRA, A. L. C. **Gestão dos resíduos sólidos na construção civil: um estudo de caso na REGAP**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte / BH, 2013.

FIGUEIREDO, A. M. B.; [et al]. **Pesquisa científica e trabalhos acadêmicos**. 2ed. UCEFF. Chapecó/SC, 2014.

FRANCISCON, M. **Tecnologia da Argamassa**. Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de curso, do Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco. Itatiba/ SP, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Editora: Atlas. São Paulo/SP, 2010.

GIRARDI, A. C. C. **Avaliação da substituição total de areia natural por RCD em revestimentos de argamassa**. Pós Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil. 2010. Goiânia. Disponível em: < <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/5924> >. Acesso em: 17 nov. 2018.

LEMOS, R. A. **Técnicas de revestimentos em argamassa projetada**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil. Belo Horizonte/ BH, 2010.

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

MACCARI, G. H. **Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de Tubarão/SC**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Coordenação de Projetos e Novas Tecnologias de Edificações, como requisito à obtenção do título de Especialista. Criciúma/SC, 2010.

MASCARENHAS, S. A. **Metodologia científica**. São Paulo: Peason, 2012.

MENDES, B. S. **Utilização de resíduo de revestimento cerâmico na argamassa de revestimento**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia

como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade Empresarial de Chapecó, UCEFF. Chapecó / SC, 2017.

ROCHA, R. S.; **Avaliação e comparação das propriedades mecânicas de uma argamassa pronta não cimentícia para alvenaria com e sem função estrutural frente às argamassas convencionais.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior em Engenharia Civil da Coordenação de Engenharia Civil – COECI - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil. Campo Mourão / PR, 2012.

SANTO, R.; LIRA, B.; RIBEIRO, A. **Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de Granito.** Universidade Federal da Paraíba – Laboratório de Ensaio de Materiais e Estrutura, 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1119/604>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.** 2011. Tese Doutorado em Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis/SC, 2011.

THOMAS, F. B. **Sistema de produção de argamassa para revestimento externo:** Comparação entre argamassa industrializada em saco e em silo. Trabalho de diplomação apresentado ao departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil. Porto Alegre / RS, 2012.