



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO TECNOLÓGICO DA ARGAMASSA A PARTIR DA
SUBSTITUIÇÃO DE AGLOMERANTE POR RESÍDUOS CERÂMICOS
RECICLADOS**

ALESSANDRO SILVA AQUINO

LAVRAS – MG

2019

ALESSANDRO SILVA AQUINO

**ESTUDO TECNOLÓGICO DA ARGAMASSA A PARTIR DA
SUBSTITUIÇÃO DE AGLOMERANTE POR RESÍDUOS CERÂMICOS
RECICLADOS**

Monografia apresentada ao Centro
Universitário de Lavras, como parte das
exigências do curso de graduação em
Engenharia Civil.

PROFESSORA ORIENTADORA

Prof. Me. Marisa Aparecida Pereira

PROFESSOR CONVIDADO

Prof. Me. Alan Pereira Vilela

PRESIDENTE DA BANCA

Prof. Esp. Gabriela Bastos Pereira

**LAVRAS-MG
2019**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Processamento Técnico da
Biblioteca Central do Unilavras

A657e Aquino, Alessandro Silva.
Estudo tecnológico da argamassa a partir da substituição
de aglomerante por resíduos cerâmicos reciclados / Alessandro
Silva Aquino; orientação de Marisa Aparecida Pereira. –
Lavras Unilavras, 2019.
39 f. : il.

Monografia apresentada ao Unilavras como parte das
exigências do curso de graduação em Engenharia Civil.

1. Construção civil. 2. Sustentabilidade. 3. RCV.
4. Traço. I. Pereira, Marisa Aparecida (Orient.). II. Título.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS – UNILAVRAS

**ESTUDO TECNOLÓGICO DA ARGAMASSA A PARTIR DA
SUBSTITUIÇÃO DE AGLOMERANTE POR RESÍDUOS CERÂMICOS
RECICLADOS**

Monografia apresentada ao Centro
Universitário de Lavras, como parte das
exigências do curso de graduação em
Engenharia Civil.

APROVADO EM:



PROFESSORA ORIENTADORA

Prof. Me. Marisa Aparecida Pereira



PROFESSOR CONVIDADO

Prof. Me. Alan Pereira Vilela



PRESIDENTE DA BANCA

Prof. Esp. Gabriela Bastos Pereira

LAVRAS-MG

2019

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, meus pais, minha esposa, minha filha, familiares, amigos e a todas as pessoas que contribuíram e torceram sempre pela minha vitória.

AGRADECIMENTOS

Ninguém é obrigado a passar no vestibular aos 18, a se formar aos 24 ou a se casar com 27 anos. Não somos obrigados a ter um filho antes dos 30, a ter uma casa antes dos 35 e nem conhecer Paris antes dos 40. Ninguém é obrigado a ser feliz no tempo dos outros, nem a fazer as mesmas escolhas. Cada um enfrenta uma jornada própria e singular e a felicidade é uma experiência única e individual. Mais uma etapa vencida! Caminho este não trilhado sozinho. Agradeço primeiramente a Deus, o Engenheiro que moldou tudo que existe e me deu esta oportunidade; aos meus pais Carlos e Maria Gorete, minha esposa Luciana e filha Bárbara pelo incentivo e apoio em todas as horas - minha base; aos amigos, familiares, empresas e colegas de trabalho pelo apoio, crescimento e amadurecimento profissional - meus pilares; aos professores, orientadores e colegas de profissão por compartilharem seu conhecimento - completando a estrutura.

“O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém.”

Dalai Lama

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABCP** – Associação Brasileira de Cimento *Portland*
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABPC** – Associação Brasileira dos Produtores de Cal
- ASTM** – American Society for Testing and Materials
- CIB** – Conselho Internacional da Construção
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- ISO** – International Organization for Standardization
- NBR** – Norma Brasileira
- RCD** – Resíduo de Construção e Demolição
- RCV** – Resíduo de Cerâmica Vermelha
- TR** – Traço

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	Micrômetro
mm	Milímetro
m	Metro
g	Gramma
kg	Quilograma
g/cm^3	Gramma por centímetro cúbico
kg/m^2	Quilograma por metro quadrado
$>$	Maior
$<$	Menor

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características físicas dos materiais.....	24
Tabela 2	Traços para análises.....	25
Tabela 3	Procedimentos para preparo das argamassas.....	27
Tabela 4	Classificação das argamassas quanto à densidade no estado fresco.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Composição do RCD.....	17
Figura 2	Descarte irregular de resíduos provindos da construção civil.....	18
Figura 3	Peneiramento da areia média para fina e agitador elétrico de peneiras quadradas.....	23
Figura 4	Cimento e RCV triturados.....	24
Figura 5	Confecção dos corpos de prova.....	25
Figura 6	Proporções de RCV substituídas no traço de referência.....	26
Figura 7	Misturador: batadeira eletromecânica.....	26
Figura 8	Mesa flowtable e demais equipamentos do ensaio.....	28
Figura 9	Molde cilíndrico, demais equipamentos para o ensaio e pesagem dos discos de papel-filtro.....	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Gráfico de avaliação do índice de consistência das amostras.....	32
Gráfico 2	Gráfico de avaliação do teor de ar incorporado das amostras.....	33
Gráfico 3	Gráfico de avaliação da densidade de massa das amostras.....	34
Gráfico 4	Gráfico de avaliação da retenção de água das amostras.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS.....	17
2.2	ARGAMASSAS.....	18
2.2.1	Aglomerantes.....	19
2.2.1.1	<i>Cimento</i>	20
2.2.1.2	<i>Cal</i>	21
2.2.1.3	<i>Agregados Miúdos</i>	21
2.3	CERÂMICAS.....	22
3	MATERIAL E MÉTODO.....	23
3.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MATERIAIS.....	23
3.2	DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS.....	24
3.3	PREPARAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	26
3.4	ENSAIOS REALIZADOS.....	27
3.4.1	Determinação do Índice de Consistência.....	27
3.4.2	Determinação da Densidade de Massa e do Teor de Ar Incorporado....	28
3.4.3	Determinação da Retenção de Água.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.....	32
4.2	DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO.....	33
4.3	RETENÇÃO DE ÁGUA.....	34
5	CONCLUSÃO.....	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

RESUMO

A argamassa possui ampla importância e aplicação nas mais diversas obras da construção civil, este trabalho se baseia no reaproveitamento de resíduos cerâmicos na produção de argamassas de revestimento para utilização em obras – fundamentado no conceito de sustentabilidade. O objetivo deste trabalho foi realizar a comparação das propriedades da argamassa tradicional em relação à produzida com adição de Resíduos Cerâmicos Vermelhos (RCV) substituindo parte do aglomerante cimento e analisar suas características no estado fresco. Após a caracterização dos materiais, foi realizada uma base experimental para determinar os traços, onde um deles foi escolhido referência. O RCV foi adicionado em diferentes proporções como forma de substituir parte do aglomerante. Inicialmente as proporções foram de 5%, 10%, 15% e posteriormente 20% na mistura. As argamassas foram preparadas seguindo o procedimento descrito na NBR 13276, onde a cal passou por um processo de maturação. Em relação ao índice de consistência, todos os traços perderam um pouco da trabalhabilidade devido à quantidade de água e da mesma forma, se tornaram mais consistentes. Em modos gerais o aumento gradativo em relação ao teor de ar incorporado que quanto mais se adiciona RCV, nota-se um maior índice de vazios na argamassa pelo fato da cerâmica possuir características diferentes do cimento. Foi possível notar que a densidade de massa se manteve quase que inalterada. Também não houve alterações significativas em relação à retenção de água nos traços. Todos, inclusive o traço de referência, apresentaram alta retenção. Desta forma, comprova-se que é possível adicionar pequenas quantidades de resíduos de cerâmica vermelhas as argamassas de revestimento em substituição por parte do cimento, levando em consideração que o teor de ar incorporado manteve-se próximo ao valor da argamassa convencional. Aconselha-se ainda, a utilização de um aditivo plastificante para igualar sua trabalhabilidade pelo fato de apresentar-se muito consistente.

Palavras-chave: Trabalhabilidade, Traço, RCV, Sustentabilidade, Construção Civil.

1 INTRODUÇÃO

A evolução do homem aconteceu em função da extração de recursos da natureza que variavam desde a confecção de ferramentas para obtenção de alimentos, até a melhoria de suas habitações. Tal processo dependia de diversos fatores que influenciavam seu modo de vida, como clima, tipo de solo e vegetação presentes na região (SANTIAGO, 2007).

Os Maias, civilização mesoamericana pré-colombiana, adotavam métodos construtivos que utilizavam além de madeira, palha e pedra como materiais de construção, uma estrutura desenvolvida semelhante à argamassa de cal e estuque para revestimentos exteriores (GENDROP, 2002). Durante o Império Romano, observou-se a utilização da mistura de um material aglomerante provindo de cinzas vulcânicas com materiais inertes, dando origem a uma estrutura também semelhante à argamassa. No Brasil, o início da utilização desse tipo de material deu-se no primeiro século da colonização, para assentamento de alvenaria de pedra confeccionada por escravos. Diante disso, nota-se que a argamassa vem sendo utilizada para fins construtivos há mais de 2.000 anos e é ainda essencial na maioria das construções na atualidade (SILVA, 2006).

O homem através de suas atividades vem transformando paisagens a partir da degradação do meio ambiente que como consequência, gera uma quantidade excessiva de resíduos. Na construção civil isto também acontece, ela é apontada como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB). No Brasil, dados revelam que a quantidade de entulho da construção civil é superior, em massa, ao lixo doméstico (MORAIS, 2006).

A falta da gestão destes entulhos implica na maioria das vezes em seu descarte irregular na natureza, visto que é essencial reciclar e reutilizar materiais. Enquanto os mais diversos setores industriais têm um baixo índice de reaproveitamento de materiais e resíduos, a construção civil é capaz de absorvê-los quase que totalmente. Levando em consideração que a quantidade de materiais utilizados na construção não pode ser reduzida sem comprometer a qualidade e a durabilidade da obra (SILVA, 2014).

Já está havendo uma saturação de espaços disponíveis nas cidades para descarte de resíduos e entulhos provindos não só da construção civil, mas também resíduos de outros setores (DIJIKEMA, 2000).

Visto a importância da utilização da argamassa diariamente nas mais diversas obras da construção civil e o conceito ambiental presente na reutilização de materiais, este trabalho se baseia na justificativa de reaproveitar resíduos cerâmicos na produção de argamassas de revestimento para utilização em obras de construção civil.

1.1 Objetivo

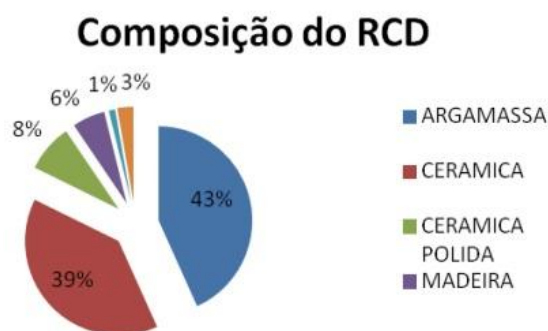
Realizar a comparação das propriedades no estado fresco, da argamassa tradicional em relação à produzida com adição de resíduos cerâmicos vermelhos triturados (em substituição de parte do aglomerante cimento).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Reaproveitamento de Resíduos

Entende-se por resíduo de construção e demolição (RCD) a parcela mineral dos resíduos gerados durante o ciclo de vida das construções civis, sendo esta composta por materiais de alvenaria, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico entre outros. O resíduo cerâmico representa uma grande parcela deste entulho, totalizando 39% (MARQUES, et al, 2013). A Figura 1 ilustra este panorama.

Figura 1 – Composição do RCD



Fonte: MARQUES et al (2013).

Com o desenvolvimento e crescimento acelerado das cidades nas últimas décadas, a preocupação com o descarte dos resíduos provindos da construção e demolição vem sendo muito discutida. Isto se justifica pelo fato deste descarte geralmente ser feito de forma irregular na natureza. No Brasil, somando o desperdício gerado em três obras, poderíamos construir uma nova edificação (AGOPYAN, 2008).

Segundo o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, os geradores de resíduo deverão ter como objetivo prioritário a não geração dos mesmos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final destes ambientalmente adequada (CONAMA nº 448, 2012).

Os municípios são responsáveis por criar uma solução para os pequenos

volumes de RCD, que geralmente são dispostos em locais inapropriados. Quanto aos grandes volumes, devem ser definidas áreas licenciadas para o manejo dos resíduos de acordo com a Resolução 448 do CONAMA de 2012. Deve também ser realizado cadastro, formalizando as empresas transportadoras destes materiais, sendo também a administração municipal responsável por gerir e fiscalizá-las (PINTO e GONZÁLES, 2005).

A maior parte dos resíduos é depositada de forma clandestina, nas margens de rios e córregos ou em terrenos baldios, situação esta exemplificada na Figura 2. A disposição irregular de entulho ocasiona proliferação de vetores de doenças, entupimento de galerias e bueiros, assoreamento de córregos e rios, contaminação de águas superficiais e poluição visual (NOVAES et al., 2008).

Figura 2 – Descarte irregular de resíduos provindos da construção civil



Fonte: MARQUES et al (2013).

2.2 Argamassas

A argamassa é a mistura de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água. Ela pode ser produzida e caracterizada de acordo com seu campo de aplicação na construção civil. Sendo assim, a argamassa pode ser utilizada para assentamento de alvenaria, revestimento de paredes, tetos e pisos, revestimentos cerâmicos (colante) como também para recuperação de estruturas (BAUER, 2008).

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define a argamassa para revestimento como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não adições de algum outro tipo de material ou aditivos com propriedades de aderência e endurecimento. Nesta mesma norma são

definidos outros termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação. Define-se como revestimento o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final. O revestimento tem como principal função proteger a alvenaria e estruturas contra ação do intemperismo.

As argamassas ainda podem ser classificadas quanto à natureza dos aglomerantes aéreos e hidráulicos, quanto ao número de aglomerantes simples ou mistas (BAUER, 2008). De acordo com Carvalho (2009), uma boa argamassa, deve possuir boa resistência mecânica, compacidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade. A maior ou menor importância de uma dessas condições depende da finalidade da argamassa. Estas propriedades dependem de fatores diversos tais como qualidade e quantidade de aglomerantes, qualidade e quantidade do agregado, quantidade de água, além do uso de algum aditivo.

2.2.1 Aglomerantes

Os aglomerantes são produtos empregados na construção civil e tem por finalidade fixar ou aglomerar materiais entre si. São geralmente materiais pulverulentos que, misturados com água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem ou em virtude de reações químicas. Podem ser químicos, aéreos, hidráulicos ou termoplásticos (CARVALHO, 2009).

Em argamassas de revestimento, os aglomerantes mais utilizados são o cimento e a cal. O cimento confere à argamassa um aumento da resistência à compressão nas primeiras idades, já a cal melhora a trabalhabilidade da mistura e a retenção de água, diminuindo os efeitos de retração na argamassa (SILVA, 2006).

Segundo Padilha (2009), uma das principais propriedades dos aglomerantes é a pega, definida como sendo o tempo de início de endurecimento. A pega inicia quando a pasta começa a perder sua plasticidade e o fim dela se dá quando a pasta se solidifica totalmente. Esta propriedade também serve como parâmetro de classificação do aglomerante em aéreo e hidráulico, os quais endurecem sob ação do ar e água respectivamente.

2.2.1.1 Cimento

De acordo com a ABCP - Associação Brasileira de Cimento *Portland* (2014), o cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água, formando um corpo sólido. O Cimento *Portland* é um aglomerante hidráulico produzido a partir da pulverização de Clínquer (calcário e a argila) com adição gesso e outros compostos. É uma das substâncias mais consumidas pelo homem por possuir características únicas, como trabalhabilidade e mobilidade no estado fresco, além de alta durabilidade e resistência a cargas e ao fogo no estado endurecido (CARVALHO, 2009).

Existem diversos tipos do cimento *Portland*, adequados de acordo com a necessidade e aplicação. Um deles, e o mais utilizado é o CII. Segundo a NBR 11578 (ABNT, 1997), o Cimento *Portland* CP II gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo Cimento *Portland* Comum. Este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. São divididos em três categorias:

1 – Cimento *Portland* CP II-Z (com adição de material pozolânico): é empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. Além de ser utilizado na produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O concreto feito com este produto é mais impermeável e por isso mais durável (BAUER, 2008);

2 – Cimento *Portland* Composto CP II-E (com adição de escória granulada de alto-forno): possui composição intermediária entre o cimento *Portland* comum e o cimento *Portland* com adições (alto-forno e pozolânico). Este cimento combina com bons resultados o baixo calor de hidratação com o aumento de resistência do Cimento *Portland* Comum. Recomendado para estruturas que exijam um despreendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos (BAUER, 2008);

3 – Cimento *Portland* Composto CP II-F (com adição de material carbonático - filler): utilizado para aplicações gerais. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros (BAUER, 2008).

2.2.1.2 Cal

A cal é um aglomerante provindo da calcinação de rochas calcárias. Segundo a classificação da ABNT, as cales hidratadas ou cales virgens são classificadas conforme tenham sido, ou não, extintas na própria fábrica (NBR 7175, ABNT 2003). Atualmente no Brasil, de acordo com a ABPC - Associação Brasileira dos Produtores de Cal (2016) consomem-se, nas pequenas construções 1,1 sacos de cal por metro quadrado de construção, ou seja, 22 kg/m² de área construída. A cal hidratada é um produto manufaturado desenvolvido recentemente no Brasil, não estando ainda à matéria devidamente considerada no que diz respeito aos aspectos de sua qualificação. Os construtores o utilizam em face da experiência prática resultante do seu uso. Uma boa cal possui boa plasticidade, boa retração, rendimento e endurecimento (BAUER, 2008).

2.2.1.3 Agregados miúdos

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2004).

A areia, considerada como material de construção é um agregado miúdo e geralmente provém de depósitos sedimentares que se formam nos leitos de alguns rios. Santiago (2007) afirma que o material denominado areia, na acepção atual, é composto por um determinado tipo de partículas presentes no solo, partículas essas cujas dimensões estão contidas em uma faixa granulométrica específica (0,15-

4,8mm). Quanto a sua granulometria, pode ser classificada segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) em fina com granulometria entre 0,15/0,6mm, média entre 0,6/2,4mm e grossa entre 2,4/4,8mm (BAUER, 2008).

A distribuição granulométrica da areia influencia diretamente no desempenho da argamassa, interferindo na trabalhabilidade, no consumo de água e de aglomerantes, no estado fresco. No revestimento acabado, exerce influência na formação de fissuras, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM et al., 2003).

2.3 Cerâmicas

A cerâmica é um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem, em vista da facilidade de fabricação e abundância de matéria-prima, o barro. Segundo Bauer (2008), chama-se cerâmica a pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozedura de argilas ou de misturas contendo argilas. Em certos casos, pode ser suprimida alguma das etapas citadas, mas a matéria-prima continua sendo a mesma. Nos materiais cerâmicos a argila fica aglutinada por uma pequena quantidade de vidro, que surge pela ação do calor de cocção sobre os componentes da argila.

Por possuir uma variedade de propriedades mecânicas e físicas, o material cerâmico permite aplicações em diversos campos. As cerâmicas possuem também alta resistência mecânica quando aquecidas em altas temperaturas. Além disto, possuem alta dureza, alta fragilidade, estrutura cristalina complexa, elevado ponto de fusão e é um material isolante térmico e elétrico (WACHTMAN et al, 2009).

A cerâmica vermelha, usualmente encontrada em obras como telhas, tijolos e manilhas é constituída principalmente de silicatos hidratados de alumínio, tais como caulinita, haloisita, pirofilita e montmorilonita. O óxido de ferro é que confere a cor avermelhada de muitos produtos cerâmicos (PADILHA, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção presente no Centro Universitário de Lavras visando analisar as propriedades mecânicas da argamassa em seu estado fresco.

3.1 Características gerais dos materiais

De acordo com os materiais utilizados, a areia média de rio foi provinda de empresas do município de Lavras-MG. Foi necessário peneirá-la de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) para atingir a granulometria exigida para confecção de argamassas de revestimento (areia fina: entre 0,15 e 0,6 mm). Foi utilizado o agitador elétrico de peneiras quadradas 50x50x10 da SOLOCAP para realização deste processo. A Figura 3 ilustra este panorama.

Figura 3 – Peneiramento da areia média para fina e agitador elétrico de peneiras quadradas



Fonte: do Autor (2015).

O cimento escolhido para realização dos ensaios foi o CII F-32 devido a sua utilização generalizada no mercado e nas diversas etapas da obra. Este foi adquirido do mercado local, da linha de cimentos da empresa Tupi. A cal hidratada, também provinda do mercado local, foi a CH I da marca Brasical. O Resíduo de Cerâmica Vermelha foi também obtido de obras da construção civil na região de Lavras - MG e entregue ao laboratório já triturado. Este, também teve de ser peneirado para atingir os quesitos de padronização granulométrica necessários para realizar a substituição do aglomerante cimento, entre 0,1 e 100 μm , como ilustrado na Figura 4. A água utilizada foi potável de torneira, a qual é considerada como a melhor para elaboração

de produtos à base de cimento *Portland*. Não deve ser utilizada água que contenha matéria orgânica a fim de não influenciar nas propriedades finais.

Figura 4 – Cimento e RCV triturados



Fonte: do Autor (2015).

Todos os materiais que foram utilizados apresentam as características de acordo com as propriedades físicas e normas especificadas na Tabela 1, retiradas do estudo feito por Mendes e Borja, no ano de 2007.

Tabela 1: Características Físicas dos Materiais

Material	Massa Unitária NBRNM45 (g/cm³)	Massa Específica NBRNM52 (g/cm³)	Módulo de Finura NBRNM76	Dimensão Máxima NBR 6158 (mm)
Areia	1,55	2,62	2,37	4,8
Cimento	1,25	3,00	-	-
Cal	0,46	2,02	-	-
RCV	1,21	2,63	1,93	2,4

Fonte: MENDES E BORJA (2007).

3.2 Determinação dos traços

Após a caracterização dos materiais, foram definidos três traços de argamassa, representados na Tabela 2 para obtenção do traço de referência. Foi utilizada a mesma base experimental estudada por Mendes e Borja em 2007.

Tabela 2: Traços para análises

MATERIAIS	TRAÇOS (g)		
	TR (1)	TR (2)	TR (3)
Cimento (g)	121,00	141,50	130,50
Cal (g)	107,00	127,50	116,50
Areia (g)	1165,00	1165,50	1165,50
Água (g)	250,00	250,00	250,00

Fonte: MENDES E BORJA (2007).

Após a confecção das argamassas e análise dos traços, o material seria descartado. A fim de reaproveitá-lo, foram moldados 10 corpos de prova por traço, sendo que estes tinham por objetivo avaliar somente a estética final das amostras das argamassas utilizadas, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5: Confecção dos corpos de prova



Fonte: do Autor (2015).

O traço 2 (TR 2) obteve melhores resultados e foi utilizado como referência comparativa. A partir dele, foram feitas novas amostras e adicionadas diferentes quantidades de RCV, substituindo parte do cimento, iniciando com 5%, 10%, 15% e por último 20% em peso, como mostrado na Figura 6. Como citado anteriormente, da mesma forma também foram confeccionados 10 corpos de prova para cada adição, totalizando 40 unidades.

Figura 6 – Proporções de RCV substituídas no traço de referência



Fonte: do Autor (2015).

3.3 Preparação das Argamassas

As argamassas foram preparadas fazendo-se a mistura de cimento, cal hidratada, areia e água, seguindo o procedimento descrito na NBR 13276 (ABNT, 2005) mostrados na Tabela 3 e ilustrados na Figura 7, onde a cal passou por um processo de maturação. Este procedimento foi adotado tanto na produção da argamassa de traço de referência, quanto na produção dos outros traços que tiveram a adição de RCV.

Figura 7 – Misturador: bateadeira eletromecânica da SoloCAP



Fonte: do Autor (2015).

Tabela 3 – Procedimentos para preparo das argamassas

01	Colocar os materiais constituintes, exceto cimento e água, em quantidades definidas pelo traço com o misturador desligado
02	Com uma espátula, fazer a homogeneização do material seco e depois adicionar água
03	Ligar o misturador em velocidade baixa e deixar misturar por 4 minutos.
04	Ao final dos 4 minutos, desligar o misturador e verificar com a espátula, se há material aderido ao fundo do misturador
05	Retirar o material, pesá-lo e deixar em maturação por um período de 16 a 24 horas
06	Após a maturação, pesar o material novamente e, se necessário, repor a quantidade de água evaporada.
07	Colocar o material no misturador novamente e adicionar o cimento
08	Ligar o misturador em velocidade baixa e deixar por mais 4 minutos
09	Após os 4 minutos, desligar o misturador, verificar se há material aderido ao fundo do misturador e extrair a argamassa final

Fonte: MENDES E BORJA (2007).

3.4 Ensaios realizados

Para comparar os traços no estado fresco, foram realizados os ensaios para determinar o índice de consistência, a densidade de massa e o teor de ar incorporado, e por fim, o teste de retenção de água. Estas análises foram realizadas tanto para escolha do traço de referência quanto para os que tiveram adição de resíduo de cerâmica vermelha.

3.4.1 Determinação do Índice de Consistência

A consistência é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas. Este ensaio teve por finalidade determinar o índice de consistência das argamassas utilizadas a fim de avaliar também sua trabalhabilidade, conforme os procedimentos descritos na norma NBR 13276 (ABNT, 2005).

Conforme orientações da norma deve-se preencher um molde tronco-cônico

colocado sobre uma mesa para determinação do índice de consistência da amostra, mostrado na Figura 8. Realiza-se o preenchimento do molde em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, aplicando-se a cada uma delas 15, 10 e 5 golpes uniformes, respectivamente, com a utilização de um soquete metálico. Após o enchimento, deve-se nivelar toda superfície do molde com uma régua metálica e eliminar qualquer resíduo que tenha caído em torno do molde com um pano. Em seguida, aciona-se a mesa, de modo que ela suba e caia 30 vezes num período de 30 segundos. Após a última queda da mesa, realiza-se a medição do espalhamento do molde tronco-cônico da argamassa com o auxílio de um paquímetro. O índice de consistência corresponde à média de três medidas de diâmetros, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo.

Figura 8 – Mesa Flowtable e demais equipamentos para o ensaio



Fonte: do Autor (2015).

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

Este ensaio teve por finalidade determinar densidade de massa e do teor de ar incorporado dos traços, seguindo os procedimentos da norma NBR 13278 (ABNT, 2005).

O ensaio se resume na pesagem da amostra da argamassa colocada em um recipiente cilíndrico com volume conhecido, formando três camadas de alturas aproximadas. Cada camada deve ser adensada aplicando 20 golpes de espátula ao longo do perímetro do recipiente com argamassa. Após totalizar o preenchimento, deve-se efetuar três quedas de aproximadamente 3 centímetros, nivelar e realizar a pesagem do recipiente com a argamassa. O teor de ar incorporado representa de

certa forma, a porosidade na argamassa, ou seja, indica o quão tendenciosa ela é para formar bolhas de ar que podem causar fissuras no estado endurecido. Para calculá-lo nas amostras, utilizamos a Equação 1, onde **AI** é o teor de ar incorporado, **dm** representa a densidade medida em g/cm³ e **dt** a densidade de massa teórica também em g/cm³, sendo o resultado do ensaio (**AI**) expresso em forma percentual.

$$AI = 100 \times \left(1 - \frac{dm}{dt} \right) \quad [\text{Eq. 1}]$$

Para o cálculo da densidade de massa, utiliza-se a Equação 2, onde **d** é densidade de massa da argamassa no estado fresco em kg/m³, **mc** representa a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, expresso em gramas, **mv** é a massa do recipiente cilíndrico vazio também em gramas e **vr** volume do recipiente cilíndrico, expresso em cm³.

$$d = \left[\left(\frac{mc - mv}{vr} \right) \right] \times 1000 \quad [\text{Eq. 2}]$$

Quanto à densidade de massa, as argamassas podem ser classificadas de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação das argamassas quanto à densidade no estado fresco

Argamassa	Densidade (g/cm³)
Leve	<1,40
Normal	Entre 1,40 e 2,30
Pesada	> 2,30

Fonte: CARASEK (2007).

3.4.3 Determinação da Retenção de Água

Este ensaio teve por finalidade determinar a capacidade de retenção de água nos traços. Conforme os procedimentos descritos na norma NBR 13277 (ABNT, 2005), deve-se utilizar um molde cilíndrico de aço com placa circular rígida e plana,

espátula, gaze e 12 discos de papel-filtro, mostrados na Figura 9.

Após o preparo da argamassa, deve-se pesar o molde e os discos de papel filtro na balança. Feito isto, a amostra deve ser colocada com a espátula dentro do cilindro, de maneira que forme um excesso o qual deve ser rasado com a lâmina da espátula, apoiando-a sobre a borda do molde, formando 45° em relação à superfície da argamassa, fazendo movimentos de vai-e-vem numa única passada para eliminar apenas o excesso.

A espátula deve ser passada novamente no sentido contrário, formando um ângulo bem menor com a superfície da argamassa, no sentido de alisá-la. Feito isto, limpar as bordas do molde. Após a limpeza, pesar o molde com argamassa na balança com resolução de 0,1 g e registrar sua massa. Colocar sobre a superfície da argamassa duas telas de gaze, o conjunto de 12 discos de papel-filtro e a placa rígida, e aplicar, de forma centralizada, o peso de 2 kg, acionando imediatamente o cronômetro. Após 2 minutos, retirar o peso de 2 kg e a placa-base. Deve-se após isto, remover o conjunto de papéis-filtro e levá-lo ao prato da balança com resolução de 0,01 g, pesar e registrar a massa de todos os discos molhados, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Molde cilíndrico, demais equipamentos para o ensaio e pesagem dos discos de papel-filtro



Fonte: do Autor (2015).

O resultado dá-se através da Equação 3, onde **RA** é a retenção de água expressa em %, **Mf** a massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro expresso em gramas, **Mse** é a massa do conjunto de discos secos também em gramas, **Mma** a massa do molde com argamassa em gramas, **AF** é fator água/argamassa fresca e **Mm** a massa do molde vazio, em gramas.

$$RA = \left[1 - \frac{Mf - Mse}{AF \times (Mma - Mm)} \right] \times 100 \quad [\text{Eq. 3}]$$

A retenção de água é uma propriedade que está relacionada à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação ou pela absorção de água. Esta propriedade além de interferir no comportamento da argamassa no estado fresco, também afeta as propriedades da argamassa endurecida (VIEIRA, et al. 2008; DEVES et al. 2010).

As argamassas não devem perder água quando estão em contato com superfícies que apresentam sucção elevada ou por evaporação, pois pode ocasionar problemas como fissuração. A retenção de água interfere nas reações químicas dos aglomerantes da argamassa que exigem uma quantidade adequada de água. A resistência mecânica, a aderência e a durabilidade são propriedades que dependem da retenção de água da argamassa. As argamassas devem ter retenção de água maior ou igual a 75% de acordo com a ASTM C-270 (2019).

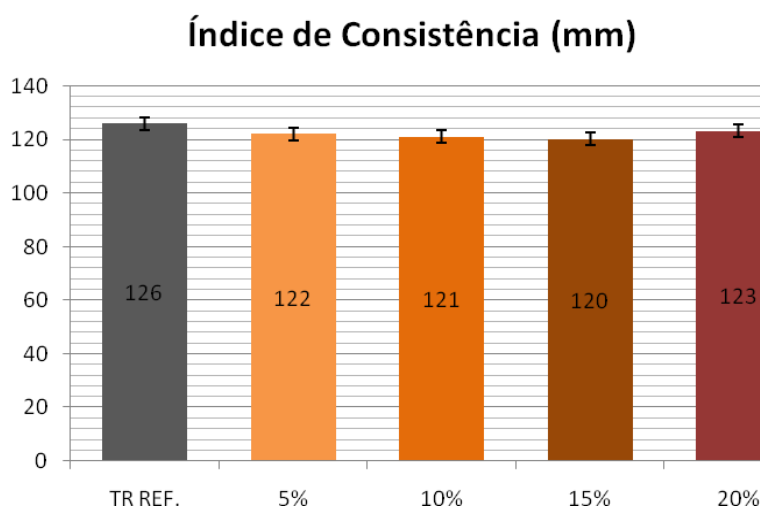
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea. É resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como consistência, retenção de água e de densidade de massa. No estado fresco, a argamassa deve ter uma fluidez adequada para preencher as saliências, fissuras e protuberâncias da superfície de aplicação e uma plasticidade compatível de modo a manter-se na posição em que foi aplicada (SILVA, 2006).

4.1 Índice de Consistência

Foi verificado neste ensaio, o índice de consistência comparando os traços com adição de RCV em relação ao traço de referência. Verificou-se que quase não houve alterações, sendo que todos eles se aproximaram do valor de referência, com desvio padrão de 2,03. Estes dados estão representados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Gráfico de avaliação do índice de consistência das amostras



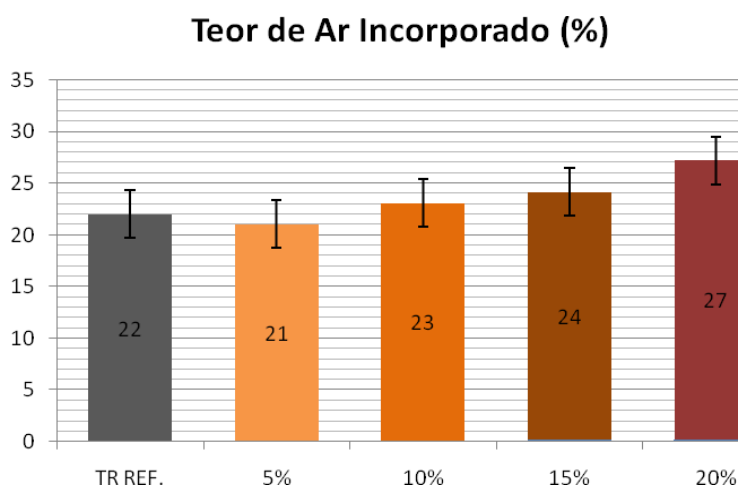
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Como a quantidade de água em todos os traços se manteve a mesma, observa-se uma redução na consistência e perda da trabalhabilidade à medida que se adicionava RCV, pois houve uma redução de aglomerante nas amostras, reduzindo assim a capacidade de ligação entre agregados e pasta, semelhante ao que houve no estudo de Mendes e Borja no ano de 2007. Nota-se desta forma que com a adição de RCV, a argamassa manteve-se quase que inalterada nesta propriedade. Este comportamento está de acordo com Peruzzi (2002), que diz que a adição de qualquer tipo de fibra à argamassa ou ao concreto convencional reduz a sua trabalhabilidade.

4.2 Densidade de massa e do teor de ar incorporado

Observando o teor de ar incorporado, quase não houve variações comparando os traços com adição de RCV com o traço de referência. Observa-se um aumento gradativo no teor de ar incorporado conforme se adiciona RCV, mostrado no Gráfico 2. Foi possível notar que a densidade de massa se manteve quase que inalterada, com desvio padrão de 0,01, ilustrado no Gráfico 3.

Gráfico 2 – Gráfico de avaliação do teor de ar incorporado das amostras

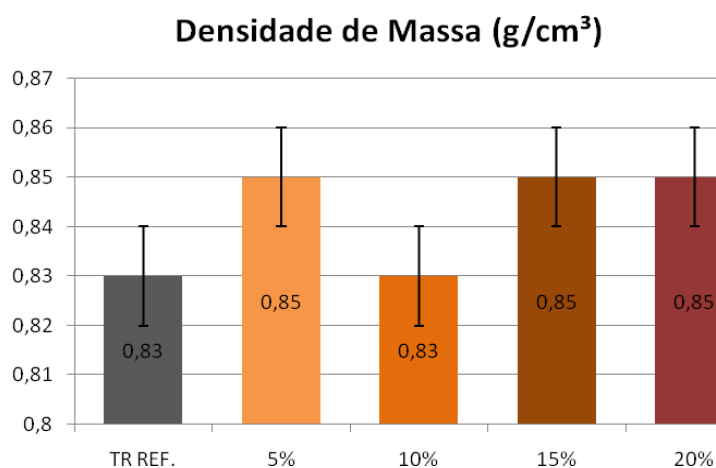


Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Em modos gerais o aumento gradativo em relação ao teor de ar incorporado está diretamente relacionado com o cimento, pois de acordo com Angelim (2000)

este influi nesta propriedade de acordo com sua natureza, finura e dosagem. Quanto mais se adiciona RCV em substituição do cimento, nota-se um maior índice de vazios na argamassa. É aconselhável a utilização dos traços com 5% e 10% de adição, pois obtiveram os valores mais próximos, reduzindo as chances de ocorrência de patologias no estado endurecido devido à ação de intempéries.

Gráfico 3 – Gráfico de avaliação da densidade de massa das amostras



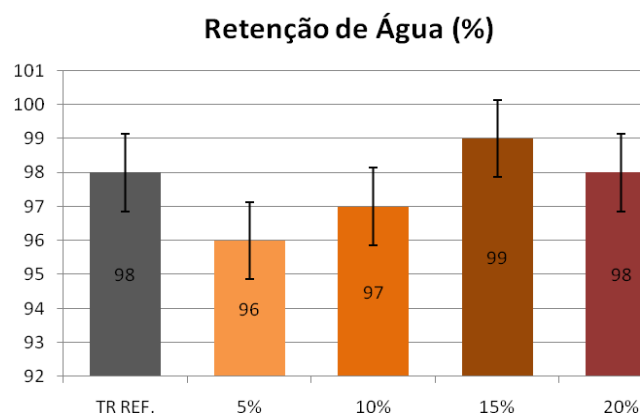
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Não houve alterações significativas na densidade de massa das amostras com adição de resíduo cerâmico, todas apresentaram densidades leves. Isto pode ter ocorrido provavelmente, de acordo com Wachtman (2009), devido ao fato do resíduo apresentar características físico-químicas semelhantes aos materiais pozolânicos.

4.3 Retenção de Água

Verificou-se em relação à retenção de água, que os todos os traços com adição de RCV se aproximaram do valor de referência, quase não havendo variação, representados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Gráfico de avaliação da retenção de água nas amostras.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Não houve alterações significativas em relação à retenção de água nos traços. Todos, inclusive o traço de referência, apresentaram alta retenção – acima de 90%, atendendo desta forma aos requisitos mínimos de 75% da ASTM C-270 (2019).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi desenvolvido em forma de experimentos e ensaios realizados em laboratório e estudaram o potencial do uso de resíduos de cerâmica vermelha como substituição parcial por parte do aglomerante cimento nas argamassas de revestimento, visando à possibilidade de aproveitamento deste resíduo na construção civil.

Desta forma, comprova-se que é possível adicionar pequenas quantidades de resíduos de cerâmica vermelhas as argamassas de revestimento em substituição por parte do cimento, levando em consideração que o teor de ar incorporado manteve-se próximo ao valor da argamassa convencional. Aconselha-se ainda, a utilização de um aditivo plastificante para igualar sua trabalhabilidade pelo fato de apresentar-se muito consistente.

Sugestão para trabalhos futuros: estudar o comportamento dos traços para argamassa com adição de RCV no estado endurecido. Se comprovado, esta pode ser comercializada tendo uma possível alteração de tonalidade em produção em escalas maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. John V. M. – **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: BLUCHER, 2011.

ANGELIM, R. R. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos no comportamento das argamassas de revestimentos**. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2000.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. Anais. São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6158** Sistema de tolerância e ajustes. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7175** Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7211** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 11578** Cimento *Portland* Composto. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 13276** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13277** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da Retenção de Água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13529** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 45** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 52** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 76** Cimento *Portland* – Determinação da finura pelo método de permeabilidade do ar (Método Blaine). Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248** Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM ISO 3310-1** Sieves, sieving and other sizing methods. Rio de Janeiro, 2004.

ASTM C270-19. **Standard Specification for Mortar for Unit Masonry**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

BAUER, L. A. F. , **Materiais de Construção**. 5.ed. Rio de Janeiro. LTC, 2008. 538p.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Arte Interativa, 2007. Cap. 26, p. 863-904.

CARVALHO, E. F. T. de, **Apostila Materiais de Construção I**. Ouro Preto, 2009

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº448**. Rio de Janeiro, 2012.

CORREIA, J. R.; BRITO, J. de; PEREIRA, A. S.; **Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates**. Revista Materials and Structures, 2006.

DIJKEMA, G.P.J.; REUTER, M.A.; VERHOEF, E.V. **A New Paradigm for Waste Management**. Waste Management. v. 20, p. 633-638, 2000.

GENDROP, P.; GOLDWASSER, M. J. **A Civilização Maia**.1.ed. ZAHAR, 2002. 104p.

MARQUES, O. B.; OLIVEIRA, R. M. S. de; PICANÇO, A. P. **Resíduos de Construção Civil: Geração e Alternativas para Reciclagem em um canteiro de obras de pequeno porte**. 2013.

MENDES, B. S.; BORJA, E. V. **Estudo experimental das propriedades físicas de argamassas com adição de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas**. 2007.

MORAIS, G. M. D. de, **Diagnóstico da disposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídio para uma gestão sustentável**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

NOVAES, M. V.; MOURÃO, C. A. M. A. et al. **Manual de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. Cooperativa de Construção Civil do Estado do Ceará. Fortaleza, 2008.100 p.

PADILHA, Ângelo Fernando. **Materiais de Engenharia Microestrutura e Propriedades**. HEMUS, 2000.

PERUZZI, A.P. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento portland modificada com látex e adição de sílica ativa**. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTIAGO, Cybéle Celestino. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador. EDUFBA, 2007. 202 p. ISBN

SILVA, Andrezza Santana da; BARBOSA, Danilo Santana; SACARAMENTO, Igor Guimarães; JESUS, Thácylla Jamille Mecnas de; FILHO, Manoel Dantas Macedo. **Gestão dos Resíduos Sólidos gerado pelo setor da Construção Civil (Construtoras) em Aracaju**. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas v. 2 n.1 p. 137-144. Aracaju, 2014.

SILVA, Narciso Gonçalves da; **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e areia britada de rocha calcária**, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

WACHTMAN, J. B.; CANNON, W. J.; MATTHEWSON, M. J. **Mechanical Properties of Ceramics**. 2. ed. WILEY, 2009.