



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Pablo Gelain

Estudo comparativo de argamassas de assentamento, com a utilização de papel kraft e pó de borracha.

PALMAS-TO

2016

Pablo Gelain

Estudo comparativo de argamassas de assentamento, com a utilização de papel kraft e pó de borracha.

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Miguel Ângelo de Negri.

PALMAS-TO  
2016

Pablo Gelain

Estudo comparativo de argamassas de assentamento, com a utilização de papel kraft e pó de borracha.

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Miguel Ângelo de Negri.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Esp. Miguel Ângelo de Negri  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Esp. Maria Carolina de Paula Estevam D'oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Me. Fabricio Bassani dos Santos  
Centro Universitário Luterano de Palmas

PALMAS-TO  
2016

## Resumo

Gelain, Pablo. **Estudo comparativo de argamassas de assentamento, com a utilização de papel kraft e pó de borracha**, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

O principal objetivo deste trabalho foi realizar um estudo com intuito de avaliar uma possibilidade de inovação no mercado de argamassas, além de apontar formas para a reutilização do papel Kraft e do pó de borracha, comparando uma mistura usualmente utilizada atualmente na construção civil, composta por cimento, cal e areia, segundo os aspectos presentes na NBR 13281 (ABNT, 2005), com duas outras misturas submetidas à substituição de agregado miúdo original, a areia, em diferentes quantidades, por fibras de papel kraft, advindas do processamento de embalagens de cimento e cal, e pó de borracha originado a partir da trituração de pneus. Para tanto, foram realizados ensaios para caracterizar os materiais empregados, a partir do ensaio de granulometria e massa específica unitária, ensaios com a argamassa no estado fresco, como índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água, já no estado endurecido, foram realizados os ensaios de densidade de massa aparente, resistência a tração na flexão, resistência a compressão axial e absorção de água por capilaridade, além de uma composição de custos baseada somente nos insumos materiais utilizados para a execução de um metro cúbico para ambas as argamassas estudadas. Desta forma, obtivemos uma avaliação do seu comportamento tanto no estado fresco como no estado endurecido, em relação a uma argamassa convencional de areia e cimento e, podemos concluir que, as argamassas contendo substituição parcial de agregado miúdo, nas proporções e aplicações estudadas, se mostram deficitárias e não usuais, além de se mostrarem mais onerosas.

Palavras chave: Argamassa de assentamento. Papel kraft. Pó de borracha. Substituição de agregado.

## Abstract

Gelain, Pablo. **Comparative study about mortar, with the use of kraft paper and rubber powder**, 2016. Work Completion of course in Civil Engineering , University Lutheran Center Palmas - CEULP / ULBRA

The main objective of this work was performing a study designed to evaluate the possibility of innovation in the mortar's market, besides identifying ways to reuse the Kraft paper and rubber powder comparing a mixture usually currently used in civil construction, composed of cement, lime and sand, according to aspects present in the NBR 13281 (ABNT, 2005), with two other mixtures submitted to aggregate replacing unique kid, the sand, in different quantities, for kraft papers fibers, coming from the packaging process of cement and lime, and rubber powder originated from tire grinding. For this purpose, assays were performed to characterize the materials employed, as the particle size and true density test, tests with mortar in the fresh state as consistency index, mass density, entrained air content and water retention, since in the hardened state, the apparent bulk density tests were carried out, tensile strength in bending, axial compression strength and water absorption by capillarity, besides a composition based only cost in input materials used for the execution of one cubic meter for both mortars studied. In this case, we have obtained an evaluation of their performance both in fresh state and in the hardened state, compared to a conventional mortar of sand and cement and we can conclude that the mortars containing partial replacement of fine aggregate in the proportions and applications studied are shown deficit and unusual, besides to demonstrate be more costly.

Keyword: mortar. Kraft paper. Rubber powder. Aggregate replacing.

## Sumário

1.0 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Objetivos .....	12
1.1.1 Objetivos Gerais .....	12
1.1.2 Objetivos Específicos.....	12
1.2 Justificativa .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
2.1 Argamassa .....	15
2.1.1 Materiais Constituintes .....	17
2.1.1.1 Areia .....	17
2.1.1.2 Cimento.....	18
2.1.1.3 Água .....	19
2.1.1.4 Cal.....	19
2.1.1.5 Fibras de celulose .....	19
2.1.1.6 Pó de Borracha .....	20
2.1.1.6.1 Interface pasta agregado .....	21
2.1.1.7 Tratamento de resíduos.....	21
2.1.1.8 Adições .....	22
2.1.1.9 Aditivos.....	23
2.2 Propriedades das argamassas .....	23
2.2.1 Consistência.....	23
2.2.2 Trabalhabilidade.....	24
2.2.3 Coesão e Tixotropia .....	25
2.2.4 Plasticidade .....	25
2.2.5 Retenção de água .....	25
2.2.6 Adesão inicial.....	26
2.2.7 Aderência no estado endurecido .....	26
2.2.8 Elasticidade.....	27
2.3 Cálculo de insumos.....	27
3.0 METODOLOGIA.....	28
3.1 Materiais .....	29
3.1.1 Sacos de papel Kraft .....	29
3.1.2 Pó de borracha .....	31
3.1.3 Areia .....	32
3.1.4 Cimento .....	32

3.1.5 Cal.....	33
3.1.6 Água .....	34
3.2 Caracterização dos materiais .....	34
3.2.1 Ensaio de granulometria .....	34
3.2.2 Massa específica unitária .....	35
3.3 Métodos .....	36
3.3.1 Argamassa no estado fresco .....	36
3.3.1.1 Determinação do índice de consistência .....	36
3.3.1.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.....	37
3.3.1.3 Determinação de retenção de água .....	38
3.3.2 Argamassa no estado endurecido .....	39
3.3.2.1 Corpos de prova .....	39
3.3.2.2 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial .....	40
3.3.2.3 Densidade de massa aparente .....	42
3.3.2.4 Absorção de água por capilaridade.....	43
3.3.3 Cálculo de insumos.....	45
4.0 RESULTADOS .....	48
4.1 Caracterização dos materiais .....	48
4.1.1 Granulometria .....	48
4.1.2 Massa específica unitária .....	50
4.2 Argamassa no estado fresco .....	50
4.2.1 Índice de consistência .....	50
4.2.2 Densidade de massa.....	51
4.2.3 Teor de ar incorporado .....	52
4.2.4 Retenção de água .....	52
4.3 Argamassa no estado endurecido.....	53
4.3.1 Tração na flexão .....	53
4.3.2 Compressão axial.....	55
4.3.3 Densidade de massa aparente .....	57
4.3.4 Absorção de água por capilaridade .....	58
4.4 Cálculo de insumos materiais.....	59
5.0 CONCLUSÃO.....	60
6.0 BIBLIOGRAFIA .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.....	16
Tabela 2 - Percentual de fibra e pó de borracha substituídos nos traços de argamassa .....	28
Tabela 3 - Volume de materiais, em litros, usado em cada traço.....	29
Tabela 4 - Massa de materiais, em quilos, usado em cada traço .....	29
Tabela 5 - Valores dos traços para um metro cúbico, em litros .....	46
Tabela 6 - Valores dos traços para um metro cúbico, em quilos .....	46
Tabela 7 - Peso específico dos materiais, em Kg/m <sup>3</sup> .....	47
Tabela 8 - Preço médio dos materiais utilizados.....	47
Tabela 9 - Granulometria da areia .....	49
Tabela 10 - Granulometria do pó de borracha.....	50
Tabela 11 - Resultados de massa específica unitária .....	50
Tabela 12 - Valores de índice de consistência encontrados .....	51
Tabela 13 - Valores de densidade de massa encontrados .....	51
Tabela 14 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa aparente no estado fresco .	52
Tabela 15 - Valores de teor de ar incorporado encontrados.....	52
Tabela 16 - Resultados de retenção de água encontrados .....	53
Tabela 17 - Classificação das argamassas quanto à retenção de água .....	53
Tabela 18 - Classificação das argamassas quanto à resistência à tração na flexão.....	55
Tabela 19 - Classificação das argamassas quanto à resistência à compressão .....	56
Tabela 20 - Densidade de massa aparente .....	57
Tabela 21 - Classificação das argamassas quanto à densidade aparente no estado endurecido.....	57
Tabela 22 - Absorção de água e coeficiente de capilaridade.....	58
Tabela 23 - Classificação das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade.....	58
Tabela 24 - Valor por metro cúbico dos traços estudados. ....	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Misturador elétrico.....	30
Figura 2 - Sacos de papel Kraft processados em misturador .....	31
Figura 3 - Pó de borracha .....	31
Figura 4 - Areia usada nos traços .....	32
Figura 5 - Cimento utilizado no ensaio.....	33
Figura 6 - Cal utilizada no ensaio.....	33
Figura 7 - Peneiras de série normal.....	35
Figura 8 - Ensaio de massa específica unitária da areia .....	35
Figura 9 - Ensaio de determinação do índice de consistência .....	36
Figura 10 - Execução do ensaio de densidade de massa .....	37
Figura 11 - Execução do ensaio de teor de ar incorporado .....	38
Figura 12 - Execução do ensaio de determinação de retenção de água.....	38
Figura 13 - Moldes de corpo de prova .....	39
Figura 14 - Execução do ensaio de compressão axial .....	41
Figura 15 - Execução do ensaio de tração na flexão .....	41
Figura 16 - Aferição de massa em balança.....	42
Figura 17 - Disposição dos corpos de prova em estufa.....	43
Figura 18 - Corpo de prova rompido diametralmente.....	44
Figura 19 - Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Preço médio dos materiais utilizados.....	49
Gráfico 2 - Gráfico da curva granulométrica do pó de borracha.....	49
Gráfico 3 - Resultados de tração na flexão aos 28 dias em MPa.....	55
Gráfico 4 - Resultado de compressão axial em MPa .....	56

## 1.0 INTRODUÇÃO

As constantes transformações em que o país vem passando nos últimos anos são evidentes, consequência disto, é perceptível que o processo de urbanização a cada dia cresce significativamente, o que, inevitavelmente, repercute no setor da construção civil.

Na formação do ambiente urbano as atividades de construção se caracterizam pelo seu elevado consumo de recursos naturais e consequente alta produção de resíduos, conforme John (2008), neste contexto, no Brasil, a construção civil entra com grande contribuição para o consumo de materiais, sendo responsável por cerca de 15 a 50% dos recursos naturais utilizados. Mesmo não sendo este o setor que mais contribui para a geração de resíduos, ele está inserido em uma atividade econômica bastante relevante. Portanto, a construção sustentável deverá ser um assunto levado em conta, a qual deve estar alerta para a reutilização, a reciclagem, por exemplo, e a correta destinação destes resíduos através de uma gestão eficaz.

Os resíduos originados de entulhos da construção civil espantam pelo volume crescente e por isso medidas urgentes precisam ser tomadas. Eles são, na maioria das vezes, utilizados na recuperação de áreas alagadas, para aterros e reaterros, ou então, simplesmente lançados, de maneira irregular na beira de estradas, cursos d'água. Todavia, o problema se expande, ainda, na escassez de áreas adequadas para a sua deposição que, com o crescimento metropolitano, vem se tornando cada vez mais escassas. Por outro lado, o resíduo pode ser reciclado, gerando elementos construtivos, como afirma Lucas (2008) onde a reutilização dos resíduos sólidos pode ajudar a reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e disposição final desses resíduos, também na redução dos impactos ambientais decorrentes da extração de matéria-prima, desta forma a indústria da construção civil pode ter um papel relevante como receptora de resíduos sólidos quanto à sua disposição final.

Em sua maioria, os resíduos oriundos da construção civil podem e devem ser reaproveitados de alguma forma, como é o caso das fibras de celulose provenientes dos sacos de papel Kraft derivados das embalagens de cimento frequentemente encontrados na maioria das construções.

Apesar de não se enquadrar em um resíduo proveniente da construção civil, o pneu usado também se tornou resíduo indesejável, muito pelo fato da deterioração deste material, que é muito resistente à degradação por meios naturais podendo o mesmo durar até 240 anos, sendo assim, incompatíveis com aterros sanitários e, observa-se ainda, que com a queima dos pneus a altas temperaturas, são produzidas enormes quantidades de fumaça negra, liberando ainda grandes quantidades de óleo que, ao permearem o solo, contaminam o lençol freático (AKASAKI, 2001).

Este estudo propõe uma alternativa para a destinação e reutilização dos sacos de papel Kraft provenientes dos sacos de cimento e do pó de borracha obtido por meio da trituração de pneus usados como substituto parcial de agregado miúdo na produção de argamassas de assentamento de alvenaria não estrutural.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Estudar o desempenho, conforme NBR 13281 (ABNT, 2005), de argamassas produzidas a partir da substituição parcial do agregado miúdo por fibras de celulose e pó de borracha, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Verificar as propriedades das argamassas em estudo, no estado fresco, por meio do índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água.

Analisar o comportamento mecânico das argamassas em estudo, no estado endurecido através dos ensaios de tração na flexão, compressão axial, densidade de massa aparente e absorção de água por capilaridade.

Avaliar e comparar o custo total de insumos materiais para produção das argamassas de assentamento de alvenaria não estrutural em estudo.

## 1.2. Justificativa

A relevância da preservação ambiental é algo que está cada vez mais adquirindo visibilidade, não apenas na construção civil, mas também de modo geral. Os programas de gestão de resíduos vêm se desenvolvendo a cada dia visando de forma sustentável o reaproveitamento destes materiais através de seu reuso.

Assim, pesquisas relacionadas às inovações construtivas que trazem a ideia de reutilização de matéria prima, tornam-se úteis tanto para a comprovação da qualidade do processo, quanto para o incentivo desta prática.

Atualmente observa-se em algumas cidades a presença de unidades públicas, como em Belo Horizonte, conforme relata Miranda (2009, p.63) “ocorre uma redução dos custos associados às disposições irregulares, sendo um fator de estímulo para tais investimentos. A cidade de Belo Horizonte, por exemplo, que implantou um bom sistema de gestão municipal de RCD”.

Também podendo ser encontradas unidades privadas, como em São Paulo, conforme salienta Miranda (2009) que já existem pelo menos três usinas de reciclagem privadas de pequeno porte instaladas, localizadas em São Paulo, SP, para reciclagem de resíduos provenientes da construção civil.

Em São Paulo, em razão da distância para as pedreiras e mineradoras o custo do agregado natural torna-se elevado, o que justifica a existência de algumas unidades para reciclagem privadas.

Dentre os resíduos gerados pela construção civil, podem-se destacar as embalagens de cimento – papel Kraft – que em sua grande maioria não recebem o tratamento adequado.

Ainda se tratando de resíduos, porém em outra área, os pneus automotivos, representam um problema ao meio ambiente pelo volume gerado. O volume de pneus produzidos no país aparece em alto ritmo. Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2013) entre 2009 e 2013 foram coletados cerca de 2,68 milhões toneladas de pneus usados, no Brasil, o que corresponde a cerca de 536 milhões de pneus de carros de passeio. Deste volume cerca de 80% são utilizados

como combustível alternativo, 15% na fabricação de pó de borracha, artefatos, asfalto e 5% como matéria prima para fabricar solado de sapato e dutos fluviais.

Com a necessidade de serem dadas outras alternativas à destinação de pneus usados e aos sacos de cimento a presente pesquisa pretende estudar, em laboratório, a viabilidade do reaproveitamento do pó de borracha obtido através da trituração de pneus usados e do papel Kraft proveniente dos sacos de cimento como substitutos parciais de agregado miúdo em argamassas de assentamento de alvenarias não estruturais. Considerando a alvenaria não estrutural um dos sistemas construtivos mais utilizados atualmente nas edificações, este método de reaproveitamento de resíduos surge como potencial alternativo para sanar os problemas de suas respectivas faltas de destinações.

## 2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Argamassa

A NBR 7200 (ABNT, 1998, p.2) define argamassa como uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.” Aglomerantes são materiais que unem os grãos do agregado. São os elementos ativos da argamassa, ou seja, os que sofrem as reações químicas.

Bauer (1995) define agregado como material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula. Dentre os tipos de agregado o mais utilizado em argamassas é a areia de rio, com dimensão máxima de até 4,8mm.

Os compostos de cal aérea, cimento e as mistas são, ordinariamente, aquelas com maior utilização, e aquelas utilizadas em decoração possuem sua composição basicamente de gesso, diferentemente das argamassas de cal hidráulica que não são utilizadas (PETRUCCI, 2003)

O tipo de aglomerado, ou mesmo a combinação de outros tipos, para diferentes aplicação, é definida pela destinação que será dada a cada tipo de argamassa. Assim, segundo Fiorito (1994), distribui da seguinte forma: argamassas de cal para emprego em emboço e reboco; argamassas de cimento para as alvenarias de alicerces, chapisco, reservatórios de água, ou outros locais onde se haja maior demanda por uma resistência mecânica e ao desgaste, bem como locais onde as categorias de impermeabilidade são exigíveis, e aquelas de cal e cimento para assentamento de revestimentos e contra pisos.

A destinação das argamassas decide qual o tipo de aglomerante ou qual a combinação de distintos tipos de aglomerantes empregados (FIORITO, 1994).

Uma boa argamassa deve atender a diversas condições, como: resistência mecânica, compacidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade.

Para Petrucci (2003) a estimação destas condições está amarrada a fatores como quantidade e qualidade do aglomerado e do agregado e quantidade de água.

A NBR 13281 (ABNT, 2005, p.2) classifica as argamassas de “acordo com a sua resistência à compressão, capacidade de retenção de água e teor de água incorporada”, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas

Características	Identificação	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal Alta	$\geq 80$ e $\leq 90$ $> 90$	NBR 13277
Teor de ar incorporado (%)	A	$< 8$	NBR 13278
	b	$\geq 8$ e $\leq 18$	
	c	$> 18$	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005

Dentre as propriedades das argamassas, uma das mais relevantes é a resistência mecânica que incide na sua capacidade de suportar esforços de tração, compressão e cisalhamento, advindos de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações, ou originadas a partir de condições ambientais. A resistência à compressão é a mais habitualmente utilizada, pois esta característica constata a uniformidade da produção. Sobretudo esta característica estaria mais ligada às argamassas de assentamento pela forma a qual esta vai ser solicitada no sistema de vedação (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004).

### 2.1.1 Materiais Constituintes

Conhecer a origem e estrutura dos materiais dos quais as argamassas são constituídas é indispensável para que se possa ter um conhecimento mais aprofundado das suas características técnicas após a obtenção dos resultados através dos ensaios.

A argamassa é composta por cimento, areia e água; podendo conter cal, aditivos e adições. Cada um destes materiais apresenta características próprias que interferem nas propriedades da argamassa.

#### 2.1.1.1 Areia

A areia necessita ter grãos formados de material consistente. Para preparar as argamassas nas obras, costumava-se secar a areia espalhando em finas camadas ao sol e peneirando-a. Estando, portanto, limpa, livre de torrões de argila, galhos, folhas e raízes ou qualquer outro tipo de matéria orgânica (MACCARI, 2010).

O agregado tem como funções fundamentais a redução do consumo de aglomerante, o acréscimo de resistência à compressão e a diminuição da retração da argamassa. No entanto, para desempenhar adequadamente estas funções, precisa possuir uma granulometria contínua. Tendo, portanto, um maior índice de vazios, o que leva a um menor gasto de aglomerantes.

A areia nas argamassas tem papel econômico e tecnológico. Econômico porquê de regra é mais barata que os aglomerantes e tecnológico porque coopera para otimizar as propriedades das argamassas, a durabilidade e a textura final dos revestimentos (DUBAJ, 2000).

A areia não participa das reações químicas do endurecimento da argamassa, interferindo no estado fresco pelo arranjo granulométrico; a forma dos grãos influencia na trabalhabilidade e na retenção de água; no estado endurecido, influência nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação e na permeabilidade.

A areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, afeta a trabalhabilidade da argamassa, o que para Carneiro (1999) promove

um conseqüente enrijecimento, evitando o deslizamento dos grãos da areia entre si, com demanda de um maior dispêndio de pasta.

### 2.1.1.2 Cimento

Para Beraldo e Freire (2003, p. 330) “cimento é um pó fino, composto por calcário, argila, gesso e possíveis adições que em contato com a água tem característica de unir rigidamente vários tipos de materiais”. E, mesmo que em contato com a água, ainda que decorrido os prazos de secagem, não mais se decompõem.

Portanto, o cimento é o responsável pela união das partículas do agregado. Ele enrijece na presença de água. É usado em argamassas pela sua habilidade de resistir à ação da água, conferir resistência mecânica e é o fundamental responsável pela adesão.

Por outro lado, diante do seu alto custo energético de produção, foram incorporados diversos materiais que acrescentaram qualidade ao produto e diminuíram seu custo. Assim surgiram os diferentes tipos de cimentos. Nos escritos de Dubaj (2000, p. 102) eles são normatizados pela ABNT e podem ser utilizados em obras sem restrições, entre eles estão:

- Cimento Portland comum (CP I, CP I S): cimento de uso geral;
- Cimento Portland composto (CP II E, CP II Z, CP II F): tem adições de escória, pozolana e fíler, respectivamente;
- Cimento Portland de alto forno (CP III): possui pega mais lenta que os cimentos anteriores, porém alcançando maiores resistências mecânicas em idades mais avançadas;
- Cimento Portland pozolânico (CP IV): tem propriedades físicas iguais ao CP III;
- Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI): atinge altas resistências mecânicas em curto prazo, mas desenvolve muito calor de hidratação.

### 2.1.1.3 Água

A água de amassamento deve ser livre de impurezas, como por exemplo matéria orgânica, resíduos sólidos, açúcares e íons cloreto e sulfato. Acredita-se que esses requisitos sejam atendidos pela água proveniente dos serviços públicos de abastecimento (BERALDO e FREIRE, 2003).

### 2.1.1.4 Cal

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003, p.2), a cal hidratada “é um pó seco alcançado pela hidratação apropriada da cal virgem, composta fundamentalmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma combinação de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio”.

Tradicionalmente a cal tem sido utilizada como um dos componentes constitutivos das argamassas. No entanto, de acordo com Rago e Cincotto (1999), é notório que a substituição da cal por aditivos tem interferido diretamente na durabilidade dos revestimentos, como já pode ser verificado em alguns prédios da Europa, notadamente na França.

### 2.1.1.5 Fibras de celulose

As fibras de celulose são um conjunto de filamentos compostas por moléculas de celulose que costuma apresentar uma maior estabilidade aos efeitos da degradação, seja ela química, térmica ou mecânica. Segundo Savastano Jr (2011, p.58) “as fibras de celulose normalmente se apresentam em forma de polpas, e a utilização destas no reforço de materiais à base de matrizes cimentícias tem adquirido importância cada vez maior em todo o mundo”.

Os sacos de cimento e cal são de papel kraft natural, cuja fabricação se dá pela mistura de fibras de celulose curtas e longas, originárias de polpas de madeira

preferencialmente macias, como do eucalipto, por exemplo. Nesse tipo de produção, a matéria prima é levada ao cozimento em solução alcalina a altas temperaturas, tendo esta prática a função de decompor os componentes não celulósicos.

Segundo De Carvalho (2011, p.286), vencedora do Prêmio Odebrecht para o Desenvolvimento Sustentável de 2011, “a produção de argamassas com fibras advindas de embalagens de cimento e de cal, tem potencial para absorver parte significativa desse resíduo, reaproveitando-o dentro da própria cadeia produtiva sem agregar novos impactos ambientais”. Também, no que se refere ao aspecto econômico, o emprego desta argamassa se mostra viável.

#### 2.1.1.6 Pó de Borracha

Conforme relata Albuquerque (2009), a adição de pó de borracha de pneus na mistura do concreto ocasiona uma redução tanto das resistências à compressão quanto à tração, mas o mesmo concreto demonstra uma disposição maior de deformação e comportamento à fratura menos frágil, sugerindo uma maior capacidade de absorção de energia quando comparado ao concreto convencional. O autor afirma ainda que esse comportamento do material é atribuído ao desempenho da borracha de pneu, que suporta grande deformação elástica antes da ruptura do concreto.

De acordo com Meneguini (2003, p.85), “o uso de uma argamassa de areia e cimento utilizando pó de borracha de pneus usados pode ser efetivo como adição, produzindo um material isolante, em função de sua baixa condutividade elétrica e sonora”.

O processo de reciclagem mecânica pode ser feito por moinho de facas ou de cilindros. Para Pierozan (2007) nos moinhos, quer sejam de facas ou de cilindros, estão acopladas peneiras vibratórias para seleção granulométrica das partículas, sendo o material moído em tamanhos variados, tendo o tamanho médio variando de 3 a 5 mm.

#### 2.1.1.6.1 Interface pasta agregado

As interações com a interface do substrato, no processo de adesão, podem ser maximizadas através do tratamento superficial do material, por objetivo aumentar a hidrofiliabilidade da superfície das partículas de borracha para compatibilizá-las com a matriz de cimento, conforme Segre (1999). As partículas de borracha utilizadas por Segre (1999) sofreram tratamento por solução aquosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou NaOH, desta forma, apresentando melhor desempenho, a borracha atuou com grande coesão, diminuiu a porosidade do material final, aperfeiçoou as propriedades mecânicas da pasta, suportando melhor os esforços de flexão, absorção de água e energia de fratura.

#### 2.1.1.7 Tratamento de resíduos

Um ótimo exemplo de empresa especializada em coleta, tratamento e destinação de resíduos é a Central de triagem e reciclagem (CTR), localizada em Osasco, estado de São Paulo, segundo o site oficial da empresa (CTR, 2015, *online*), o trabalho realizado é um grande passo rumo ao desenvolvimento sustentável do planeta, haja vista que possibilita a reutilização e redução no consumo de matérias-primas.

Diante disso, faz-se necessário mencionar que tal iniciativa demonstra cada vez mais sua importância não só para o meio ambiente, como também para as empresas, uma vez que, a longo prazo, as tornam mais econômicas e sustentáveis se adequadas às leis ambientais. É fundamental destacar que a CTR faz a coleta dos resíduos, realiza a britagem e os leva de volta à obra já preparados para utilização. Dessa forma, os resíduos são reaproveitados retornando ao ciclo produtivo e diminuindo o impacto ao meio ambiente.

Outro exemplo ocorre em Minas Gerais onde foi implantado pela prefeitura municipal, no município de Belo Horizonte, o Programa de Correção das Deposições Clandestinas e Reciclagem de Entulho cujo objetivo principal é o de promover a correção dos problemas ambientais gerados pela disposição indiscriminada desses resíduos em sua malha urbana, segundo Júnior (2005, *online*), autor da cartilha do

programa, a opção pela implantação do mesmo partiu da constatação de que os resíduos da construção civil, por corresponderem a aproximadamente 40% dos resíduos recebidos diariamente nos equipamentos públicos, demandam investimentos específicos para equacionar os problemas ambientais que acarretam especialmente quando inadequadamente dispostos. Os produtos resultantes do beneficiamento dos resíduos da construção civil (RCC) apresentam aspectos econômicos viáveis para certos tipos de aplicação, o material reciclado tem sido utilizado pela prefeitura em obras de vias públicas e ainda, em obras de infraestrutura em vilas e favelas.

#### 2.1.1.8 Adições

São estes materiais em pó usados na preparação das argamassas com intuito de alterar determinadas propriedades do material no estado fresco e endurecido, tornando-o mais trabalhável ou aumentando suas características em relação à resistência físico-química.

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013, p.4), adições “são materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento”.

Carvalho Júnior (2005, p.53), define adições como “materiais finamente divididos, com capacidade de atribuir algumas propriedades à argamassa”. Na maioria das vezes, não possuem poder aglomerante, agindo como agregados, e de modo geral, possuem poder aglutinante. As adições mais comuns presentes nas argamassas são as pozolanas, o pó calcário, também conhecido como filler e os pigmentos que apenas atribuem cor à argamassa, se diferenciam pelos tipos orgânicos e inorgânicos.

### 2.1.1.9 Aditivos

São produtos químicos que se adicionam ao traço das argamassas com o fim de melhorar suas características referentes à plasticidade, tempo de utilização, resistência mecânica, impermeabilidade, aparência e durabilidade. Os mais usuais aditivos empregados nas argamassas são, incorporadores de ar que atribuem plasticidade e a adesão inicial e elevam a retenção de água. Contudo, diminuem as resistências à compressão, flexão e aderência.

Os plastificantes melhoram a trabalhabilidade, o que, para Da Silva (2005), ocorre na diminuição da quantidade de água e conseqüente acréscimo da resistência com menor consumo de cimento e redução da retração. Os retentores de água abatem a absorção de água pelo substrato, evaporação e exsudação de água da argamassa fresca. Os retardadores de pega delongam o início da hidratação do cimento.

Os adesivos fornecem aderência química com o substrato. Os hidrofugantes diminuem a absorção de água da argamassa. Os impermeabilizantes diminuem a permeabilidade.

## 2.2 Propriedades das argamassas

### 2.2.1 Consistência

Como explana Cincotto (1995, p.4) consistência “é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação”. Vários autores a classificam de acordo com a consistência em: secas (a argamassa preenche os vazios entre os grãos), plásticas (a argamassa forma uma fina película e age como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e fluídas (os grãos ficam imersos na argamassa). A consistência é diretamente determinada pela quantidade de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

Para a avaliação da consistência da argamassa é utilizada tradicionalmente no Brasil a mesa de consistência (*flow table*) prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e são realizados procedimentos de ensaio para determinação do índice de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005).

### 2.2.2 Trabalhabilidade

Esta propriedade relaciona-se especialmente à consistência. A trabalhabilidade significa facilidade de manuseio. Pode-se dizer que uma argamassa é trabalhável, quando ela se espalha facilmente ao ser assentada, não gruda na ferramenta no ato da aplicação, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absorptivas e permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada.

Na construção civil, termos como trabalhabilidade, consistência, coesão e plasticidade são utilizados para descrever o comportamento de matérias como argamassas e concretos no estado fresco.

Sabbatini (2000, p. 82) define consistência como “uma das propriedades que mais influencia a trabalhabilidade, sendo esta, derivada por vários fatores, tanto internos (originados a partir dos materiais constituintes) como externo (originados a partir do processo de aplicação).

Em síntese, é certo que a trabalhabilidade influencia na facilidade do operário durante as operações de manuseio e aplicação das argamassas. Em geral, a falta de trabalhabilidade da argamassa é observada através de aspectos como uma argamassa áspera, muito seca ou muito fluida, com segregação e exsudação excessiva, com dificuldade de espalhar sobre a base de aplicação, falta de adesão inicial e em certas dificuldades para início das operações de acabamento.

À vista disso, nota-se que avaliar, quantificar e prescrever valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios é uma tarefa muito complexa, tendo em conta que ela depende não só das características intrínsecas da argamassa, mas também da habilidade do pedreiro que está executando o serviço e de várias propriedades do substrato, além da técnica de aplicação.

### 2.2.3 Coesão e Tixotropia

A coesão, conforme retrata Cincotto (1995, p.6), se refere às “forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa no estado fresco e às ligações químicas da pasta aglomerante”. Ainda segundo o autor, a influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado.

A tixotropia é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas e reversíveis do estado sólido para o estado gel. “O estado gel, no caso das argamassas, diz respeito à massa coesiva de aglomerante na pasta, mais densa após a hidratação” (Cincotto, 1995, p.22).

### 2.2.4 Plasticidade

É a propriedade na qual a argamassa no estado fresco tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação. De acordo com Cincotto (1995, p.24), a plasticidade e a consistência são as propriedades que de fato caracterizam a trabalhabilidade, e são influenciadas pelo teor de ar aprisionado, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas.

Cascudo (2005), esclarece que a plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, demanda uma quantidade ótima de água o que significa uma consistência ótima, sendo esta função do proporcionamento e natureza dos materiais.

### 2.2.5 Retenção de água

A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando submetida a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal (Cincotto, 1995).

De acordo com Selmo (1989, p.23) as “argamassas tendem a conservar a água necessária para molhar as partículas dos aglomerantes e do agregado miúdo e caso utilizada em excesso é cedida facilmente, devido à absorção do substrato”. Carasek (1996, p.154) constatou em seus experimentos utilizando argamassas com diferentes retenções de água aplicadas em diferentes tipos de substratos, que “com menores capacidades de retenção produziam maior resistência de aderência do revestimento”. Daí a importância deste aspecto em argamassas.

#### 2.2.6 Adesão inicial

A adesão inicial da argamassa no estado fresco ao substrato é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro da união substrato/revestimento como o desempenho decorrente da aderência (CINCOTTO, 1995).

São fatores essenciais para uma boa aderência inicial da argamassa as condições de limpeza do substrato, isentos de poeiras, partículas soltas e gorduras.

#### 2.2.7 Aderência no estado endurecido

Como bem explica Sabbatini (1984, p.86), “aderência da argamassa no substrato pode ser definida como sendo a capacidade que a interface substrato/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se”.

A aderência é fortemente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e a absorção de água, a resistência mecânica, a textura superficial e pelas condições de execução do revestimento. A capacidade de aderência da interface argamassa/substrato depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar aprisionado da argamassa.

A NBR 15258 (ABNT, 2005), propõe procedimentos de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração. Esta norma introduz o conceito de aderência potencial, estabelecendo um substrato-padrão para a aplicação das argamassas de modo a minimizar a influência da base na aderência, buscando assim avaliar apenas a contribuição da argamassa na resistência de aderência à tração.

### 2.2.8 Elasticidade

A elasticidade de acordo com Sabbatini (1984, p.89), é a “capacidade que a argamassa no estado endurecido apresenta em se deformar sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas, e de retornar à dimensão original inicial quando cessam estas solicitações”. Nas palavras de Cincotto (1995, p.12), a “elasticidade é uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento e, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade”.

### 2.3 Cálculo de insumos

Segundo González (2008, p.29) “Insumos são todos os elementos necessários para a construção da obra, considerados individualmente, a composição dos custos unitários de cada insumo necessário para realizar uma determinada tarefa resulta nas composições unitárias de custos dos serviços”. Existem basicamente três categorias de insumos, conforme Andrade (2002), são eles, materiais, mão-de-obra e equipamentos, não existindo regras fixas sobre os custos dos materiais, pois a diversidade é grande, podendo, estes serem obtidos através de pesquisa de mercado.

### 3.0 METODOLOGIA

Esta pesquisa refere-se ao estudo comparativo de desempenho, conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), com a prática de utilização de pó de borracha e sacos de cimento como substituto parcial de agregado miúdo, em argamassas de assentamento de alvenaria não estrutural. A mesma foi realizada por meio de um programa experimental executado no laboratório do CEULP (Centro Universitário Luterano de Palmas). Nessa etapa foram realizados ensaios com intuito de avaliar o comportamento das argamassas nos estados fresco e endurecido. Para avaliação da eficiência do pó de borracha, advindo do tritramento de pneus usados, e das fibras celulósicas provenientes dos sacos de cimento no comportamento das argamassas, foram estudadas três argamassas, sendo uma de referência, executada sem a substituição parcial do agregado miúdo e duas com substituição de 15% do valor, em volume, do agregado miúdo, sendo uma com 5% por fibras de celulose e 10% por pó de borracha, outra com 5% por pó de borracha e 10% por fibras de celulose, conforme tabela 02, sendo estas proporções de materiais em substituição, admitidas se baseando nos trabalhos propostos por De Carvalho (2011) onde há adição de papel kraft em argamassas, e Albuquerque (2009) que adicionou partículas de borracha em seu experimento com concreto, fazendo deste estudo, um estudo inicial para o uso destes dois materiais em conjunto. Os valores de cada traço, em volume e em massa, também serão representados na tabela 3 e 4. Como se trata de um estudo comparativo entre as três argamassas, o processo de mistura foi padronizado, sendo realizado em mesma argamassadeira, com tempo total de mistura idênticos de 6 minutos, o fator água/cimento admitido para este trabalho foi de 0,42.

Tabela 02 - Percentual de fibra e pó de borracha substituídos nos traços de argamassa

Traço	A	B	C
Fibras de celulose	0%	5%	10%
Pó de borracha	0%	10%	5%

Fonte: Próprio autor

Tabela 03 – Volume de materiais, em litros, usado em cada traço

Traço	Cimento (L)	Cal (L)	Areia (L)	Papel Kraft (L)	Pó de Borracha (L)
A	1	2	7	0	0
B	1	2	5,95	0,35	0,70
C	1	2	5,95	0,70	0,35

Fonte: Próprio autor

Tabela 04 – Massa de materiais, em quilos, usado em cada traço

Traço	Cimento (Kg)	Cal (Kg)	Areia (Kg)	Papel Kraft (Kg)	Pó de borracha (Kg)
A	1,20	3,40	9,95	0,00	0,00
B	1,20	3,40	8,45	0,21	0,28
C	1,20	3,40	8,45	0,42	0,14

Fonte: Próprio autor

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Sacos de papel Kraft

A obtenção dos sacos de cimento se deu por meio de coleta direta em empresa especializada em pré moldados, onde se faz grande uso de cimento, com sede em Palmas, mediante autorização do responsável. Os sacos receberam tratamento de limpeza prévio, antes de serem aplicados no ensaio, de modo a eliminar resíduos de matéria que porventura o estivessem aderido.

A polpação dos sacos de cal e cimento, para permitir o emprego nas argamassas, foi obtida mediante a agitação dos sacos juntamente com água potável, até a dispersão das fibras. Para promover a agitação, foi utilizado um misturador elétrico de propriedade do autor, conforme mostra a figura 1, o qual apresenta uma hélice central acoplada ao fundo de uma cuba de capacidade aproximada de 5 litros, sendo a hélice acionada por um motor elétrico. Posteriormente também foi realizado o ensaio para obtenção da densidade do papel kraft, descrito mais adiante pelo item 3.2.2.

O tempo de agitação dos sacos em água potável no misturador foi padrão para todos os ensaios, sendo este de 5 minutos. Destacando que o procedimento de polpação executado neste trabalho se baseou conforme executado por De Carvalho (2011, p.272), vencedora do Prêmio Odebrecht para o Desenvolvimento Sustentável de 2011, onde é ressaltado que “embora o teor de fibra na argamassa seja a massa

da polpa seca, no preparo da argamassa elas serão aplicadas úmidas, considerando a água da polpa como parte da água de amassamento”.

Nesse processo, a proporção entre volume de água e quantidade de sacos foi de 3 litros por embalagem. Com isso, obteve-se a polpa pronta para aplicação. Dessa maneira, toda água empregada no processo de polpação foi considerada parte da água de amassamento, não havendo, portanto, desperdícios ou gastos extras e não afetando a relação água/cimento.

Figura 1 – Misturador elétrico



Fonte: Próprio autor

Figura 2 - Sacos de papel Kraft processados em misturador



Fonte: Próprio autor

### 3.1.2 Pó de borracha

A aquisição do pó de borracha se deu por meio de coleta direta em empresa que oferece aluguel de campos de futebol com gramado sintético, localizada na cidade de Palmas, que utilizam o material para espalhar neste tipo de gramado, sendo inviável a obtenção deste material diretamente de fábrica especializada na trituração do mesmo, por motivo de somente haver fora do estado. Antes da utilização do material, o pó de borracha passou por uma lavagem prévia em água corrente para limpeza dos grãos, após lavagem, o material passou por secagem natural.

Figura 3 - Pó de borracha



Fonte: Próprio autor

### 3.1.3 Areia

A areia natural utilizada foi conseguida por meio de coleta de amostra em um canteiro de obras situado nesta cidade. A mesma foi lavada, seca em estufa, e submetida a ensaios para determinação da massa específica unitária, granulometria, módulo de finura e dimensão máxima característica, ensaios estes que serão descritos nos itens 3.2.1 e 3.2.2 e foram repetidos para este material.

Figura 4 - Areia usada nos traços



Fonte: Próprio autor

### 3.1.4 Cimento

Para a elaboração deste trabalho foi utilizado o cimento CII - Z - 32, que é um cimento Portland Composto com Pozolana, cuja resistência aos 28 dias deve ser no mínimo 32 Mpa, de fácil obtenção na região. Todo o cimento utilizado foi retirado de um mesmo lote, para manter um padrão mais consistente de características e seu armazenamento se deu em local seco e arejado sem contato com umidade.

Figura 5 - Cimento utilizado no ensaio



Fonte: Próprio autor

### 3.1.5 Cal

A cal utilizada para este trabalho foi a do tipo CH I – Hidratada Especial, cuja composição se dá pela presença de hidróxido de cálcio e magnésio. Toda cal utilizada foi retirada de um mesmo lote, para manter um padrão mais consistente de características e seu armazenamento se deu em local seco e arejado sem contato com umidade.

Figura 6 - Cal utilizada no ensaio



Fonte: Próprio autor

### 3.1.6 Água

A água utilizada neste trabalho para todas as atividades que a necessite, foi da rede pública do Município de Palmas.

## 3.2 Caracterização dos materiais

### 3.2.1 Ensaio de granulometria

A curva granulométrica do pó de borracha foi determinada seguindo os métodos descritos na NBR NM 248 (ABNT, 2003) onde através do ensaio de peneiramento que consiste na classificação, em porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos do material, determinação das dimensões das partículas do material e de suas respectivas porcentagens de ocorrência de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009). Para realização deste ensaio a amostra foi posta em estufa e resfriada à temperatura ambiente e apurada sua respectiva massa, totalizando 500 g. Foram encaixadas as peneiras, previamente limpas, de maneira a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, colocado a amostra sobre a peneira superior do conjunto, evitando a formação de uma camada densa de material sobre qualquer uma das peneiras.

Foi agitado cada peneira, com a amostra, pelo tempo de 3 minutos, e após este processo foram aferidas as massas do material retido nas peneiras formando assim o gráfico de curva granulométrica.

Figura 7 - Peneiras de série normal



Fonte: Próprio autor

### 3.2.2 Massa específica unitária

Para a determinação da massa específica do pó de borracha, areia e papel kraft, foi realizado o ensaio seguindo a norma vigente, NBR NM 52 (ABNT, 2009). A massa unitária destes materiais foi obtida através de um ensaio onde os materiais foram colocados em um recipiente de volume conhecido e posteriormente aferida a massa destes materiais através da relação peso/volume.

Figura 8 - Ensaio de massa específica unitária da areia



Fonte: Próprio autor

### 3.3 Métodos

#### 3.3.1 Argamassa no estado fresco

##### 3.3.1.1 Determinação do índice de consistência

Este ensaio foi embasado pela norma NBR 13276 (ABNT, 2005), para todos os traços estudados, também conhecido como *flow table*, ensaio este, que foi executado para determinação da trabalhabilidade tanto da argamassa de referência como das argamassas com substituição parcial de agregado.

Este ensaio consistiu em depositar uma porção de argamassa, dentro de um cone centralizado em uma mesa, em 3 camadas, sendo a primeira camada, submetida a 15 golpes, por meio de uma haste metálica, a segunda camada com 10 golpes e a terceira camada com 5 golpes. Em seguida, foi retirado o cone e foram dados 30 golpes de queda da mesa em 30 segundos. Posteriormente foi feita a medida do espalhamento da argamassa sobre a mesa em duas direções perpendiculares. Com a média destas medidas foi determinada a trabalhabilidade dos tipos de argamassa executados neste trabalho.

Figura 9 - Ensaio de determinação do índice de consistência



Fonte: Próprio autor

### 3.3.1.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

A execução deste ensaio se fundamenta na relação entre o volume e massa de material, tal ensaio é descrito pela norma NBR 13278 (ABNT, 2005), que consiste resumidamente na pesagem da amostra de argamassa acondicionada no molde cilíndrico de volume, aproximado, de 400 cm<sup>3</sup>.

O resultado do ensaio é demonstrado por um valor unitário em porcentagem, obtido através da fórmula a seguir:

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r}$$

Onde:

$M_c$  = massa do recipiente cilíndrico, juntamente com a argamassa de ensaio, em g;

$M_v$  = massa do recipiente cilíndrico vazio, em g;

$V_r$  = volume do recipiente cilíndrico, em cm<sup>3</sup>.

$A$  = densidade de massa, em g/cm<sup>3</sup>

Já o teor de ar incorporado é a quantificação de ar existente em um determinado volume de argamassa, neste caso, obteve-se o teor de ar incorporado através do medidor de ar, conforme figura 11, abaixo.

Figura 10 - Execução do ensaio de densidade de massa



Fonte: Próprio autor

Figura 11 - Execução do ensaio de teor de ar incorporado



Fonte: Próprio autor

### 3.3.1.3 Determinação de retenção de água

A retenção de água em argamassas, neste trabalho, foi avaliada pelo método proposto pela NBR 13277 (ABNT, 2005), que consiste em determinar a quantidade de água retirada de uma porção de argamassa contida em um funil de filtragem, após uma sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão. Conforme a norma propôs, a leitura da quantidade de perda de água após a sucção foi realizada aos 15 minutos.

Figura 12 - Execução do ensaio de determinação de retenção de água



Fonte: Próprio autor

### 3.3.2 Argamassa no estado endurecido

#### 3.3.2.1 Corpos de prova

A moldagem foi feita baseando-se na NBR 5738 (ABNT, 2015), sendo confeccionados os moldes para os corpos de prova prismáticos.

Os moldes prismáticos foram feitos com seção transversal quadrada, com as superfícies lisas e cumprindo com os requisitos determinados por norma, onde o comprimento atendeu aos 50 mm maior do que o vão de ensaio e 50 mm maior do que três vezes a dimensão do lado da seção transversal do corpo-de-prova, a dimensão transversal atingiu o mínimo exigido de 150 mm, onde a tolerância das dimensões permaneceu inferior a 2% e não maior do que 2 mm. Tendo estes às dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm.

No adensamento, realizado em duas camadas, em cada camada foram aplicados golpes de socamento para correto adensamento, uniformemente distribuídos em toda a seção do molde. No adensamento de cada camada, a haste de socamento não penetrou a camada já adensada.

Os corpos de prova permaneceram no molde por 24 horas, depois desmoldados e condicionados no Laboratório de Materiais do CEULP.

Figura 13 - Moldes de corpo de prova



Fonte: Próprio autor

### 3.3.2.2 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial

A norma brasileira NBR 13279 (ABNT, 2005) descreve o procedimento experimental para determinação da resistência à tração na flexão. Foram preparados três corpos de prova para cada uma das três misturas de argamassa para averiguação da resistência à tração na flexão e à compressão.

Para a determinação da resistência à tração na flexão, o corpo de prova foi disposto no dispositivo de apoio e em seguida foi aplicada uma carga de aproximadamente 50 N/s, com margem de variação de 10 N/s para mais ou para menos até a ruptura do corpo de prova na máquina universal do laboratório de materiais do CEULP. A resistência à tração na flexão foi calculada segundo a equação a seguir, o ensaio ocorreu quando os corpos de prova completaram 28 dias de idade.

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3}$$

Onde:

$R_f$ = resistência à tração na flexão (MPa)

$F_f$ = carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)

$L$ = distância entre os suportes (mm)

Para a determinação da resistência à compressão foram usados corpos de prova prismáticos idênticos aos que foram usados no ensaio de flexão e a carga aplicada foi de 500 N/s, com margem de variação de 50 N/s para mais ou para menos, nos corpos de prova posicionados com a base de 4x4 cm assentadas em paralelo com a face das mesas de aço, até a ruptura, em equipamento adequado cedido pelo laboratório de materiais do CEULP. A resistência à compressão foi calculada segundo a equação a seguir. O ensaio ocorreu quando os corpos de prova atingiram 3, 7, 14 e 28 dias de idade.

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Onde:

$R_c$ = resistência à compressão (MPa)

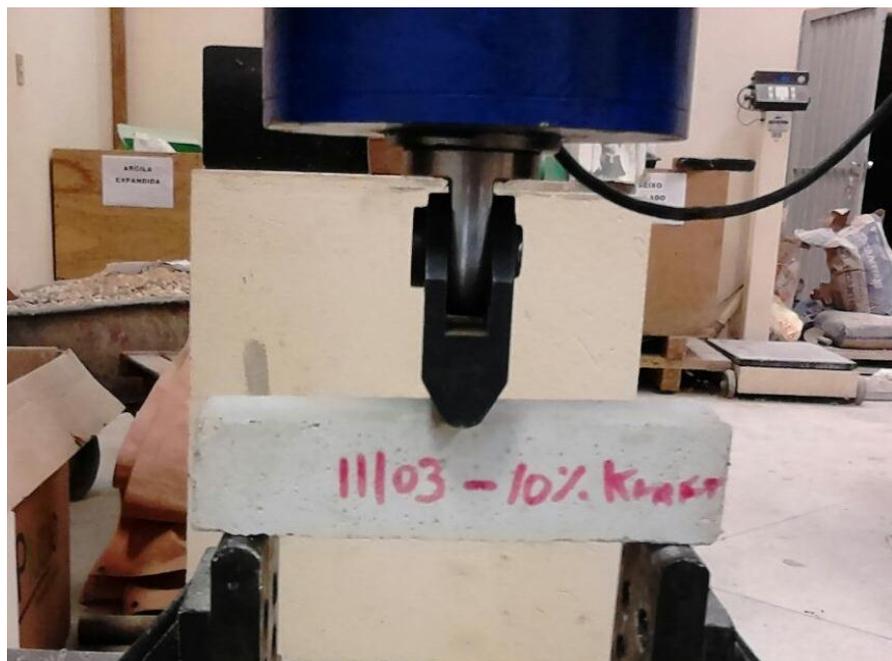
$F_c$ = carga máxima aplicada (N)

Figura 14 - Execução do ensaio de compressão axial



Fonte: Próprio autor

Figura 15 - Execução do ensaio de tração na flexão



Fonte: Próprio autor

### 3.3.2.3 Densidade de massa aparente

A determinação da densidade de massa aparente seguiu as recomendações de procedimentos da norma NBR 13280 (ABNT, 2005). O ensaio foi realizado em três corpos de prova para cada uma das misturas. Os corpos de prova foram moldados, adensados e curados, e a realização do ensaio ocorreu com os corpos de prova apresentando 28 dias de idade.

Foi determinada com a ajuda de um paquímetro com resolução de 0,1 mm, a altura, a largura de cada corpo de prova. Em seguida verificou-se a massa de cada corpo de prova com uma balança de resolução de 0,1 g. A densidade de massa foi calculada pela equação a seguir:

$$D = \frac{m}{V} \times 1000$$

Onde:

D= densidade de massa (Kg/m<sup>3</sup>)

M= massa (g)

V= volume do corpo-de-prova (cm<sup>3</sup>)

Figura 16 – Aferição de massa em balança



Fonte: Próprio autor

Figura 17 – Disposição dos corpos de prova em estufa



Fonte: Próprio autor

#### 3.3.2.4 Absorção de água por capilaridade

O ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade foi realizado segundo a NBR 15259 (ABNT, 2005). As medições das massas foram efetuadas aos 10 minutos e 90 minutos após a exposição dos mesmos à lâmina de água. Aos 90 minutos os corpos de provas foram rompidos à compressão diametral e foi verificado a altura de ascensão da água no seu interior. A absorção de água por capilaridade foi calculada através da seguinte equação:

$$Ac = \frac{A - B}{S} \times 100$$

Onde:

Ac= absorção de água por capilaridade (%);

A= massa do corpo-de-prova em contato com a água (g);

B= massa do corpo-de-prova seco (g);

S= área da seção transversal (cm<sup>2</sup>);

O coeficiente de capilaridade pode ser obtido pela equação a seguir.

$$C = m_{90} - m_{10}$$

Onde:

$C$  = coeficiente de capilaridade, em  $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$

$m_{90}$  = massa dos corpos de prova a 90 minutos

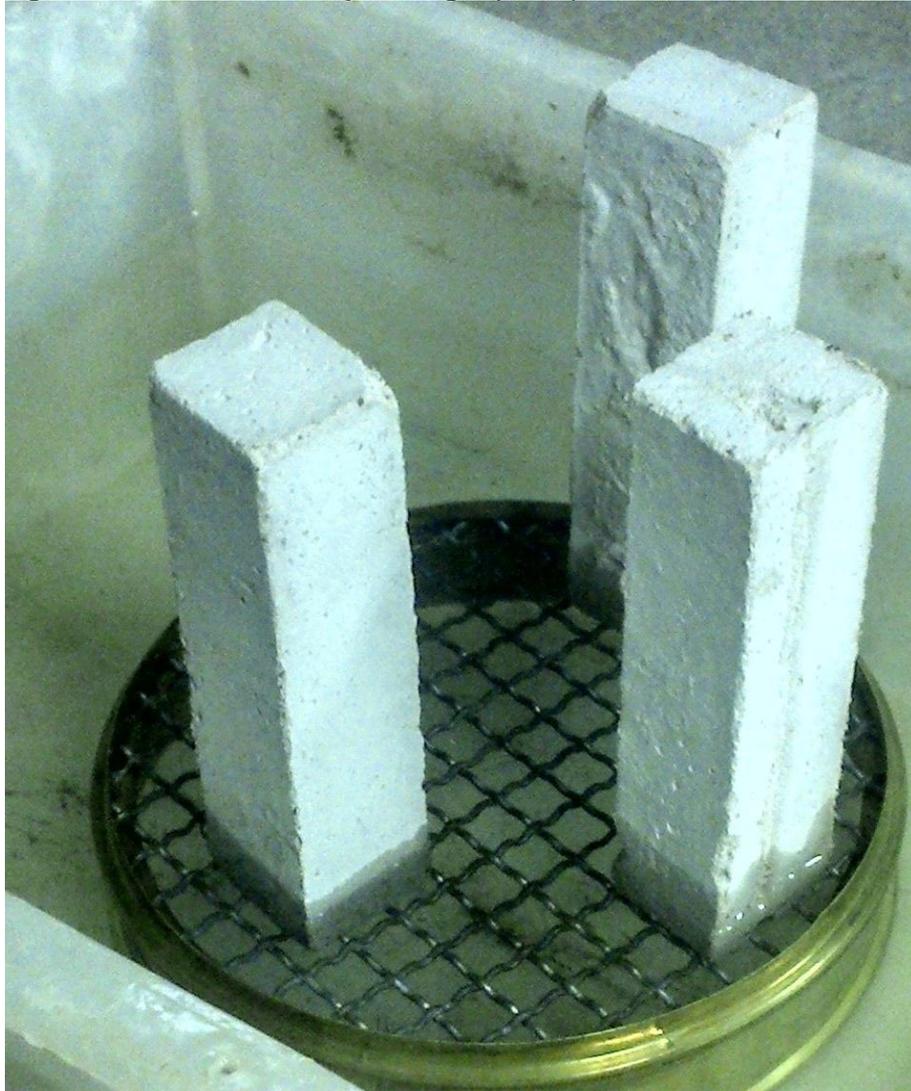
$m_{10}$  = massa dos corpos de prova a 10 minutos

Figura 18 – Corpo de prova rompido diametralmente



Fonte: Próprio autor

Figura 19 – Ensaio de absorção de água por capilaridade



Fonte: Próprio autor

### 3.3.3 Cálculo de insumos

O cálculo de insumos foi realizado somente considerando os materiais utilizados para este estudo.

Para a obtenção da média de preço dos materiais, foi realizada pesquisa em 3 empresas fornecedoras destes materiais na cidade de Palmas, exceto para o pó de borracha, que por não serem localizadas empresas específicas de fornecimento nesta cidade, foi considerada uma média de preço através de empresas nacionais, pesquisadas *online*, os materiais pesquisados foram: cimento, cal, areia e pó de borracha, cujos preços médios se encontram na tabela 8, apresentada a seguir. O pó de borracha utilizado neste estudo, foi obtido de forma gratuita, mas para cálculos de insumos materiais, foi considerado a média de valor pesquisada.

Através do valor de peso específico, tabela 7, obtido por meio de ensaios e informações de fornecedores, como no caso do cimento e da cal, foi executada a transformação para quilograma, tabela 6, através da relação do volume de traço pré definido, tabela 5.

Para o cálculo de insumos materiais, sabendo-se qual o traço usado, em volume, e o fator água cimento, fixado em 0,42, para ambos os ensaios, foi definido inicialmente o quantitativo de cada material, em volume, para a execução de 1 m<sup>3</sup> de cada traço, posteriormente, com os valores de peso específico de cada material usado, obteve-se o valor em quilograma dos mesmos, e por fim, através da média de custo obtida através de pesquisa em lojas da capital, com exceção do pó de borracha, que teve seu preço médio obtido através de pesquisa de mercado online, obteve-se o valor de insumos materiais totais, por metro cúbico, de cada traço estudado.

Tabela 5 – Valores dos traços para um metro cúbico, em litros.

	Traço A (L)		Traço B (L)		Traço C (L)
Cimento	96,0		96,0		96,0
Cal	191,9		191,9		191,9
Areia	671,8		571,0		571,0
Papel Kraft			33,6		67,2
Pó de Borracha			67,2		33,6
Água	40,3		40,3		40,3
TOTAL(L)	1000,0		1000,0		1000,0

Fonte: Próprio autor

Tabela 6 – Valores dos traços para um metro cúbico, em quilos

	Traço A (Kg)		Traço B (Kg)		Traço C (Kg)
Cimento	115,1631		115,1631		115,1631
Cal	316,6987		316,6987		316,6987
Areia	954,6065		811,4155		811,4155
Papel Kraft			17,8695		35,7390
Pó de Borracha			26,4012		13,2006
Água	40,3071		40,3071		40,3071
TOTAL(L)	1426,7754		1327,8551		1332,5240

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 – Peso específico dos materiais, em Kg/m<sup>3</sup>.

<b>Pesos específicos</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Cimento</b>	<b>1200</b>
<b>Cal</b>	<b>1650</b>
<b>Areia</b>	<b>1421</b>
<b>Papel Kraft</b>	<b>532</b>
<b>Pó de Borracha</b>	<b>393</b>
<b>Água</b>	<b>1000</b>

Fonte: Próprio autor

Tabela 8 – Preço médio dos materiais utilizados.

Valor médio	R\$	Kg	R\$/Kg
Cimento	26,00	50,00	0,52
Cal	14,00	20,00	0,70
Areia	77,00	1421,00	0,05
Papel Kraft	0,00	0,00	0,00
Pó de Borracha	1,40	1,00	1,40
Água	0,00	0,00	0,00

Fonte: Próprio autor

## 4.0 RESULTADOS

Os resultados obtidos no programa experimental realizado nesta pesquisa são apresentados a seguir.

### 4.1 Caracterização dos materiais

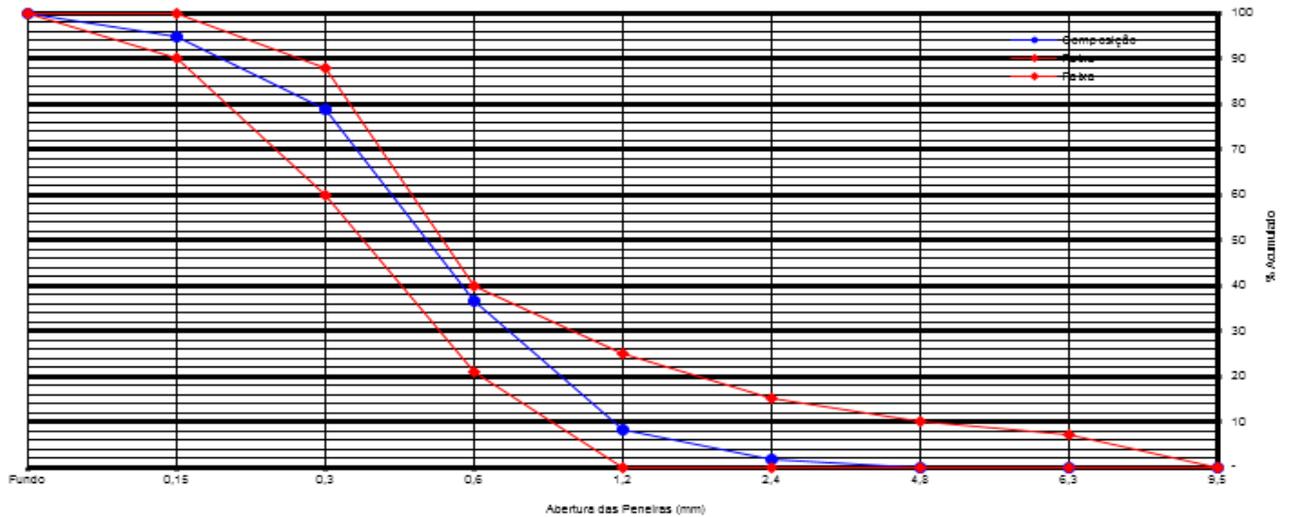
#### 4.1.1 Granulometria

A distribuição granulométrica do agregado miúdo influência de forma direta no desempenho da argamassa, tendo influência na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes. Se tratando de distribuição granulométrica do agregado miúdo, quanto maior for a sua continuidade, maiores serão as resistências mecânicas.

Este fato ocorre devido à melhoria no assentamento da mistura, o qual pode ser comprovado pelo aumento do valor da massa unitária, podendo ser observado através dos gráficos de curva granulométrica, apresentados a seguir, que a areia apresenta uma continuidade granulométrica mais bem definida se comparada ao gráfico referente ao pó de borracha, nota-se que a linha que representa o quantitativo total acumulado, linha azul, é traçada entre um intervalo de outras duas linhas, que definem a zona de classificação agregado, linhas vermelhas, sendo a areia, caracterizada como agregado fino e o pó de borracha, como muito fino.

Este gráfico foi executado conforme resultados obtidos através da tabela 5 e 6, que foram executadas com os dados de material retido e passante, obtidos através do ensaio granulométrico. A seguir, serão apresentados os resultados referentes ao módulo de finura e diâmetro máximo característico.

Gráfico 1 - Gráfico da curva granulométrica da areia



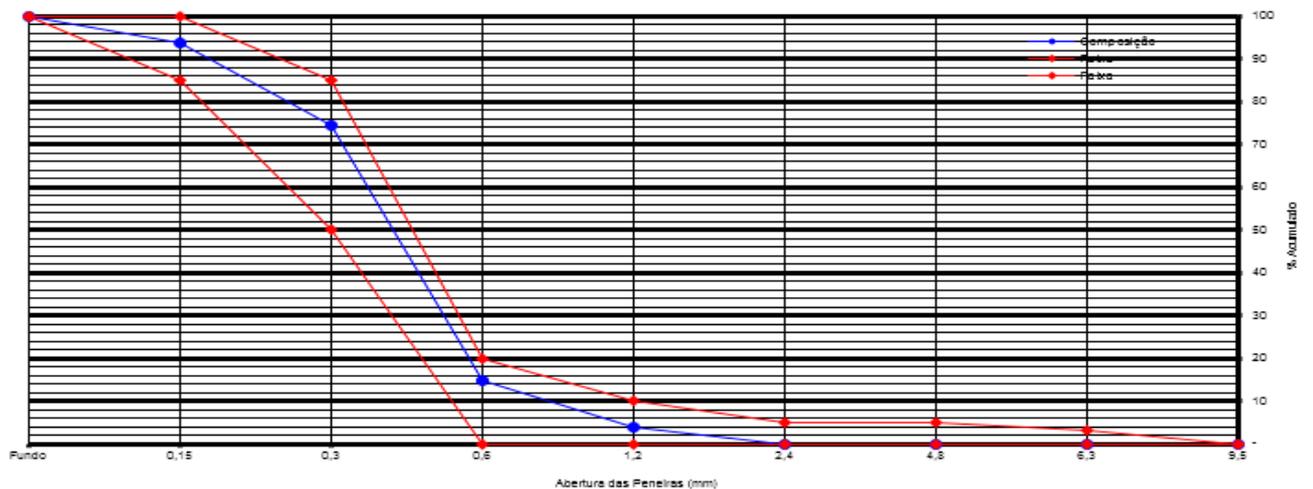
Fonte: Próprio autor

Tabela 9 – Granulometria da areia

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO			
		MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA				ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
Pol / Nº	(mm)	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA
3/8	3,5		-	-		-	-	-	-	0	0	0	0
1/4	6,3		-	-		-	-	-	-	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4	4,8		-	-		-	-	-	-	0 - 5	0 - 10	0 - 11	0 - 12
8	2,4	8,25	1,65	1,65	9,55	1,91	1,91	1,78	1,78	0 - 5	0 - 15	0 - 25	5 - 40
16	1,2	36,15	7,23	8,88	29,95	5,99	7,90	6,61	8,39	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70
30	0,6	143,75	28,75	37,63	140,05	28,01	35,91	28,38	36,77	0 - 20	21 - 40	41 - 65	66 - 85
50	0,3	208,65	41,73	79,36	210,30	42,06	77,97	41,90	78,67	50 - 85	60 - 88	70 - 92	80 - 95
100	0,15	77,85	15,57	94,93	85,20	17,04	95,01	16,31	94,97	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
FUNDO		25,35	5,07	100,00	24,95	4,99	100,00	5,03	100,00	100	100	100	100
TOTAL		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		DETERMINE A ZONA: <b>2</b> <b>Areia</b>			
DIF. DA AMOSTRA		-	-		-	-		-					
MÓDULO DE FINURA		2,22			2,19			2,21					
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		<b>2,4</b>			-								

Fonte: Próprio autor

Gráfico 2 - Gráfico da curva granulométrica do pó de borracha



Fonte: Próprio autor

Tabela 10 – Granulometria do pó de borracha

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO			
		MASSA		% RETIDA	MASSA		% RETIDA			ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
Pol / Nº	(mm)	RETIDA (g)	Simple	Acumul.	RETIDA (g)	Simple	Acumul.	Simple	Acumul.	MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA
3/8	3,5		-	-		-	-	-	-	0	0	0	0
1/4	6,3		-	-		-	-	-	-	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4	4,8		-	-		-	-	-	-	0 - 5	0 - 10	0 - 11	0 - 12
8	2,4		-	-		-	-	-	-	0 - 5	0 - 15	0 - 25	5 - 40
16	1,2	19,70	3,94	3,94	20,50	4,10	4,10	4,02	4,02	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70
30	0,6	55,80	11,16	15,10	52,60	10,52	14,62	10,84	14,86	0 - 20	21 - 40	41 - 65	66 - 85
50	0,3	299,10	59,82	74,92	298,30	59,66	74,28	59,74	74,60	50 - 85	60 - 88	70 - 92	80 - 95
100	0,15	94,20	18,84	93,76	96,30	19,26	93,54	19,05	93,65	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
FUNDO		31,20	6,24	100,00	32,30	6,46	100,00	6,35	100,00	100	100	100	100
TOTAL		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		DETERMINE A ZONA: <b>1</b> Muito Fina			
DIF. DA AMOSTRA		-	-		-	-		-					
MÓDULO DE FINURA		1,88			1,87			1,87					
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		<b>1,2</b>			-								

Fonte: Próprio autor

#### 4.1.2 Massa específica unitária

A determinação da massa específica unitária é de suma importância quando se pretende obter modificações nos traços em massa para volume e volume para massa, também é um importante dado para o cálculo do consumo de material utilizado por metro cúbico. Os resultados de massa específica unitária da areia, pó de borracha e papel kraft, serão apresentados na tabela 11, podendo ser notado que a relação massa/volume da areia é muito superior a do pó de borracha e do papel kraft, por ser um material mais denso, sendo assim, as argamassas com substituição de areia por pó de borracha e papel kraft, serão mais leves.

Tabela 11 - Resultados de massa específica unitária

Ensaio	Areia	Pó de borracha	Papel Kraft
Massa específica unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	1421	393	532

Fonte: Próprio autor

#### 4.2 Argamassa no estado fresco

##### 4.2.1 Índice de consistência

Após procedimentos de ensaio executados, obteve-se ao valor de índice de consistência de argamassa de respectivamente, 310 mm, 290 mm e 280 mm, para as

argamassas A, B e C, conforme indicado na tabela 12. Tendo a fluidez influência nos valores de consistência, prevê-se que quanto maior a quantidade de água na mistura maiores serão os valores de fluidez da argamassa. Quanto a maior consistência das argamassas B e C, com presença de papel kraft, pode ser explicada pelo fato das fibras de celulose que estruturam uma espécie de “esqueleto” no interior da mistura, atribuindo maior coesão para a argamassa. Ressaltando que o valor não pode diferir de 5 mm da medida dos dois lados do diâmetro mensurado confirmando o resultado satisfatório do ensaio.

Tabela 12 - Valores de índice de consistência encontrados

Ensaio	A	B	C
Índice de consistência (mm)	310	290	280

Fonte: Próprio autor

#### 4.2.2 Densidade de massa

A densidade de massa obtida através do ensaio normatizado conforme NBR 13278 (ABNT, 2005) tem seus resultados apresentados a seguir. Tal ensaio representa a massa de argamassa por unidade de volume. Sendo os resultados obtidos comparados com a tabela de classificação definida pela NBR 13281, tabela 13, tabela esta definida a partir de padrões de densidades encontrados em argamassas que mostraram melhores resultados de aplicabilidade, pode-se afirmar que as argamassas A, B e C, podem ser classificadas como D5, por possuírem suas densidades de massa no intervalo de 1800 à 2200 kg/m<sup>3</sup>. Notando que as variações de densidade podem ser explicadas pelo fato da densidade do pó de borracha, material substituto do agregado original, ser de um valor de mais de 3 vezes menor do que a areia.

Tabela 13 - Valores de densidade de massa encontrados

Ensaio	A	B	C
Densidade de massa (Kg/m <sup>3</sup> )	2010	1990	1980

Fonte: Próprio autor

Tabela 14 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa aparente no estado fresco

<b>Classe</b>	<b>Densidade de massa aparente no estado fresco Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Método de ensaio</b>
D1	≤1400	ABNT NBR 13278
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	
D6	>2000	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005

#### 4.2.3 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado favorece a trabalhabilidade da argamassa, mas age de forma adversa em relação às resistências mecânicas. Apesar de o teor de ar incorporado de uma argamassa depender de vários fatores, como o tipo de misturador, fator a/c, tempo de mistura, viscosidade, granulometria do agregado, presença de aditivo e incorporador de ar.

No caso do traço A, o valor obtido foi muito baixo se comparados às argamassas B e C, as quais tiveram seu agregado substituído parcialmente, conforme mostra a tabela 15, ocasionando uma maior porosidade da argamassa, comprometendo assim, principalmente seu desempenho quanto às resistências mecânicas.

Tabela 15 - Valores de teor de ar incorporado encontrados

<b>Ensaio</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Teor de ar incorporado (%)	3	5	6

Fonte: Próprio autor

#### 4.2.4 Retenção de água

Para as argamassas de traço B e C, no ensaio de retenção de água, foram obtidos valores inferiores, conforme tabela 16, possivelmente pelo menor empacotamento no arranjo estrutural com a presença de papel kraft, que permite a saída da água mais facilmente desse esqueleto.

Outros fatores que podem ser apontados como responsáveis pela perda de água são por evaporação ou pela absorção da fôrma, que no caso foi de madeira, podendo prejudicar o processo de endurecimento dos ligantes e assim serem responsáveis pela redução das propriedades mecânicas. Para prevenir as situações e garantir boas condições de aplicação, as argamassas devem possuir uma boa capacidade de retenção de água. Segundo a tabela 17, a argamassa A, sem substituição de agregado, pode ser classificada como U5, segundo tabela de classificação presente na NBR 13281 (ABNT, 2005), por estar no intervalo de 91% a 97% de retenção de água, já as argamassas B e C, que tiveram seu agregado original substituído, se enquadraram na classificação U3, no qual o intervalo é de 80% a 90%.

Tabela 16 - Resultados de retenção de água encontrados

Ensaio	A	B	C
Retenção de água (%)	92	85	82

Fonte: Próprio autor

Tabela 17 - Classificação das argamassas quanto à retenção de água

Classe	Retenção de água %	Método de ensaio
U1	≤78	ABNT NBR 13277
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005

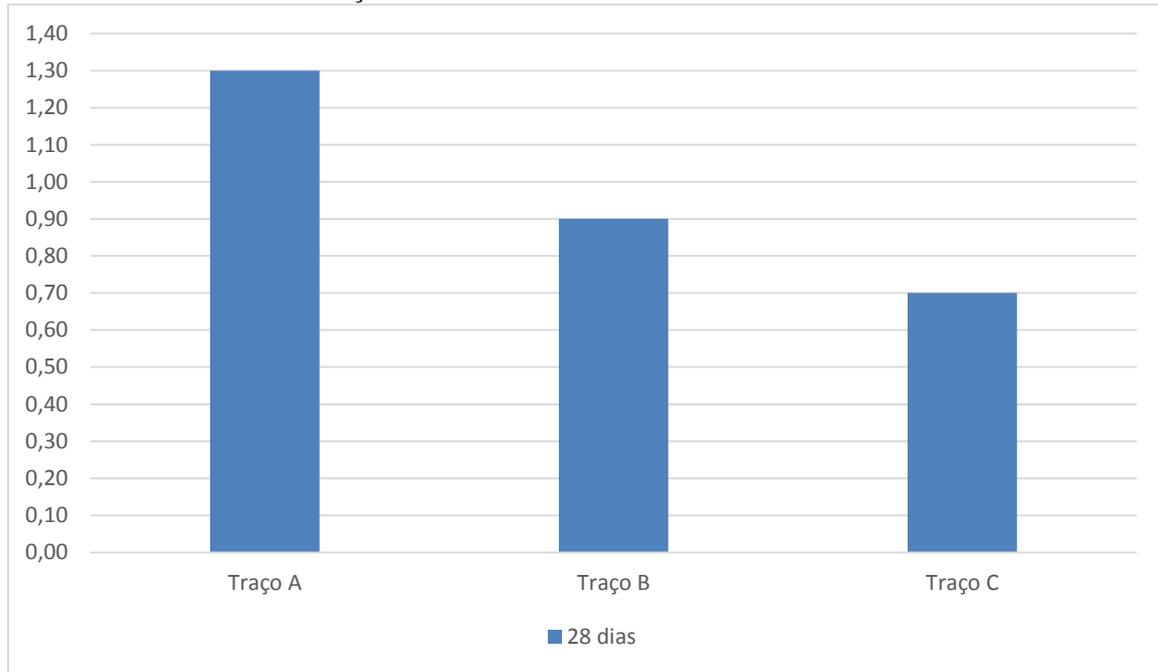
### 4.3 Argamassa no estado endurecido

#### 4.3.1 Tração na flexão

Como se pode observar através do gráfico 3, os resultados obtidos através do ensaio de tração na flexão apresentam uma redução na resistência mecânica nas argamassas que foram submetidas a substituição de agregado original, a areia, por fibras de celulose e pó de borracha, tanto para o traço B, que apresenta 5% de fibras de celulose e 10% de pó de borracha, como para o traço C, que apresenta 10 % de fibras de celulose e 5% de pó de borracha, se mostrando menos resistente à tração na flexão, se comparados ao traço A, que é o de referência. Estes resultados podem ser explicados através de alguns aspectos, como por exemplo, a diferença granulométrica entre os agregados mostra sua influência neste resultado, sendo que a areia apresenta uma curva mais contínua, se comparada à borracha, fazendo assim com que os agregados se acomodem de uma melhor forma quando em pasta, o maior teor de ar incorporado encontrado nos traços B e C também influenciam nesta redução de resistência, como também influenciaram na compressão axial. O traço A obteve uma resistência a tração na flexão aos 28 dias de idade no valor de 1,3 MPa, o traço B atingiu uma resistência 30% inferior ao traço A, atingindo 0,9 MPa aos 28 dias, e por fim, o traço C atingiu 0,7 MPa aos 28 dias, resultado 46% inferior ao traço A, e 22% inferior ao traço B.

Os traços foram classificados conforme tabela 18, de resistência à tração na flexão, contida na NBR 13281 (ABNT, 2005), de acordo com os resultados obtidos, ambos os traços se encaixam na mesma classificação, R1, por terem atingido resultados inferiores a 1,5 MPa de resistência a tração na flexão.

Gráfico 3 – Resultados de tração na flexão aos 28 dias em MPa



Fonte: Próprio autor

Tabela 18 - Classificação das argamassas quanto à resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão MPa	Método de ensaio
R1	≤1,5	ABNT NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	>3,5	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005

#### 4.3.2 Compressão axial

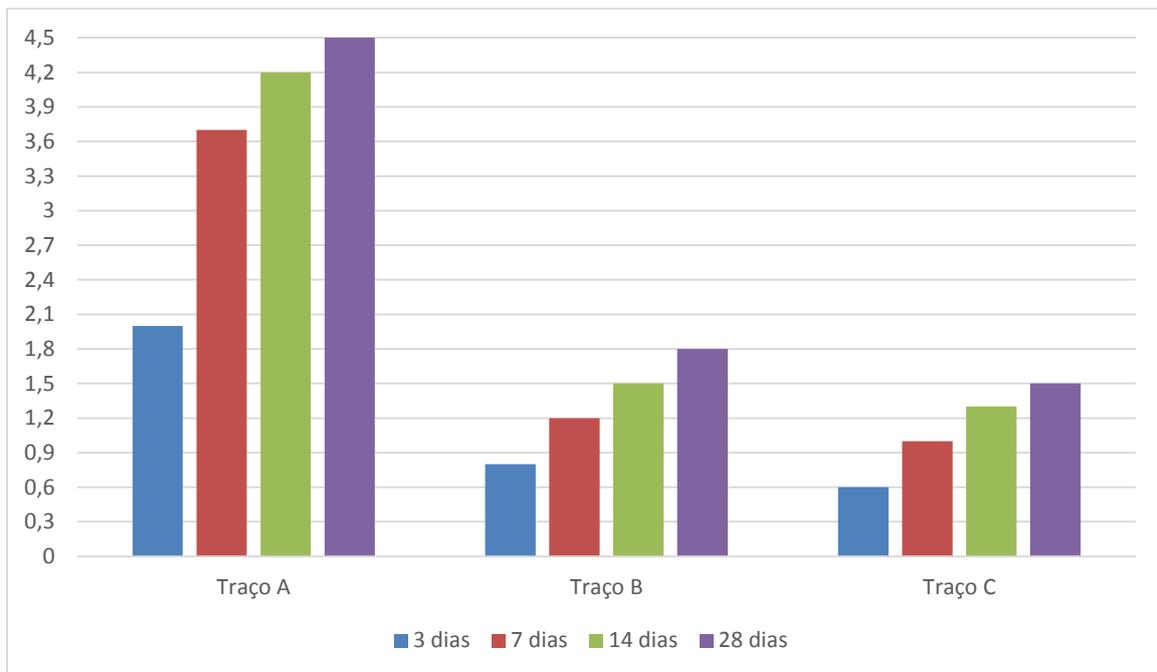
Os resultados obtidos para o ensaio de compressão axial ao qual os corpos de prova foram submetidos aos 3, 7, 14 e 28 dias, estão dispostos no gráfico 4, apresentado a seguir.

Os corpos de prova de referência, atingiram os resultados mais satisfatórios sendo de 2 MPa com 3 dias de idade, 3,7 MPa aos 7 dias, 4,2 MPa aos 14 dias e 4,5 MPa aos 28 dias. Tanto os corpos de prova executados com o traço B quanto aos que foram executados com o traço C, obtiveram resultados inferiores, se comparados aos corpos de prova de referência, atingindo, para o traço B, 0,8, 1,2, 1,5 e 1,8 MPa, para as idades de 3, 7, 14 e 28 dias, respectivamente, o que aponta uma diminuição, na

resistência à compressão aos 28 dias, de 60% em relação ao traço A, e para os corpos de prova executados a partir do traço C, os resultados foram os mais baixos, atingindo, 0,6, 1, 1,3 e 1,5 MPa, aos 3, 7, 14 e 28 dias, respectivamente, notando-se uma diminuição de 67 % em relação ao traço A.

Os traços foram classificados conforme tabela de resistência de compressão axial, contida na NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme resultados obtidos, os traços B e C se enquadram na classificação P1, sendo que os resultados aos 28 dias obtiveram resultados inferiores a 2 MPa, quanto ao traço A, que obteve 4,5 MPa aos 28 dias, sua classificação segundo a norma é P4, tendo seu resultado situado no intervalo de 4,0 à 6,5 MPa, conforme tabela 19.

Gráfico 4 – Resultado de compressão axial em MPa



Fonte: Próprio autor

Tabela 19 - Classificação das argamassas quanto à resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	≤2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	>8,0	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005

#### 4.3.3 Densidade de massa aparente

Os resultados referentes ao ensaio de densidade de massa aparente relacionados às argamassas em estado endurecido, realizados com idade de 28 dias, são apresentados a seguir, na tabela 20, podendo ser notada uma diminuição da densidade encontrada no estado fresco, para o estado endurecido, fato que pode ser explicado pela evaporação de grande parte da água que estava contida na argamassa, ocorrendo, portanto, para o traço A, uma diminuição de 4,3%, para o traço B, de 5,7% e para o traço C de 6,2%, se comparados à densidade encontrada no estado fresco, os valores de maior diminuição, para os traços B e C podem ser explicados pelo maior teor de ar encontrado nessas argamassas, se comparadas ao traço A, de referência, tornando-as mais porosas, fazendo assim com que se tornem argamassas mais leves.

Os traços foram classificados conforme tabela 21, de densidade de massa aparente no estado endurecido, contida na NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme resultados obtidos, ambos os traços se enquadram na classificação M5, por se encontrarem entre a margem de 1600 a 2000 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 20 – Densidade de massa aparente

Ensaio	Traço A	Traço B	Traço C
Densidade de massa aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	1923,57	1876,57	1857,24

Fonte: Próprio autor

Tabela 21 - Classificação das argamassas quanto à densidade aparente no estado endurecido

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido Kg/m <sup>3</sup>	Método de ensaio
M1	≤1200	ABNT NBR 13280
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	>1800	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005

#### 4.3.4 Absorção de água por capilaridade

Os resultados apresentados na tabela 22, contém os dados obtidos através de ensaio de absorção de água por capilaridade, em corpos de prova com idade de 28 dias, foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço, sendo apresentado a massa por área em g/cm<sup>2</sup> com o tempo de 10 minutos e 90 minutos, para todos os traços e todos os corpos de prova, e o coeficiente de capilaridade foi obtido através da média de variação de massa por área em relação ao tempo de exposição das amostras. Os resultados de maior absorção para as argamassas B e C em comparação a argamassa A, já era esperado, pelo fato da porosidade destas argamassas serem bastante superiores ao traço A, fazendo com que ocorra um aumento do volume total de poros capilares, facilitando a ascensão da água por capilaridade nos corpos de prova. Os traços foram classificados conforme tabela de coeficiente de capilaridade, contida na NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme resultados obtidos, ambos os traços se enquadram na classificação C6, por terem seus resultados superiores a 10 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>, conforme tabela 23.

Tabela 22 – Absorção de água e coeficiente de capilaridade

Corpos de prova	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )					
	Traço A		Traço B		Traço C	
	10 min	90 min	10 min	90min	10 min	90 min
1	0,62	1,7	0,72	1,84	0,75	1,86
2	0,63	1,64	0,75	1,82	0,74	1,89
3	0,64	1,75	0,71	1,86	0,77	1,88
Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	16,6		17,3		17,5	

Fonte: Próprio autor

Tabela 23 - Classificação das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade

Classe	Coeficiente de capilaridade g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup>	Método de ensaio
C1	≤1,5	ABNT NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	>10,0	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005

#### 4.4 Cálculo de insumos materiais

Quanto a viabilidade econômica, as argamassas contendo substituição de agregado miúdo se mostram mais caras, sendo que enquanto o metro cúbico da argamassa de referência (traço A) tem um custo aproximado de R\$ 333,30, as argamassas B e C custam respectivamente R\$ 362,50 e R\$ 342,02, tendo o traço B uma um valor 8,7% superior ao traço A, e 5,3% em relação ao traço C, o traço C apresenta um valor de custo 3,2% superior em relação ao traço A, conforme mostra a tabela 24.

O custo de insumo material superior, para os traços B e C, se dá basicamente pelo alto custo por quilo do pó de borracha, que foi de R\$1,40 o quilo, enquanto todos os outros materiais obtiveram valores abaixo da metade do custo da borracha.

Tabela 24 – Valor por metro cúbico dos traços estudados.

	Traço A (R\$)		Traço B (R\$)		Traço C (R\$)
Cimento	59,8848		59,8848		59,8848
Cal	221,6891		221,6891		221,6891
Areia	51,7274		43,9683		43,9683
Papel Kraft	0,0000		0,0000		0,0000
Pó de Borracha	0,0000		36,9616		18,4808
Água	0,0000		0,0000		0,0000
<b>TOTAL(L)</b>	<b>333,3013</b>		<b>362,5038</b>		<b>344,0230</b>

Fonte: Próprio autor

## 5.0 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs um estudo comparativo da argamassa usual no mercado com uma argamassa com a presença de papel kraft e pó de borracha como substituto parcial de agregado miúdo, sendo os resultados encontrados na avaliação e comparação das argamassas no estado fresco satisfatórios apesar dos resultados da argamassa de referência serem quase em sua totalidade superiores, as argamassas com substituição atenderam as normas vigentes no mercado. Já no estado endurecido, os resultados obtidos não foram satisfatórios, especificamente se tratando da resistência mecânica das argamassas com presença de reutilização de resíduos, ambos os traços, B e C, obtiveram classificação mínima quanto às resistências a compressão axial e tração na flexão, sendo assim, inferiores à argamassa de referência, pode-se apontar, ainda, um decréscimo de qualidade entre a argamassa B para C, assim sendo, o possível maior causador da perda de resistência mecânica, se dá pela maior presença de polpa de papel kraft, se comparadas ao pó de borracha tomando-se em conta que os piores resultados foram do traço C que possuía a maior quantidade de fibras em sua composição. Pode-se apontar como fator positivo a densidade da argamassa com substituição ser bastante inferior gerando assim uma argamassa mais leve.

Portanto, o estudo pode concluir através destes ensaios, e a partir do cálculo de custo de insumos materiais no qual demonstra o maior custo das argamassas com substituição parcial de agregado miúdo, que a utilização do pó de borracha e da polpa de papel kraft, nestas proporções e para esta aplicação, se mostram deficitárias, e não usuais se comparadas à argamassa que se encontra usual no mercado.

Para trabalho futuros, dentro desta mesma linha de pesquisa, pode ser sugerido o estudo de aditivos destes mesmos materiais, fibras de celulose e pó de borracha, ao invés de substitutivos, alterando os traços utilizados de forma a isolar o material adicionado para a obtenção resultados mais satisfatórios e específicos quanto ao acréscimo de características da argamassa referente a cada material, especificamente.

## 6.0 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação 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 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. 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, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **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, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

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

AKASAKI, Jorge Luís, C. F. Fioriti, and G. C. Nirschl. **Análise experimental da resistência à compressão do concreto com adição de fibras de borracha vulcanizada**. 43º Congresso Brasileiro do Concreto. 2001.

ALBUQUERQUE, Albéria Cavalcanti de. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu**. Porto Alegre, RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

ANDRADE, Artemária C.; SOUZA, Ubiraci EL. Diferentes abordagens quanto ao orçamento de obras habitacionais: aplicação ao caso do assentamento da alvenaria. **Anais... do IX Encontro Nacional de Tecnologia do Meio Ambiente Construído–Foz do Iguaçu: ENTAC**, 2002.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, SCM; CARASEK, H. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, v. 2003.

Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos-ANIP. – **Relatório – Perfil Institucional 2013**, ANIP, São Paulo (2013). Disponível em:<<http://www.anip.com.br/arquivos/perfil-anip-2013.pdf>>. Acesso em: 09 novembro de 2015.

Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos-ANIP. – **ANIP –Produção e Vendas 2014**, ANIP, São Paulo (2014). Disponível em:<[http://www.anip.com.br/arquivos/producao\\_vendas.pdf](http://www.anip.com.br/arquivos/producao_vendas.pdf)>. Acesso em: 10 novembro de 2015.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. Editora Pini. São Paulo, 1995.

BERALDO, A. L.; FREIRE, W. J. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. São Paulo: Editora Unicamp, 2003.

CARASEK, Helena. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. São Paulo, 1996.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 1999. Tese de Doutorado.

CARVALHO JR, A. N.; BRANDÃO, PRG; FREITAS, JMC. **Relação entre a resistência de aderência de revestimento de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros do bloco cerâmico**. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. Anais... CD ROM. Florianópolis: ANTAC, 2005.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005.

CENTRAL DE TRIAGEM E RECICLAGEM - CTR. – **Logística reversa**, CTR, Osasco – São Paulo (2015). Disponível em:< <http://ctrsp.com.br/logistica> >. Acesso em: 09 novembro de 2015.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Inst. Pesquisas Tecnológicas. Technical Bulletin, n. 68, 1995.

DA SILVA, Narciso Gonçalves; CAMPITELI, Vicente Coney; GLEIZE, Philippe Jean Paul. **A influência dos finos de areia de britagem de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento**. UTFPR. Curitiba-PR, 2005.

DE CARVALHO, Patrícia Eliza F.; CINTRA, Cláudio; CARASEK, Helena. **Argamassas com fibras de celulose provenientes de embalagens de cimento e de cal**. Disponível em:< <http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1375.pdf>>. Acesso em: 08 novembro de 2015.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000. Disponível em:< [http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2442/000319569.pdf?sequence=1&locale=pt\\_BR](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2442/000319569.pdf?sequence=1&locale=pt_BR)>. Acesso em 21 de setembro de 2015.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. Noções de orçamento e planejamento de obras. **São Leopoldo: UNISINOS**, 2008.

JOHN, V. M. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem**. Disponível em:< [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_construcao\\_e.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm)> Acesso em: 19 abril de 2016.

JÚNIOR, Nelson Boechat Cunha. **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. Belo Horizonte. Sinduscon-MG, 2005. Disponível em [http://www.projutoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/residuos\\_solidos.pdf](http://www.projutoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/residuos_solidos.pdf)>. Acesso em 13 de novembro de 2015.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia Telles. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008.

MACCARI, G. H. **Argamassa de Assentamento com Saibro: Um Estudo das Práticas na Região de Tubarão/SC**. UNESC. Criciúma. 2010. Disponível em:< <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/914/1/Guilherme%20Herdt%20Maccari.pdf> >. Acesso em 22 de setembro de 2015.

MANSUR, Alexandra AP; MANSUR, H. S. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)**. In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR. 2006.

MENEGUINI, Eduardo César Antonelli; PAULON, V. A. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil–UNICAMP, Campinas-SP, 2003.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Élcio Duduchi. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP/DECC, São Paulo, 2004.

PETRUCCI, E. G. R., **Materiais de construção**. 12. ed. São Paulo: globo, 2003.

PIEROZAN, N. J. 2007. **Reciclagem de Resíduos de Borracha**. Disponível em: < <http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjM5> >, acesso em: 10/11/2015.

RAGO, Fabiola; CINCOTTO, Maria Alba. **Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílicocalcária**. 1984. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SABBATINI, F.H. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa**. 2000. O Nome da Rosa Editora Ltda., S. Paulo, SP.

SAVASTANO JUNIOR, Holmer. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SEGRE, Nádia Cristina. Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento. **Campinas–SP, 92p, Tese (Doutorado), Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas–UNICAMP, Campinas**, 1999.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. 1989. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.