

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,  
METALÚRGICA E DE MATERIAIS - PPGE3M**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PLACAS CIMENTÍCIAS ATRAVÉS DA  
ADIÇÃO DE FIBRAS E TELAS, VISANDO A REDUÇÃO DE  
DEFORMAÇÕES TÉRMICAS E PATOLOGIAS**

**Jaison Araujo Speck**

**Dissertação para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia**

**Porto Alegre, 2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,  
METALÚRGICA E DE MATERIAIS - PPGE3M**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PLACAS CIMENTÍCIAS ATRAVÉS DA  
ADIÇÃO DE FIBRAS E TELAS, VISANDO A REDUÇÃO DE  
DEFORMAÇÕES TÉRMICAS E PATOLOGIAS**

**Jaison Araujo Speck**

**Trabalho realizado no Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.**

**Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa.**

**Porto Alegre, 2014**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em engenharia, área de concentração de Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa e aprovada em sua forma final, pela Orientadora, e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Rejane Maria Candiota Tubino

Banca Examinadora

Prof. Dr. Vilson Menegon Bristot - UNESC

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin - UFRGS

Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider - UFRGS

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker  
Coordenador PPGE3M

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha esposa Morgana da Silva Gastaldon Speck, pelo amor, pelo incentivo e carinho, e aos meus pais Vamilson Speck (in memoriam) e Maria Goretti Araujo Speck.

## **Agradecimentos**

A DEUS, por me dar forças e não me deixar desistir, por ser presença constante em minha vida.

Ao meu pai Vamilson Speck, que durante a realização deste trabalho abriu uma grande lacuna em minha vida e que eternamente serei grato por tudo o que fez por mim e a minha mãe Maria Goretti Araujo Speck, onde ambos nunca mediram esforços para proporcionar e incentivar os estudos de seus filhos.

A minha esposa Morgana da Silva Gastaldon Speck, que sempre me incentivou, me apoiou na realização deste sonho.

À Orientadora Rejane Maria Candiota Tubino, pela honra de ter sido seu orientado, pela generosidade dos ensinamentos, me despertando para a busca da perfeição e aprimorou meus conhecimentos científicos e na busca pela pesquisa.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, pela oportunidade de enriquecer meus conhecimentos. Ao Corpo Docente do mesmo, despertando em mim um desejo maior de pesquisa.

Aos Meus irmãos Nielsen Araujo Speck e Nirlan Araujo Speck, pela força, apoio e companheirismo.

Às minhas cunhadas Karine Speck e Gisiane Leonel Speck, bem como meu afilhado Nicolas e afilhada Nickole respectivamente.

Ao amigo Luciano Baesso Bez Fontana, pelas trocas de experiências, pelos projetos desafiadores e pela grande amizade que temos.

A Rafael De Bona Holthausen e Angélica Maccari, pelas atividades desempenhadas para ajudar na concretização deste trabalho.

Aos funcionários da unidade Artística, da Eliane Revestimentos Cerâmicos.

Ao amigo e colega de classe Vilson Menegon Bristot, pelos auxílios e trocas de experiências durante as aulas.

A todos os “Professores e colegas do PPGE3M”, com os quais ocorreram trocas de informações, compartilhamento de ideias agregando maior experiência.

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO .....	18
1.2 OBJETIVO GERAL .....	19
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 PLACAS CIMENTÍCIAS .....	20
2.2 MATÉRIAS-PRIMAS.....	21
2.2.1 Cimento Portland Branco Estrutural .....	21
2.2.2 Agregados .....	23
2.2.3 Gesso.....	25
2.2.4 Aditivos Poliméricos .....	27
2.2.5 Fibras de Vidro .....	28
2.2.6 Telas Metálicas .....	30
2.2.7 Matérias-Primas Líquidas.....	32
<b>3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS</b> .....	<b>37</b>
3.1 DOSAGEM .....	38
3.1.1 Preparação de Mistura Seca .....	38
3.1.2 Preparação de Mistura Líquida .....	39
3.1.3 Preparação da Massa .....	40
3.2 CONFORMAÇÃO (MOLDAGEM) .....	41
3.3 CURA .....	43
3.4 DECORAÇÃO (PINTURA).....	44
3.5 SECAGEM.....	45
3.6 CLASSIFICAÇÃO .....	45
3.8 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PLACAS CIMENTÍCIAS .....	46
3.8.1 Destacamento de Revestimentos.....	46

3.8.2 Trinca e Fissuração .....	48
3.9 ASSENTAMENTO DE PLACAS .....	49
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
4.1 MATERIAIS.....	51
4.2 METODOLOGIA.....	51
4.2.1 Dosagem.....	51
4.2.2 Preparação da Massa (Mistura) .....	54
4.2.3 Conformação (Moldagem).....	54
4.2.4 Cura.....	55
4.2.5 Pintura .....	55
4.2.6 Secagem .....	56
4.2.7 Classificação .....	56
4.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO .....	56
4.3.1 Densidade Aparente.....	56
4.3.2 Resistência Mecânica à Flexão.....	58
4.3.3 Absorção de Água.....	61
4.3.4 Retração por Secagem.....	62
4.3.5 Expansão por Temperatura.....	63
4.3.6 Dilatação Térmica.....	64
4.3.7 Expansão Por Umidade - EPU.....	66
4.4 ASSENTAMENTO TESTE .....	68
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>71</b>
5.1 DENSIDADE APARENTE .....	71
5.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO.....	72
5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	77
5.4 RETRAÇÃO POR SECAGEM.....	78
5.5 EXPANSÃO POR TEMPERATURA .....	82
5.6 DILATAÇÃO TÉRMICA .....	84
5.7 EXPANSÃO POR UMIDADE – EPU.....	89



5.8 ASSENTAMENTO TESTE.....	90
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>96</b>
6.1 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....	99
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>106</b>

## Lista de Figuras

Figura 01: Placa Cimentícia .....	21
Figura 02: Agregado.....	25
Figura 03: Gesso.....	26
Figura 04: Processamento do gesso.....	27
Figura 05: Ação das fibras em esforços de tração .....	29
Figura 06: Comparativo de resistência à tração (kg/mm <sup>2</sup> ) entre materiais .....	30
Figura 07: Curva de Abrams .....	33
Figura 08: Fluxograma do Processo de produção das placas cimentícias.....	37
Figura 09: Misturador de Mistura seca .....	38
Figura 10: Vasca de Mistura Líquida.....	40
Figura 11: Misturador de Hélices.....	41
Figura 12: Processo de colagem.....	41
Figura 13: Medida de consistência da argamassa .....	42
Figura 14: Carros Boxe .....	43
Figura 15: Pintura realizada por profissionais .....	45
Figura 16: Ensaio de Densidade Aparente.....	57
Figura 17: Realização do Ensaio de Densidade Aparente .....	58
Figura 18: Ensaio de Resistência Mecânica à tração.....	59
Figura 19: Diagrama de Esforços Solicitantes (Tração na flexão).....	59
Figura 20: Crômetro .....	60
Figura 21: Autoclave .....	67
Figura 22: Dilatômetro.....	64
Figura 23: Área de Teste.....	69
Figura 24: Layout da disposição das placas assentadas .....	70
Figura 25: Densidade Aparente dos testes realizados .....	71
Figura 26: Resistência Mecânica Fibra de Polipropileno.....	73
Figura 27: Resistência Mecânica Fibra de Vidro 06 mm.....	74
Figura 28: Resistência Mecânica Fibra de Vidro 13 mm.....	75
Figura 29: Concepção das fibras na matriz cimentícia.....	76

Figura 30: Resistência Mecânica das Telas .....	77
Figura 31: Absorção de Água.....	78
Figura 32: Retração de Secagem aos 7 dias .....	79
Figura 33: Retração de Secagem aos 14 dias .....	80
Figura 34: Retração de Secagem aos 28 dias .....	81
Figura 35: Retração de Secagem aos 7, 14 e 28 dias .....	82
Figura 36: Expansão Térmica .....	83
Figura 37: Dilatação Térmica das Fibras de Polipropileno .....	85
Figura 38: Dilatação Térmica das Fibras de Vidro 06 mm .....	86
Figura 39: Dilatação Térmica das Fibras de Vidro 13 mm .....	87
Figura 40: Dilatação Térmica das Telas.....	88
Figura 41: Expansão por umidade .....	90
Figura 42: Fissuras que aconteceram nas placas padrões – STD.....	91
Figura 43: Placas com Trincas.....	93
Figura 44: Resultado final do assentamento.....	94
Figura 45: Patologias no assentamento .....	95

## **Lista de Tabelas**

Tabela 01: Material x Coeficiente de dilatação Térmica.....	66
Tabela 02: Quadro Geral das Formulações .....	53
Tabela 03: Resultados de Dilatação Térmica Linear .....	89

## **Lista de Siglas**

a/c – Relação água/cimento

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

BIA – Brick Institute of America (Instituto Americano de tijolo)

DETEC – Departamento de Tecnologia Cerâmica

EPU – Expansão Por Umidade

EVA – Acetato de Vinila Etileno

FF – Fibras Finas

FG – Fibras Grossas

FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

HEC – Hidroxietil Celulose

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISO – International Organization for Standardization

JSCE - JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (SOCIEDADE JAPONESA DE ENGENHEIROS CIVIS).

NBR – Norma Brasileira

NCMA – National Concrete Masonry Association

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PIB – Produto Interno Bruto

PVA – Acetato de Vinila Polietileno

RPM – ROTAÇÕES POR MINUTO

US\$ - Unidade monetária de Dólar.

## RESUMO

As constantes e crescentes transformações ocorridas nos diversos segmentos da economia mundial levam à busca incessante de conhecimento, bem como à busca do aprimoramento em atividades relacionadas com as diversas funções do mercado de trabalho, sempre com o objetivo de se alcançar lucros, desempenho adequado e promovendo o uso racional de materiais e insumos, e conseqüentemente garantindo o desenvolvimento sustentável. Com o grande crescimento no setor de construção civil, surge uma oportunidade de introdução e comercialização de novos produtos como placas cimentícias, com âmbito de decoração e estética no seguimento de revestimento para pisos e fachadas. Neste trabalho será abordada uma falha quanto ao aspecto funcional do produto, que é o descolamento/destacamento das placas cimentícias assentadas e fissuras nas placas cimentícias aderidas. Várias podem ser as fontes dessa manifestação patológica, entre elas: materiais e métodos de assentamento inadequados (local, juntas, argamassa, entre outros), inadequações das características funcionais (dilatação térmica, EPU, entre outros). Foram adicionadas fibras de vidro, fibras de polipropileno, telas de fibra de vidro e telas metálicas, com finalidade de melhorar as propriedades funcionais das placas. Como resultado final, tanto as telas metálicas como as telas de fibra de vidro finas apresentaram melhor desempenho quanto à resistência mecânica, dilatação térmica e expansão térmica, evitando as patologias apresentadas e ao mesmo tempo melhorando o desempenho das placas cimentícias.

**Palavras-chave:** Placas cimentícias, Patologias, Fibras e Telas.

## **ABSTRACT**

The constant and growing changes occurring in the various segments of the world economy lead to the ceaseless pursuit of knowledge and the quest for improvement in activities related to the various functions of the job market. Always with the objective of achieving profits, adequate performance and promoting the rational use of materials and supplies, and therefore ensuring sustainable development. With the growth in the construction sector, an opportunity arises as the introduction of new products and marketing of cement slabs, for decoration and aesthetics for floors and facades coating. This work will be discussed a failure to functional aspect of the product, which is the detachment / secondment of cement slabs settled and cracks in cement slabs attached. Several can be the sources of this pathology manifestation, including: inadequate materials and methods of settlement (Local, joints, mortar, etc.), inadequacies of the functional characteristics (thermal expansion, UPC, etc.). Glass fibers, polypropylene fibers, glass screens and wires were added, with the purpose of improving the properties functional of the plates. As a final result both mesh screens as thin fiberglass presented better performance as the mechanical strength, thermal expansion and expansion, preventing pathologies and at the same time improving the performance of cement boards.

**Keywords:** cement boards, Pathologies, fibers and fabrics.

# 1 INTRODUÇÃO

As constantes e crescentes transformações ocorridas nos diversos segmentos da economia mundial levam a busca incessante de conhecimento, bem como a busca do aprimoramento em atividades relacionadas com as diversas funções do mercado de trabalho, sempre com o objetivo de se alcançar lucros, desempenho adequado e promovendo o uso racional de materiais e insumos, e consequentemente garantindo o desenvolvimento sustentável.

O desempenho do setor de construção civil, em 2010, acompanhou a tendência nacional, com taxa de crescimento de média de 11,6%, o melhor desempenho dos últimos 24 anos. Até o ano de 2003, o cenário da construção civil nacional vivenciou um período de instabilidade, caracterizado pela falta de incentivo, pela tímida disponibilidade de recursos e por uma inexpressiva presença de financiamento imobiliário. A partir de 2004, o setor começou a dar sinais de expansão, com o aumento dos investimentos em obras de infra-estrutura e em unidades habitacionais, inclusive superando as taxas negativas de crescimento, em 2009, em função da crise econômica financeira internacional (IBGE, 2010).

Esta boa fase do setor da construção civil, especialmente nos primeiros nove meses de 2010, é resultado de um conjunto de fatores: aumento do crédito, incluindo o apoio dos bancos públicos ao setor produtivo no momento mais agudo da crise financeira de 2009, queda nas taxas de juros, obras públicas - as de infra-estrutura dentro do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), habitação, com o Programa Minha Casa, Minha Vida e a redução de impostos. O PAC 2, lançado em março de 2010, aponta investimentos da ordem de R\$ 1,59 trilhão em obras, entre 2011 e 2014, e pós-2014.

O aporte de financiamentos imobiliários em 2010, com recursos do FGTS e da poupança, foi de R\$ 83,9 bilhões. Este montante de recursos foi responsável pela contratação de aproximadamente um milhão de unidades financiadas. Os valores contratados nos financiamentos com recursos do FGTS (Habitação) tiveram, em 2010, aumento expressivo de 73%, com crescimento de 57% da quantidade de unidades adquiridas, em relação a 2009.



Diante de todo este crescimento no setor de construção civil, surge uma oportunidade da introdução de placas cimentícias, com âmbito de decoração e estética no seguimento de revestimento para pisos e fachadas.

Estas placas cimentícias são produzidas por uma grande empresa de revestimentos cerâmicos, surgindo como grande aposta no mercado consumidor, por se tratar de um material rústico e natural, com imitação de madeira de demolição. O material de fabricação tem características diferenciais, por ser produzido de forma artesanal, o que permite formas e relevos fidedignos aos materiais originais. Além disso, suas dimensões são caracterizadas pelo comprimento elevado e baixa espessura.

É uma técnica nova, e com isso requer várias informações, sejam de características técnicas, de mercado, de funcionalidade, de manutenção e utilização. Porém essas informações ainda não são de total domínio, tanto dos produtores, devido às inúmeras manifestações patológicas que são observadas no mercado, quanto dos consumidores, que desconhecem as características funcionais do produto.

As placas cimentícias têm como principal matéria-prima o cimento, que quando endurecido faz com que as placas apresentem características de um material frágil, com resistência à tração e capacidade de deformação muito baixa.

Essas fragilidades ficaram evidentes, em alguns ensaios e assentamentos realizados das placas cimentícias, haja vista as manifestações patológicas que surgiram como fissuras, trincas e descolamento das placas.

Visando reduzir a incidência de tais patologias, usualmente são empregadas barras de aço, constituindo materiais compósitos amplamente utilizados na construção civil, denominados de concreto armado e argamassa armada. No entanto, em alguns casos específicos as armaduras de aço são inconvenientes ou mesmo impossíveis em determinadas aplicações, como é o caso de elementos de pequenas espessuras, sendo necessária a busca de soluções alternativas para a fragilidade dos materiais.

Uma das alternativas para melhorar o desempenho das placas cimentícias de pequena espessura seria a utilização de fibras ou telas metálicas como reforço de materiais frágeis.

Nos materiais compósitos de base cimentícia, os reforços com fibras ou telas metálicas têm como principal contribuição no controle da fissuração e alterando o seu comportamento após a fissuração da matriz. As fibras ou telas retardam o aparecimento da primeira fissura e distribuem as tensões de forma a originar o maior número de fissuras menos visíveis. Sendo assim, além de provocar o aumento da resistência do compósito, há melhorias na tenacidade à flexão, provocando aumento significativo na deformação até a ruptura, resistência ao impacto e também a resistência à fadiga (solicitações cíclicas) (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Diante do cenário exposto anteriormente e devido à carência de pesquisas experimentais e práticas relacionadas com placas cimentícias decorativas de pequena espessura, esta pesquisa vem com o intuito de contribuir com o desenvolvimento deste nicho de produto para a construção civil.

## **1.1 Justificativas do Trabalho**

A inserção de novos produtos no mercado vem ao encontro com as tendências do mercado consumidor, que quer produtos de maior qualidade e confiabilidade. Em muitos casos os produtores querem lançar algo novo para surpreender os clientes e ao mesmo tempo ganhar o pioneirismo do produto no mercado.

Ao lançar no mercado consumidor essa inovação, os produtos nem sempre passam por todos os ensaios e caracterizações necessárias para a sua total garantia e adequação de uso, que podem levar em muitos casos à inviabilidade técnica do produto.

Muitas vezes é durante a sua utilização, que os produtos são realmente postos a prova de teste, e muitas vezes podem apresentar manifestações patológicas, sendo observado somente no mercado. Em alguns casos esses erros

podem ser devido à má especificação do produto e em outros à má qualidade do mesmo.

Durante os ensaios e assentamentos destas placas cimentícias notou-se manifestações patológicas como descolamento e fissuras, necessitando com isso um estudo mais aprofundado sobre as características destas manifestações sobre as placas.

## **1.2 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma nova formulação de placas cimentícias que atenda às necessidades funcionais exigidas durante utilização, sem gerar manifestações patológicas nas mesmas.

## **1.3 Objetivos Específicos**

Desenvolver um material com maior resistência mecânica à flexão, possibilitando este a resistir aos esforços solicitados durante sua utilização;

Adequar às placas cimentícias telas metálicas e/ou fibras de vibro visando evitar as fissuras e melhorando o desempenho quanto à resistência mecânica à flexão;

Desenvolver uma formulação com menor índice de dilatação térmica linear, evitando as tensões (variações de tamanho) e ao mesmo tempo minimizando a manifestação patológica de descolamento.

Caracterizar e avaliar o comportamento das placas cimentícias em relação aos seguintes parâmetros: densidade aparente, resistência mecânica à flexão, absorção de água, retração de secagem, expansão por temperatura, dilatação térmica, expansão por umidade e assentamento teste.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta os conceitos básicos sobre as placas cimentícias, suas características, propriedades e utilização. Aborda-se também a terminologia das matérias-primas utilizadas nas placas cimentícias, assim como os conceitos, suas características e função de utilização nas placas cimentícias.

### **2.1 Placas Cimentícias**

Segundo Loturgo (2003, p. 79), por definição, toda chapa delgada que contém cimento Portland na composição é chamada de cimentícia. Cichinell (2007, p. 54) declara que as chapas cimentícias, também conhecidas como placas cimentícias, surgiram na década de 1970, mas foi a partir do desenvolvimento do mercado de construção a seco que começaram a ser mais usadas no país.

Estas placas foram criadas para serem uma opção para fechamentos em áreas molhadas ou para ambientes decorativos, ampliando as opções para os sistemas construtivos, porém suas funções foram além desta aplicação, gerando assim uma ampla versatilidade de uso ao material.

As placas cimentícias são compostas por misturas de materiais de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados, como areia, rochas e celulose em sua fabricação, e em muitos casos reproduzem, com altíssima fidelidade a madeira, as pedras e o concreto. Estas são constituídas por uma camada de 16 a 36 mm de espessura de concreto leve ( $1400 \text{ kg/m}^3$ ), aditivadas com superplastificantes e matérias-primas especiais que conferem características técnicas necessárias (FRANCO, 2008).

O produto recebe um tratamento na sua superfície e pintura que conferem um perfeito acabamento, oferecendo um visual inovador. É voltada a arquitetos, engenheiros e construtoras.

Segundo Franco (2008), a principal vantagem das placas cimentícias frente a outros materiais é a possibilidade de manutenção, onde através de resinas especiais, pode-se obter um produto renovado e/ou até mesmo mudar a

cor do produto. Outra vantagem é do ponto de vista produtivo, onde o mesmo dispensa a queima e faz reaproveitamento dos materiais

O concreto utilizado é resultado de uma mistura de agregados em traço que confere resistência à compressão adequada para sua utilização em base de pisos para uso comercial leve.

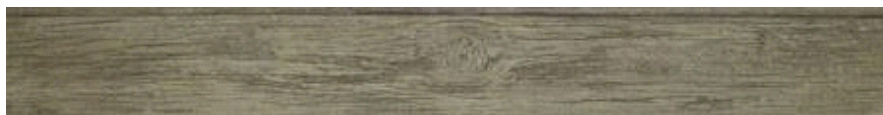


Figura 01: Placa Cimentícia. Fonte: o Autor

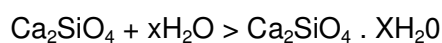
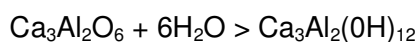
## 2.2 Matérias-Primas

### 2.2.1 Cimento Portland Branco Estrutural

Cimento Portland é a denominação técnica do material usualmente conhecido na construção civil como cimento. O cimento Portland foi criado e patenteado em 1824, por um construtor inglês, chamado Joseph Aspdin. Naquela época, era moda na Inglaterra construir com uma pedra, de cor acinzentada, originária da ilha de Portland, situada ao sul do país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhava na cor e na dureza a pedra de Portland, foi patenteada com o nome de cimento Portland. (VLACK, 1973).

O cimento é um pó fino com propriedades aglutinantes, que endurece sob ação da água, sendo, portanto, um aglomerante hidráulico. Depois de endurecido, mesmo sob ação da água, não se decompõe mais.

O cimento é um material cerâmico que, em contato com água, produz reação exotérmica que dará origem aos cristais responsáveis pela resistência do material. É o principal material de construção usado como aglomerante. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades. O cimento Portland é composto em sua maioria por um aluminato de cálcio e um silicato de cálcio. A seguir a reação de hidratação do cimento branco:



(VAN VLACK apud MARTINS, 2008, p.33)

O cimento Portland branco é um tipo de cimento que se diferencia dos demais pela coloração. A cor branca é conseguida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês e por condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e à moagem do produto (BENATTI et al., 2007).

Ainda segundo Benatti et al.(2007), em função da demanda pela cor é que a produção do cimento branco ganhou força no mercado mundial. A capacidade deste material em aumentar de forma significativa as possibilidades na produção de concretos cromáticos incrementou o número de obras realizadas com este tipo de concreto. As obras em concretos cromáticos que têm se destacado são aquelas produzidas em cimento Portland branco estrutural sem que qualquer tipo de pigmento seja acrescentado à mistura, produzindo então um concreto de cor extremamente clara, denominado concreto branco.

Sabe-se que o uso do concreto branco em concreto arquitetônico (aparente) depende cuidados especiais desde a escolha dos materiais até o perfeito planejamento da sua execução. Com isso, as obras produzidas em concreto branco destacam-se pelo forte apelo estético da construção. Entretanto, paralelamente, é necessário manter suas características tradicionais de adequada durabilidade e comportamento mecânico.

No Brasil o cimento Portland branco é regulamentado pela Norma NBR 12989 (ABNT,1993), sendo classificado em dois subtipos: cimento Portland branco estrutural e cimento Portland branco não estrutural.

Segundo a NBR 12989 (ABNT, 2003), o cimento Portland branco estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, possuindo as classes de resistência 25, 32 e 40, similares as dos demais tipos de cimento. Já o cimento Portland branco não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, no rejuntamento de azulejos e na fabricação de ladrilhos hidráulicos, isto é, em aplicações não estruturais, sendo esse aspecto ressaltado na sacaria para evitar uso indevido por parte do consumidor.

No Brasil, existiram duas fábricas que produziam cimento Portland branco estrutural. No entanto, é consenso que o produto final ainda pode

necessitar de ajustes sob o ponto de vista do desempenho necessário para seu uso na construção civil. Eram raras as pesquisas relacionadas a características de durabilidade. Já em relação às propriedades mecânicas, alguns estudos já foram realizados, principalmente comparando cimento Portland cinza e branco, mas ainda existem lacunas no conhecimento de seu comportamento em serviço, especialmente em relação às formas de interação entre seus materiais constituintes (cimento, agregados, água e aditivos) ao longo da vida útil da edificação e diferentes condições de exposição (HAMAD, 1995).

### 2.2.2 Agregados

Os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo sendo que, 75% do consumo médio destes minerais foram de agregados para a construção civil (VALVERDE, 2002).

O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. São basicamente a areia e a rocha britada. O termo “emprego imediato na construção civil” – que consta da legislação mineral para definir uma classe de substâncias minerais – não é muito exato, já que nem sempre são usadas dessa forma. Muitas vezes entram em misturas – tais como o concreto e a argamassa – antes de serem empregadas na construção civil (SBRIGHI NETO, 2010).

A NBR 7211 (ABNT, 2009) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrado fragmentados ou resultante da britagem de rochas. Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. Define ainda agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

A principal aplicação dos agregados, seja a areia ou a pedra, na fabricação do concreto é de natureza econômica, tendo em vista tratarem-se de materiais de baixo custo unitário, inferior ao do cimento. No entanto, os agregados possibilitam que algumas outras propriedades da rocha artificial a ser formada apresentem melhor desempenho, tais como: redução da retração da pasta de cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhor trabalhabilidade e aumento da resistência ao fogo (SPECK, 2005).

Considerado como produto básico da indústria da construção civil, o concreto de cimento Portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Como se observa, cerca de 80% do concreto é constituído de agregados. Decorre daí a importância do uso de agregados com especificações técnicas adequadas (JOHN, 2000).

O uso de agregados inadequados tem causado rápida deterioração de concreto de cimento Portland em condições severas de temperatura. Portanto, uma seleção adequada dos agregados é essencial para atingir uma desejada performance da estrutura (SCHELLIE, 2007)

Segundo Oliveira (1996), as propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são essenciais para a vida das estruturas (obras) em que são usados. São inúmeros os exemplos de falência de estruturas em que é possível chegar-se à conclusão que a causa foi a seleção e o uso inadequado dos agregados.

Os agregados são produzidos a partir da britagem de maciços rochosos (pedra britada, pó de pedra, cerâmicas) ou da exploração de ocorrências de material particulado natural (areia, seixo rolado ou pedregulho). A principal aplicação dos agregados é na fabricação de concretos, formando uma rocha artificial, cuja principal aplicação é compor os diversos elementos estruturais de concreto armado (lajes, vigas, pilares, sapatas, etc.). Além do uso em concreto e argamassas, os agregados apresentam outras aplicações no campo da engenharia, tais como: base de estradas de rodagem, lastro de vias férreas, elemento filtrante, jateamento para pintura, paisagismo, etc. (VALVERDE, 2002).





Figura 02: Agregado. Fonte: o Autor

### 2.2.3 Gesso

A região nordeste do Brasil, com uma população de 46 milhões de habitantes e um PIB de US\$ 117,5 bilhões, apresenta pólos dinâmicos de desenvolvimento e grandes recursos naturais com grandes possibilidades de investimento. Integra, entre outras riquezas do solo nordestino, o Pólo Gesseiro do Nordeste do Brasil, um dos maiores depósitos exploráveis de gipsita do continente americano, abrangendo vários Estados da Federação, numa área de 24.000 km<sup>2</sup> (SINDUSGESSO, 2009).

De acordo com o sindicato, desde a década de 1960, Pernambuco assumiu e vem mantendo a posição de maior produtor nacional de gipsita, abastecendo 95% do mercado nacional. A principal região produtora recebeu a denominação de Pólo Gesseiro do Araripe, situa-se no extremo oeste do Estado de Pernambuco, a cerca de 690 km da capital Recife. Ela apresenta instaladas 319 empresas, produzindo 2.302 mil toneladas/ano, destes divididos em 1,32 milhões t/ano (Gesso calcinado) e 772.373 t/ano (Gipsita) (SINDUSGESSO, 2009).

Ainda segundo esta associação, as fábricas de chapas de gesso e outros derivados da gipsita são instalações limpas, que somente liberam para a

atmosfera, vapor d'água. Ao contrário das indústrias cimenteiras que lançam considerável quantidade de gás carbônico, atingindo cerca de 6% a 8% do total emitido na atmosfera.

O uso do gesso na construção civil brasileira vem crescendo gradativamente ao longo dos últimos anos. Ganhou impulso a partir de meados da década de 1990, com a introdução da tecnologia drywall nas vedações internas de todos os tipos de edificações no país. A isso se somam todos os usos tradicionais do gesso como material de revestimento, aplicado diretamente em paredes e tetos, e como material de fundição, utilizado na produção de placas de forro, sancas, molduras e outras peças de acabamento (DRYWALL, 2010).

O gesso (Figura 03) é produzido a partir da calcinação do mineral gipsita, material encontrado em abundância em toda a superfície terrestre, que é um sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), e que apresenta um amplo e diversificado campo de utilizações segundo NBR 12129 (ABNT, 1991).



Figura 03: Gesso. Fonte: Autor

Nessa reação, o mineral, cuja fórmula é  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (sulfato de cálcio bihidratado) perde uma molécula e meia de água, transformando-se em gesso, cuja fórmula é  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  (sulfato de cálcio semi-hidratado). No processo de calcinação, também são separadas da gipsita as impurezas normalmente

associadas a ela, como salgema e calcários, entre outras (NBR 12129 - ABNT, 1991).

De acordo com a velocidade da calcinação, a decomposição da gipsita pode resultar em gesso alfa, com cristais grandes e regulares, ou gesso beta, com cristais pequenos e irregulares, (DRYWALL, 2010).

Na Figura 04, pode-se observar de forma resumida o processo de produção do gesso, onde este é obtido por meio da calcinação (decomposição a quente) da gipsita.



Figura 04: Processamento do gesso. Fonte: DRYWALL, 2010.

A Gipsita possui a característica peculiar que consiste na facilidade de desidratação e rehidratação, ela perde 3/4 da água de cristalização durante o processo de calcinação, convertendo-se a um sulfato semi-hidratado de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) que, quando misturado com água, pode ser moldado e trabalhado antes de endurecer e adquirir a consistência mecânica da forma estável reidratada (DRYWALL, 2010).

#### 2.2.4 Aditivos Poliméricos

Dentre os aditivos utilizados pode-se cita o HEC (Hidroxietil Celulose) e o EVAc (Acetato de Vinila Etileno) ou PVA (Acetato de Vinila Polietileno). O HEC tem como principal propriedade a retenção de água. É um polímero de celulose

natural modificada produzido pela eterificação parcial de alguns grupos hidroxila da celulose com a álcali celulose, que por sua vez, reage com o óxido de etileno para a formação do HEC (UNION CARBIDE, 1997).

O HEC aumenta a plasticidade e a coesão da argamassa evitando o deslizamento da placa cerâmica, incorpora ar, deixando a argamassa mais trabalhável e retarda os tempos de pega que ampliam o tempo em aberto (UNION CARBIDE, 1997).

O PVAc/EVA é um polímero sintético, insolúvel, derivado da polimerização do vinil acetato e só se torna solúvel quando sofre hidrólise, permitindo a formação do PVA (poli vinil álcool) (SEYMOUR & CARRAHER, 1984).

O PVAc/EVA aumenta a resistência à compressão, à flexão e de aderência, além de reduzir a permeabilidade da argamassa. O PVAc envolve os grãos do cimento tornando a argamassa mais densa e homogênea, aumentando sua flexibilidade e plasticidade, e pelo fato de possuir protetor coloidal em sua composição, retém um pouco a água, retardando a formação da película (WACKER, 1996).

Os aditivos poliméricos para massa cimentícia, suavizam a mistura antes que cure, fazendo-a ter uma maior trabalhabilidade, sem afetar as propriedades finais do produto uma vez endurecido. O aditivo polimérico utilizado na massa possui forma de grãos (pó fino). A fluidez desejada, só é obtida através da mistura da massa com água. Este aditivo contribui para a argamassa no que diz respeito à flexibilidade e na aderência da mesma no substrato (quando hidratada) (CIMENTAL, 2010).

### 2.2.5 Fibras de Vidro

A fibra de vidro é obtida através de compostos químicos abundantes na natureza, com os quais é fabricado o próprio vidro. Para a produção das fibras de vidro, utiliza-se como matéria-prima a areia, o calcário, o óxido de alumínio e o óxido de magnésio. Suas misturas em proporções ideais e adequadas e a fusão

destes materiais dão origem aos diversos tipos de vidro e a fibras de vidro (FIBERTEX, 2010).

Segundo Reis (2009), a fibra de vidro promove reforço tridimensional ao interceptar as fissuras que ocorrem pela retração plástica do concreto em seu estágio de micro fissuras, além de aumentar a resistência a impacto, reduzem a permeabilidade e podem substituir a tela de aço quando a mesma for usada para controle de redução plástica e não requer manutenção.

Segundo Mano (2005), as fibras ampliam a capacidade de deformação do material e aumentam a sua capacidade de suporte de carga, principalmente quando submetida a esforços de tração, conforme Figura 05, flexo-tração e impacto.

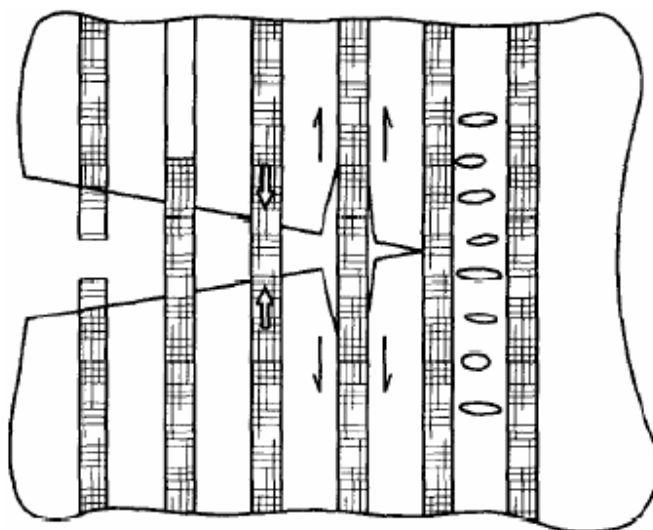


Figura 05: Ação das fibras em esforços de tração. Fonte: Gava, 2003.

Ainda segundo Mano (2005), essa maior capacidade de deformação é obtida pelo efeito de grampeamento das fissuras, por meio de atrito e da aderência existente entre as fibras e a matriz do cimento. Assim, substituem-se as fissuras pronunciadas, chamadas de micro fissuras (característica encontrada nas argamassas produzidas por cimento Portland sem adição de fibras), por inúmeras microfissuras, de menor abertura e maior número

Segundo o fabricante Fibertex (2010), diz que o tecido de fibra de vidro para construção civil é produzido a partir de fios especiais dispostos em uma padronização especificamente concebida para este fim através de um projeto de desenvolvimento e aperfeiçoamento. Graças ao emprego de um tratamento exclusivo, este produto oferece excelente proteção contra ataque de álcalis. Possui tratamento anti-mofo e proporciona fácil aderência nas mais adversas situações. Além de proporcionar alta resistência ainda oferece facilidade e agilidade à aplicação.

Ainda segundo o fabricante Fibertex (2010), as fibras de vidro proporcionam alta resistência à ruptura, baixíssima porcentagem de alongamento (em comparação à tela metálica) e maleabilidade que são as principais propriedades do tecido de fibra de vidro para construção civil que, aliadas às diversas larguras disponíveis para fornecimento, proporcionam excelente performance, grande agilidade e alta facilidade às aplicações. Pode-se observar na Figura 06, que compara a resistência à tração ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) do aço, poliéster e nylon com a fibra de vidro.

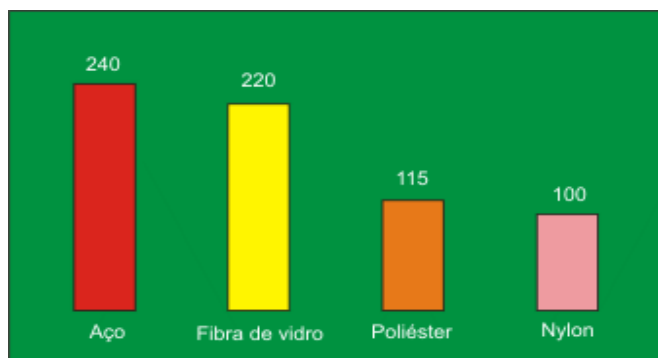


Figura 06: Comparativo de resistência à tração ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) entre materiais. Fonte: Fibertex, 2010.

### 2.2.6 Telas Metálicas

Nas últimas décadas, o mercado europeu da construção civil passou a utilizar produtos que tradicionalmente não empregava. É recente, por exemplo, a aplicação de telas metálicas em fachadas de edificações. Trata-se de um

componente construído à forma da trama de uma tela, com fios metálicos, normalmente de aço inoxidável. A trama representa a parte mais rígida da estrutura, sendo habitualmente construída com fios de aço inoxidável de diâmetro entre 0,2 e 0,5 mm. O fio que compõe a trama pode ser constituído por um único cabo ou, mais freqüentemente, por dois ou mais cabos retorcidos e unidos entre si (GAVA, 2003).

Em geral, o tecido metálico pode ser especificado para aplicação sobre o sistema de revestimento da fachada devido a seus requisitos de proteção e sombreamento. Quando tensionado e ancorado na estrutura, pode resistir às solicitações resultantes de seu próprio peso e da carga de trabalho, sem sofrer deformações que prejudiquem sua estabilidade. Também oferece boa resistência a impactos que possam ocorrer com o uso e compõe, ainda, pela resistência do aço, barreira eficiente à intrusão. A permeabilidade resultante da trama permite que o material tenha bom desempenho diante da ação das cargas de vento (MEDEIROS, 2008).

O surgimento de fissuras e trincas em paredes de alvenaria de vedação pode ser evitado através de especificação e projeto adequados das estruturas e vedações de maneira a limitar as tensões atuantes a níveis compatíveis com as resistências das paredes e suas interfaces. O projetista pode adotar reforços metálicos para suportar as tensões atuantes nas regiões mais solicitadas ou juntas de controle permitindo que estas tensões sejam dissipadas (FRANCO, 2008).

O uso de telas soldadas na construção civil se difundiu principalmente devido às vantagens obtidas na substituição das armaduras convencionais - montadas no local - para lajes de concreto armado. No Brasil, a utilização das telas é recente, havendo ainda muito espaço para crescimento de seu uso. No caso específico do uso das telas soldadas para ligação de paredes de alvenaria com estruturas reticulares, pouco foi desenvolvido (GAVA, 2003).

Segundo Franco (2008), vários foram os fatores que levaram ao uso inicial das telas soldadas como componentes de ligação entre parede e pilar. A redução do tempo de instalação do dispositivo de ligação talvez seja o mais atrativo para o construtor. Telas previamente instaladas para amarrações

posteriores também facilitam a execução prévia das paredes de fachada para elevação em uma segunda fase das paredes internas. As telas soldadas empregadas conjuntamente nas amarrações entre paredes e nas ligações de paredes com pilares podem representar um ganho de produtividade na execução das alvenarias da ordem de 20% quando comparadas às soluções convencionais com ferro cabelo.

As telas soldadas têm encontrado espaço para utilização na construção devido principalmente às suas vantagens relativas à produtividade na execução. Elas têm se mostrado bastante competitivas quando comparadas às armaduras montadas no local pois permitem maior precisão no espaçamento dos fios das malhas para armadura devido ao seu processo automatizado de produção, reduzindo substancialmente as perdas em obras, como destaca Baumann (1993).

O reforço do revestimento com tela metálica deve ser executado nas regiões onde ocorreu grande concentração de tensões no revestimento, ou seja, na interface da estrutura com alvenaria do primeiro e dos três últimos pavimentos; quando a espessura do revestimento for superior à espessura máxima permitida (3 cm) e nas regiões onde forem esperados movimentos diferenciais intensos (balanços, grande vãos, etc.) (MEDEIROS, 2008).

Devido à facilidade de corte e manuseio, ancoragem adequada à argamassa de assentamento e resistência a esforços de tração, as telas podem ser empregadas também nas situações onde o projetista pretende tornar as paredes mais resistentes à fissuração, podendo armar as juntas horizontais para resistir aos esforços. Tais aspectos permitem contribuir diretamente para a racionalização da obra como um todo, reduzindo as operações unitárias realizadas no canteiro de obras (REVISTA TÉCNICA, 2001).

### 2.2.7 Matérias-Primas Líquidas

Para que seja possível moldar a massa, é necessário adicionar a ela uma mistura líquida com componentes que fornecem à massa viscosidade suficiente para se conformar a placa.



Essa mistura líquida é composta pela água, que é a matéria-prima básica para que o cimento reaja e adquira as características técnicas e físicas esperadas, por aditivos superplastificante que irão proporcionar maior fluidez e menor consumo de água, além de retardantes de pega e agentes anti bolhas.

#### 2.2.7.1 Água

A água é um elemento indispensável às reações químicas necessárias ao endurecimento das massas cimentícias. Entretanto a quantidade de água suficiente para permitir essas reações é bem menor que a necessária para conferir ao concreto uma plasticidade adequada à sua utilização, resultando num excesso de água que sobra dentro da sua massa. Depois que se evapora toda essa água excedente, não utilizada nas reações, o espaço que estava sendo ocupado por ela, dentro da massa de cimento, transforma-se em vazios capilares (BENATTI et al., 2007).

A quantidade de água em uma massa cimentícia é expressa através da relação água/cimento que consiste na razão entre a massa de água e a massa de cimento utilizada. Todo material cimentício deve ser preparado com o mínimo de água possível, mantendo as condições de trabalhabilidade recomendadas para a sua aplicação, para obter o máximo de resistência, isso caracteriza a Lei de ABRAMS. (HELENE, 1993).

Através da Figura 07, pode-se observar a perda de resistência à compressão dos concretos, em função da relação água/cimento.

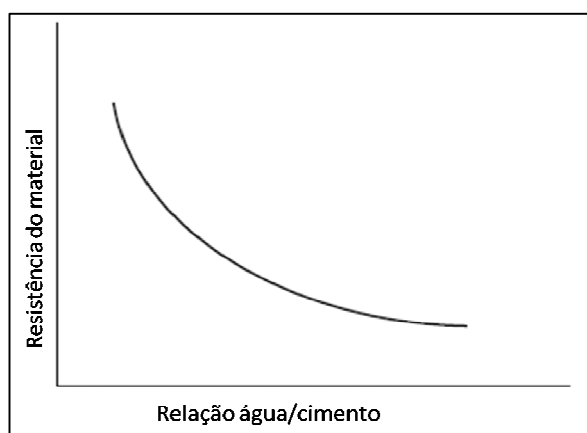


Figura 07: Curva de Abrams. Fonte: HELENE, 1993.

As teorias evidenciam que, quanto mais água adicionada na preparação de massas cimentícias, menor será sua resistência mecânica. A afirmação disso deve-se à segregação dos materiais que compõe a massa ser facilitada quando a quantidade de água presente é maior. Os materiais mais pesados – partículas de areia e brita - tendem a se acomodar ao fundo, enquanto que os mais leves – a água e os finos – tendem a migrar para a parte superior.

Durante esse deslocamento, a água e os finos deixam o material mais poroso, ou seja, menos compacto, diminuindo assim, a resistência mecânica do concreto. É intuitivo que, quanto mais água existir no material, maior quantidade de água se deslocará para a parte superior, carreando finos e, portanto, mais poroso se tornará o concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), do ponto de vista da resistência, a relação água/cimento-porosidade é indiscutivelmente o fator mais importante porque, independentemente de outros fatores, ela afeta a porosidade tanto da matriz pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo.

#### 2.2.7.2 Aditivos para mistura líquida

O emprego de aditivos em concretos e argamassas é tão antigo quanto o do próprio cimento ou de outros aglomerantes hidráulicos. Segundo Coutinho (2003), os romanos adicionavam clara de ovo, sangue, banha ou leite aos concretos e argamassas rudimentares utilizados em suas construções para melhorar a trabalhabilidade das misturas.

A justificativa para o uso dos aditivos na fabricação de concreto está relacionada ao fato de que esse material tem como função principal a mudança das propriedades do concreto, tornando-o mais adequado ao manuseio, gerando economia e reduzindo o gasto energético (BENATTI et al., 2007). A utilização desse material engloba três diferentes propósitos:

- Aumentar a fluidez (trabalhabilidade) da massa e com isso poder diminuir a quantidade de água na massa de cimento, o que é ótimo considerando o aumento da resistência mecânica que este traz (Aditivo Superplastificante);
- Retardar o início do endurecimento do cimento, proporcionando melhores condições de trabalhabilidade de massa cimentícia (Retardantes de pega);
- E melhorar o desempenho dos corantes na massa, e evitar bolhas na massa que possam prejudicar a estabilidade e as características do produto (Anti Espumante).

O desempenho dos aditivos é função de diversas variáveis, como sua natureza e quantidade empregada, composição e superfície específica do cimento, natureza e proporcionamento dos agregados, compatibilidade entre materiais e adições, relação água/cimento, condições de cura, entre diversos outros (MAILVAGANAM e RIXON, 1999).

Segundo estudos técnicos sobre concretos, a adição do superplastificante, quando mantida a mesma relação água/cimento, não altera a retração, permeabilidade, resistência aos ataques químicos, resistência mecânica ou módulo de deformação (HELENE, 1993).

Segundo a NBR 11.768 (ABNT, 1992) os aditivos plastificantes são caracterizados por ser um produto que aumenta o índice de consistência do concreto, mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência.

A mesma norma ainda cita que aditivo superplastificante é um produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento, para produzir um concreto com determinada consistência.

Os aditivos plastificantes retardadores de pega são produtos químicos tensoativos, que promovem a redução da tensão superficial da água e atuam dispersando os finos da mistura possibilitando o aumento do índice de

consistência, a redução de parte da água de amassamento e proporcionando o aumento do tempo de pega do concreto, quando esta propriedade é necessária.

O uso de aditivos plastificantes retardadores de pega, são necessários, quando se deseja obter pastas de concreto com longo tempo de uso, ou que necessita reforçar a matriz com fibras de aço ou fibras de vidro e polipropileno.

### 3 Processo de Produção das Placas Cimentícias

Para a realização de um processo de produção, torna-se necessária uma definição dos métodos e processos que viabilizem economicamente e industrialmente tal processo, e com isso tornando-o sustentável e viável.

Os concretos e derivados cimentícios ganham sua forma a partir de uma dosagem, onde os mesmos adquirem determinada fluidez que os possibilita ser conformados. Esse formato geralmente é atribuído através de fôrmas que darão as dimensões do mesmo. A este processo se denomina conformação fluida, que é caracterizada pelo processo de colagem do concreto em moldes com dimensões previamente estabelecidas.

O processo de produção das placas de revestimento cimentícias ocorre conforme o fluxograma na Figura 08.

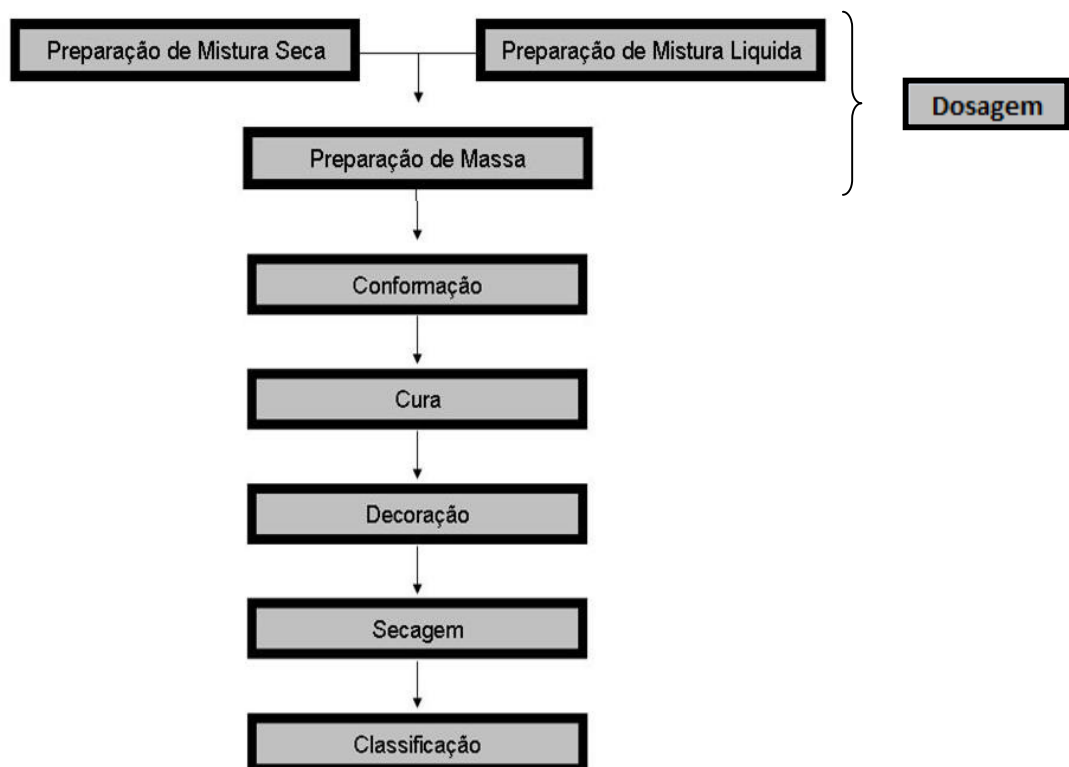


Figura 08: Fluxograma do Processo de produção das placas cimentícias. Fonte: Autor

### 3.1 Dosagem

Na etapa de dosagem são realizadas todas as misturas, sejam elas líquidas ou sólidas, para que o processo de mistura possa ser realizado. É através da correta dosagem destes materiais que pode-se obter a correta formulação para a produção das placas cimentícias.

#### 3.1.1 Preparação de Mistura Seca

A preparação da mistura seca inicia-se com as dosagens das matérias-primas que é feita através de balança com incremento digital de 0,01 kg. As cargas geralmente são dimensionadas para se obter 200 kg de mistura.

Neste processo se estabelece as proporções dos materiais sólidos secos, em massa, para a produção da massa e posterior conformação das placas cimentícias.

Normalmente os concretos são dosados em massa, que garantem assim uma maior uniformidade e controle do processo e do produto, para a produção das placas cimentícias, faz-se necessário a dosagem em massa dos materiais, garantindo assim, uma maior constância de cores, desempenho e estabilidade do processo produtivo.

Depois de realizar a dosagem das matérias-primas secas (cimento, gesso, agregados e aditivos), a formulação é levada até um misturador industrial (Figura 09) onde a massa é misturada pelo período de 2 minutos. Após essa mistura, a massa é armazenada em vascas e levada ao setor de colagem (preparação de massa).



Figura 09: Misturador de Mistura seca. Fonte: Autor.

Denomina-se mistura seca como a dosagem e uniformidade de mistura entre cimento branco+agregado (chamote) + gesso + aditivos para mistura seca. Vale salientar que nesta etapa não há contato com a água.

Os agregados para produção das placas cimentícias são derivados da britagem da quebra dos revestimentos cerâmicos da classe porcelanato técnico (com especificação Bla significando material prensado com absorção de água menor ou igual a 0,5%) tem sua denominação de chamotes. Para a utilização de chamotes de porcelanato em um processo de fabricação de material cimentício, faz-se necessário a britagem do mesmo, reduzindo-o a um tamanho que em geral é passante em malha mesh nº 12 (1,68mm). (SPECK, 2005).

Essa mistura seca é caracterizada como um processo que vai procurar a homogeneidade de todos os componentes. Através desta mistura mecânica, a massa sofre considerável atrito, tanto mecânico quanto entre as partículas, e com isso gera um aquecimento, que fica na casa dos 60 °C. Com isso, a massa deve ficar em descanso por 24 horas para redução da temperatura e uniformidade para uma maior constância no processo.

### 3.1.2 Preparação de Mistura Líquida

São dosados os componentes da mistura líquida com o auxílio de uma balança com incremento digital de 0,01 kg. As cargas são dimensionadas para aproximadamente 105 kg de mistura líquida.

Conforme são pesados os componentes, estes são colocados em uma vasca (Figura 09) onde ficam submetidos a um processo de agitação contínua, reduzindo com isso a possível sedimentação de algum componente. Esta agitação é de baixa velocidade (35 RPM), evitando assim a formação de bolhas e espuma nesta mistura.

A mistura líquida é a união de água+aditivos (superplastificantes, retardadores de pega e anti-espumante). Seu principal componente é a água, porém os aditivos adicionados darão melhores características (trabalhabilidade, fluidez, tempo de cura, resistência mecânica etc.) à massa cimentícia, necessárias ao processo produtivo.



Figura 10: Vasca de Mistura Líquida. Fonte: Autor

### 3.1.3 Preparação da Massa

Nesta etapa do processo, realiza-se a junção dos materiais anteriormente preparados, ou seja, a mistura seca + mistura líquida. Esta técnica consiste na preparação de uma suspensão com as matérias-primas dispersas em um líquido.

Para isso realiza-se a pesagem em balança industrial com incremento digital de 0,05 kg, da quantidade de massa necessária para realizar o preenchimento de um molde específico de produção. Isso pode variar de 2 a 18 kg de massa gerada, de acordo com o tamanho e formato dos materiais a serem produzidos.

A proporção de mistura líquida utilizada é de 12,7% em relação à massa total de mistura seca utilizada. Como base de referência e para facilitar o entendimento, trata-se de uma relação água/cimento (a/c) de 0,32, caracterizando-se assim um concreto de alto desempenho. Esse alto desempenho é possível através dos aditivos que são colocados tanto na mistura seca quanto na mistura líquida.

Para a realização da mistura da massa, as misturas (seca e líquida) são dispostas em um recipiente de capacidade de 20 litros e então são levados a um misturador industrial (Figura 11), onde a massa é homogeneizada durante o período de dois minutos aproximadamente. O resultado deste é uma massa com viscosidade suficiente para ter a capacidade de fluidez até ser disposta nas fôrmas.



É de fundamental importância a correta dosagem dos materiais, pois é a partir desta que serão conformados os produtos (placas cimentícias) e as características serão adquiridas através da correta dosagem.



Figura 11: Misturador de Hélices. Fonte: Autor

### 3.2 Conformação (Moldagem)

Após a massa pronta, ela é dividida em jarras de aproximadamente 2 litros de capacidade, e é colada nas formas de silicone, com velocidade e a altura da jarra apropriada para que se obtenham as melhores características do produto (Figura 12). A massa deve ter uma boa consistência para que escorra pelo molde obtendo forma.



Figura 12: Processo de colagem. Fonte: Autor

As formas de silicone são obtidas através de um molde modelo de gesso, confeccionado artesanalmente através de designers profissionais, e neste

molde fazem a imagem “negativa” do material com toda a sua textura, rugosidade e definição do desenho.

Com o negativo das placas, fazem-se as formas das placas, utilizando silicone líquido e catalisador, que é a imitação fidedigna deste negativo, o silicone fica rígido depois de decorridos 6 horas, e com isso as formas estão prontas para serem utilizadas

Um dos controles realizados na etapa de moldagem, que é de fundamental importância é a medida da consistência da argamassa em mesa nivelada, que tem por intuito verificar a fluidez da massa. Com a adição de novos materiais à massa no caso das fibras de vidro e fibras de polipropileno, a fluidez tende a diminuir, mas é importante que a mesma tenha fluidez mínima para a correta moldagem. A Figura 13 mostra a realização do ensaio.



Figura 13: Medida de consistência da argamassa. Fonte: Autor

Na etapa de moldagem é que o material tomará forma definitiva, passando do estado líquido para sólido, principalmente nas características estéticas superficiais do produto, tornando importante o controle para evitar bolhas e furos na massa.

A massa fica no molde de 45 a 60 minutos para ganhar resistência suficiente para que possa ser desmoldada. Após esse período de tempo as placas são retiradas da forma, porém a placa contém rebarbas, que devem ser retiradas

(raspadas) com uma espátula metálica e em seguida são armazenadas em carros boxe para cura.

### 3.3 Cura

Após a etapa de moldagem (colagem) as placas são armazenadas em carros “boxe” (Figura 14) e permanece por aproximadamente 48 horas, em temperatura ambiente. Enquanto não atingir resistência satisfatória, as placas cimentícias devem ser protegidas contra mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, exposição direta ao sol, agentes químicos, bem como contra choques e vibrações que possam produzir fissuração na massa das placas.



Figura 14: Carros Boxe. Fonte: Autor.

É nessa etapa que estão ocorrendo as reações de água e cimento para a formação de cristais e então ocorre o ganho de resistência mecânica.

A cura do concreto é conhecida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto.

O objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante.

A cura adequada é fundamental para que a massa cimentícia alcance o melhor desempenho, proporcionando uma redução de sua porosidade, contribuindo para aumentar a durabilidade das placas.

### **3.4 Decoração (Pintura)**

O processo de decoração refere-se à técnica de aplicar uma camada de espessante e pigmento em forma líquida a uma superfície, a fim de colori-la, atribuindo-lhe matizes, tons e texturas, trata-se de um processo de pintura sobre as placas cimentícias.

Há no mercado várias tecnologias para o processo de caracterização estética de produtos, como máquinas de impressão digitais automatizadas, inserção a laser de cores entre outras, porém para garantir o apelo estético e único nas placas cimentícias, o processo de pintura das placas mantém-se manual, caracterizando assim um processo artesanal e ao mesmo tempo propiciando placas únicas e uma heterogeneidade de tonalidades.

O processo de pintura gera uma proteção superficial das placas cimentícias, além de gerar resistência à abrasão das placas, já que as mesmas podem ser utilizadas como pisos para ambientes de baixa circulação de pessoas.

Uma característica importante que as tintas para placas cimentícias devem ter, é que por se tratar de um material para tratamento de concreto, a tinta deve ter resistência à alcalinidade e aos raios ultravioletas.

Nesta etapa o produto adquire a cor necessária conforme especificação técnica e também ganho de resistência à abrasão superficial, através da aplicação de tinta específica para materiais cimentícios.

A pintura é realizada por profissionais treinados e com o auxílio de rolo de lã de carneiro (Figura 15). É realizada a aplicação de um filme fino de tinta, que dará às placas cimentícias as características e cores específicas.



Figura 15: Pintura realizada por profissionais. Fonte: Autor

### 3.5 Secagem

Nesta etapa o material que foi pintado e com isso adquiriu suas características estéticas finais, necessita de um tempo de secagem, que é o tempo necessário para que a tinta depositada sobre a camada superficial das placas cimentícias se transforme do estado fluido para o estado sólido.

Durante o processo de secagem da tinta, alguns cuidados são fundamentais, para garantir a boa aderência entre a placa e a tinta, assim como as características estéticas superficiais, com isso, o ambiente deve ser limpo e arejado, mantendo-se um espaço mínimo entre as placas para ventilação e evaporação dos líquidos (veículos e óleos) constituintes da tinta.

Devido a estes cuidados a secagem é realizada em um espaço confinado chamado de secador, mantendo-se as placas colocadas em carros boxes a temperatura constante de 35°C, e com isso dando uma maior qualidade final nas características estéticas das placas cimentícias.

### 3.6 Classificação

Com a produtividade e mesmo com os controles internos de qualidade, ainda ocorrem certos defeitos tanto estéticos quanto dimensionais na fabricação das placas cimentícias e que não se consegue observar durante o processo de fabricação.

O processo de classificação das placas é realizado manualmente e individualmente, realizando a inspeção das placas segundo critérios pré-estabelecidos conforme norma NBR 13.818 (ABNT, 1997), visualizando possíveis defeitos como: variação de tonalidade, pontas, lascados, variação dimensional, textura, etc.

Porém por se tratar de um processo manual, esta atividade poderá falhar, tanto por distração do colaborador ou por algum problema de saúde física do mesmo. Além disso, existem fiscais internos que têm a função de analisar, através de amostragem, cada lote que é classificado e observar se o material tem realmente a qualidade que foi classificado.

Na etapa de classificação, as placas cimentícias consideradas aptas a serem comercializadas são embaladas e estão prontas para serem expedidas. As placas com defeitos são descartadas e retornam ao processo de britagem e são reutilizadas como agregados.

### **3.8 Manifestações Patológicas em Placas Cimentícias**

Várias são as manifestações patológicas associadas ao assentamento de revestimentos, sejam revestimentos cerâmicos, placas cimentícias, tijolos, entre outros. Serão descritas as manifestações patológicas que estão ocasionando os principais problemas com relação às placas cimentícias, e que motivou o estudo para solucionar ou minimizar os problemas.

#### **3.8.1 Destacamento de Revestimentos**

Os destacamentos são caracterizados pela perda de aderência dos revestimentos com o substrato, ou da argamassa colante, quando as tensões surgidas no revestimento cerâmico ultrapassam a capacidade de aderência das ligações entre a placa cerâmica e argamassa colante e/ou emboço. Devido à probabilidade de acidentes envolvendo os usuários e os custos para seu reparo, esta manifestação patológica é considerada mais séria (PADILHA JR. et al., 2007)

De acordo com Moura (2004), o primeiro sinal desta manifestação patológica é a ocorrência de um som cavo (oco) nas placas (quando percutidas),

ou ainda nas áreas em que se observa o estufamento da camada de acabamento (placas e rejuntas), seguido do destacamento destas áreas, que pode ser imediato ou não. Esse procedimento de ensaio está descrito na NBR 8214 (ABNT, 1983).

As causas destes problemas são:

- a) inadequações do produto em geral, como instabilidade dimensional grande dos revestimentos, via dilatação térmica e/ou expansão por umidade;
- b) falta de preparo de ambiente para as variações dimensionais comuns dos revestimentos;
- c) assentamento mal executado, com materiais, mão de obra e local não apropriado;
- d) instabilidade do suporte, devido à acomodação do edifício como um todo;
- e) excessiva dilatação higroscópica do revestimento cerâmico ou placas cimentícias;
- f) variações higrotérmicas e de temperatura;
- g) utilização da argamassa colante com um tempo em aberto vencido; ou mau espalhamento da argamassa colante; ou ainda, ausência de dupla colagem, no caso de placas com superfície maior que 400 cm<sup>2</sup>;
- h) especificação incorreta de revestimento cerâmico, especialmente no que se refere a: configuração do tardo (que pode apresentar superfície lisa, sem reentrâncias ou garras); EPU maior do que 0,6 mm/m; absorção de água superior a 6%;

Segundo Bauer (1997), o fenômeno da dilatação higroscópica é provocado pela adsorção de água, na forma líquida ou de vapor que, ao contrário da simples absorção de água retida apenas nos poros do material, provoca modificações na sua própria estrutura, com aumento de volume.

Segundo o Oliveira (2004), choques térmicos na fachada possuem a mesma ordem de grandeza da EPU teórica e ocorrem, rapidamente, dezenas de vezes em apenas um mês, contribuindo sensivelmente para a fadiga do conjunto.

Aliado a esses fatores, o uso de placas maiores também tem exigido técnicas e materiais compatíveis com essa nova realidade de construção, ressalta Sabbatini, em entrevista à Revista Técnica (CICHINELL, 2007).

Uma forma de se evitar a ocorrência deste tipo de patologia, além de corrigir todos os passos citados anteriormente, seria evitar a execução dos revestimentos cerâmicos em uma fase da construção em que o suporte ainda esteja recém executado, evitando-se assim as retrações que podem ocasionar tensões não consideradas no projeto do revestimento.

A recuperação desta manifestação patológica é extremamente trabalhosa e, na maior parte das vezes, com custo elevado, já que o reparo localizado nem sempre é suficiente para acabar com o problema, que volta a ocorrer em outras áreas. Muitas vezes a solução é a retirada total do revestimento, podendo-se chegar até ao emboço e se refazer todas as camadas.

### 3.8.2 Trinca e Fissuração

Estas manifestações patológicas aparecem por causa da perda de integridade da superfície da placa cimentícia, que pode ficar limitada a um defeito estético (no caso de gretamento), ou pode evoluir para um destacamento (no caso de trincas).

As trincas são rupturas no corpo da placa cerâmica provocadas por esforços mecânicos (ex.: tração axial, compressão axial ou excêntrica, flexão, cisalhamento ou torção), que causam a separação das placas em partes, com aberturas superiores a 1 mm. (SPECK, 2005).

As fissuras são rompimentos nas placas cimentícias, com aberturas inferiores a 1 mm e que não causam a ruptura total das placas.

Variações de temperatura podem provocar o aparecimento de fissuras nos revestimentos, devidas às movimentações diferenciais que ocorrem entre esses e as bases (MEDEIROS, 2008).



Fissuras e trincas também podem estar relacionadas ao revestimento insuficiente da estrutura de concreto. A corrosão do aço gera o aumento de volume e as tensões são transmitidas ao revestimento final.

Estas manifestações patológicas ocorrem normalmente nos primeiros e últimos andares do edifício, geralmente pela falta de especificação de juntas de movimentação e detalhes construtivos adequados. A inclusão destes elementos no projeto de revestimento e o uso de argamassas bem dosadas ou colantes podem evitar o aparecimento de fissuras (VILASBOAS, 2004).

As fissuras podem aparecer, também, entre o rejunte e a placa cimentícia. Os principais fatores que desencadeiam esta ocorrência são: cura debilitada por condições ambientais agressivas, retração excessiva da argamassa, aplicação do rejunte em juntas com restos de argamassa e/ou sujidades e poeira, utilização de rejunte para junta fina em junta larga e vice-versa, excesso de água de amassamento, movimentação excessiva do substrato, fadiga do rejunte por ciclos higrotérmicos, (MEDEIROS, 2008).

### **3.9 Assentamento de Placas**

Para o assentamento das placas, sejam elas cerâmicas ou cimentícias, devem ser levados em consideração às normas vigentes que norteiam para o correto procedimento a ser adotado para a execução das atividades. As principais normas para o projeto e execução do assentamento de placas são as seguintes:

- NBR 6118:2007 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento;
- NBR 9817:1987 Execução de piso com revestimento cerâmico – Procedimento;
- NBR 13753:1996 Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento;
- NBR 14081:2004 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Especificação;

- NBR 14992:2003 Argamassa a base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

A preparação de ambiente (bases) para assentamento teste de revestimentos é usual em fabricante de revestimentos, pois nestes ambientes os revestimentos são testados em vários aspectos, de acordo com a especificação e até mesmo medir o desempenho de produtos antes mesmo destes serem comercializados e com isso, tendo uma resposta antecipada das características dos produtos quanto às intempéries (chuva, sol, vento), bem com ao tráfego de pedestres em relação ao uso.

O tipo de argamassa e a forma a ser utilizada devem ser adequados às especificações do produto a ser assentado. No caso das placas cimentícias, as mesmas devem ser assentadas com argamassas que tenham em sua composição, aditivos que façam uma ancoragem química (cola química) nas placas, pois as mesmas possuem baixa absorção de água e pouca porosidade (fato este devido o concreto utilizado ser de alto desempenho e baixa relação a/c).

Além disso, para peças que tenham área superior a 900 cm<sup>2</sup>, a NBR 14081(ABNT, 2004) prescreve que deve-se realizar o assentamento através de dupla colagem, ou seja, deve-se estender os cordões de argamassa na superfície a ser assentada e também no tardo da peça. Isso dará uma maior segurança no assentamento das placas e garantia de aderência das mesmas.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo serão descritos todos os materiais e os métodos de ensaios realizados, visando a melhoria nas características físicas e mecânicas das placas cimentícias.

### **4.1 Materiais**

As placas cimentícias em estudo são constituídas por uma camada de 1,6 cm de espessura de concreto leve ( $1400 \text{ kg/m}^3$ ), aditivada com produtos superplastificantes e matérias-primas especiais que conferem características de resistência mecânica, durabilidade e resistência à umidade. Suas dimensões finais são caracterizadas por 115 x 15 x 1,6 cm, representando comprimento, largura e espessura respectivamente.

Os agregados são obtidos através da britagem das quebras de revestimento porcelanato, da empresa em estudo, que são encaminhadas para um setor específico, onde é realizada a britagem através de um britador de martelos, de capacidade de 5.000 t/hora, até que todo o material seja passante em malha mesh n° 12 (1,68mm). O resultado desta britagem é um material semelhante à areia denominado de chamote.

### **4.2 Metodologia**

#### **4.2.1 Dosagem**

A preparação da mistura seca, ou seja, a massa cimentícia propriamente dita ocorre através da dosagem das matérias-primas com cargas em torno de 200 kg de mistura. Esse volume é caracterizado pela capacidade máxima em que o misturador de material seco pode trabalhar.

Em todos os testes desenvolvidos no trabalho, a quantidade de massa para a mistura e moldagem das placas cimentícias utilizada foi mantida fixa em

14,5kg e mistura líquida em 1,89 kg evitando assim possíveis variações nos resultados relacionados à relação água/cimento (a/c). Com a quantidade 200 kg de mistura seca pode-se confeccionar 15 placas cimentícias de 15 x 115 cm de dimensões e espessura de 16 mm.

Desta forma, estudou-se o comportamento de três diferentes tipos de fibras na forma de monofilamentos e fibriladas de modo que continham três variações em percentuais mássicos, os quais foram considerados sobrecarga, e também se adicionou três tipos de telas separadamente com diferentes aberturas e tipologias de materiais (telas de fibras de vidro - fina e grossa - e telas metálicas).

Foram confeccionadas a cada variação de fibra utilizada, 12 placas com dimensões fabris para avaliação e posterior assentamento em uma área de teste padrão, juntamente com 45 corpos-de-prova para ensaios laboratoriais de caracterização. A seguir estão expressos os percentuais utilizados no desenvolvimento dos testes:

a) Fibras de polipropileno (F.P)

- ✓ F.P - 0,015%
- ✓ F.P - 0,018%
- ✓ F.P - 0,021%

b) Fibras de vidro 0,6mm (F.F)

- ✓ F.F - 0,03%
- ✓ F.F - 0,05%
- ✓ F.F - 0,08%

c) Fibras de vidro 13 mm (F.G)

- ✓ F.G - 0,03%
- ✓ F.G - 0,05%
- ✓ F.G - 0,08%

d) Telas de Fibras de Vidro

A colagem das placas foi realizada pelo método de dupla colagem com a massa padrão de forma que no interior das placas foram acrescentadas:

- ✓ Tela com abertura menor de malha
- ✓ Tela com abertura maior de malha

e) Telas de aço

f) Formulação Padrão - STD

A Formulação Padrão – STD é a formulação sem adição alguma de fibras ou telas, apenas com as matérias-primas para a obtenção das placas cimentícias.

As variações das quantidades percentuais das fibras foram elaboradas através de parâmetros estipulados pelos próprios fornecedores dos materiais, bem como testes preliminares de adequação do produto quanto à viscosidade e trabalhabilidade da massa. Na Tabela 02 tem-se um quadro do resumo para facilitar a visualização das formulações testadas.

Tabela 01: Quadro Geral das Formulações. Fonte: Autor.

<b>Formulações Testadas</b>					
Fibra de Polipropileno	Fibra de Vidro 6 mm	Fibra de Vidro 13 mm	Tela de Fibra de Vidro	Tela de Aço	Padrão
F.P-0,015%	F.F-0,03%	F.G-0,03%	Menor Abertura	Tela Padrão	STD
F.P-0,018%	F.F-0,05%	F.G-0,05%	Maior Abertura	-	-
F.P-0,021%	F.F-0,08%	F.G-0,08%	-	-	-

#### 4.2.2 Preparação da Massa (Mistura)

Após a dosagem das formulações, junto à quantidade de mistura líquida padrão (130g/kg de massa seca), a massa é submetida a uma primeira mistura a fim de homogeneizar a composição (massa seca + mistura líquida) essa homogeneização dura aproximadamente 02 minutos, após esse tempo adicionam-se as fibras e realiza-se a mistura novamente num período de mais 02 minutos para uma melhor distribuição das fibras sobre a massa.

A mistura deve ser realizada em 02 etapas para facilitar a dispersão da fibra. Caso contrário as fibras podem ficar em contato direto com a mistura líquida e poderão formar grumos que irão dificultar sua diluição.

#### 4.2.3 Conformação (Moldagem)

Após a homogeneização da massa, a mesma foi disposta em moldes de silicone, com velocidade constante e altura de aproximadamente 30 cm de distância do moldes para obtenção de melhores características ao produto. A massa deve ter uma boa consistência para que esorra pelo molde obtendo sua forma final.

De cada dosagem foram feitas 12 placas no formato de 15x115 cm e mais 45 corpos de prova no formato de 50 x 150 mm. As placas grandes são para os ensaios de resistência mecânica à flexão e para assentamento e acompanhamento externo em uma área de teste, já os corpos de prova são para caracterização geral das placas.

É importante que a introdução das fibras não prejudique a trabalhabilidade da massa, sendo que após moldada a placa permanece no molde de 45 a 60 minutos para ganhar resistência e após este período são desmoldadas. Em relação as telas de fibra de vidro e metálica, estas não influenciam nas característica de trabalhabilidade da mistura, porém, o procedimento para colocação desta é uma etapa diferencial.

#### 4.2.4 Cura

Após a etapa de colagem os corpos de prova e as placas confeccionadas foram armazenadas em carros boxe e permaneceram por aproximadamente 48 horas, em temperatura ambiente. É durante esse período que as reações estão ocorrendo para a formação de cristais e como consequência o ganho de resistência mecânica.

Todas as placas cimentícias e os corpos de prova foram condicionados para simular exatamente o processo de produção, quanto à cura do material e demais processos, gerando assim uma similaridade ao processo produtivo das placas cimentícias.

#### 4.2.5 Pintura

As placas com dimensões fabris após a cura receberam uma camada de resina colorida. A esta resina são adicionados corantes industriais nas quantidades desejadas para obtenção das cores das placas e homogeneizado através do auxílio de misturadores mecânicos com a função de uniformizar a cor da pasta, para garantir a uniformidade das cores.

A pintura ocorre através da aplicação de uma fina camada do impermeabilizante, feita com o auxílio de um rolo de lã de carneiro, em seguida é retirado o excesso da resina com um pano limpo. Essa retirada do excesso da tinta dará um contraste nas placas, dando o efeito madeirado, que é uma das características estéticas finais das placas cimentícias.

Decorridos 15 minutos é aplicada uma segunda camada de resina. Nesta segunda camada, a resina utilizada é transparente, aplicada a rolo de lã de carneiro. Esta segunda camada tem como característica melhorar a estética e resistência à abrasão do produto.

#### 4.2.6 Secagem

Após as placas serem pintadas, as mesmas foram colocadas em carros boxes e colocadas dentro do secador, onde ficaram por 24 horas de permanência mínima, a uma temperatura de 35° C, a fim de garantir a resistência da resina aplicada, assim como evitar qualquer sujeira ou impureza na superfície pintada.

#### 4.2.7 Classificação

A classificação das peças é realizada por profissionais treinados, e tem função específica na caracterização final das placas cimentícias.

Para as placas cimentícias confeccionadas com as diversas dosagens apresentadas, foi realizada uma minuciosa classificação a fim de garantir a isenção de defeitos nas placas, onde estes defeitos podem gerar valores de ensaios fora do padrão e com isso, podem interferir nas características de cada formulação.

### **4.3 Ensaio de Caracterização**

#### 4.3.1 Densidade Aparente

Para avaliar a porosidade aparente do material quanto à adição de diferentes condições de fibras, foi realizado o teste de densidade aparente pelo método de imersão no Mercúrio. Este teste foi realizado nos corpos de prova com cura de 28 dias, e realizado com 15 corpos de prova de cada dosagem. Para tal ensaio, as peças de teste foram cortadas em dimensões de 50 x 50 mm para poderem ser ensaiadas no empuxímetro.

A densidade aparente determina a quantidade de massa que um sólido passa a adquirir após ocupar determinada capacidade volumétrica. Em resumo é a massa média de um sólido por volume, que também pode ser chamada de massa específica aparente.



A medição desta grandeza é muito simples, bastando tomar-se um volume conhecido e preencher-se com o sólido em questão, e com relativa acomodação por vibração, ter-se a massa ocupante daquele volume. Não pode ser aplicada uma compactação forçada, por ação de pressão ou impactos, pois alteraria a normal proporção de sólidos e fluidos.

A densidade aparente pode ser obtida pelo princípio de Arquimedes, de acordo com a NBR 6220 (ABNT, 2011).

O ensaio de densidade aparente é realizado utilizando a metodologia de um recipiente com mercúrio, um empuxímetro que fará com que a peça a ser ensaiada mergulhe no mercúrio, uma balança digital e equipamentos de proteção individual devido à periculosidade do mercúrio. A Figura 16 mostra o procedimento para a realização do ensaio.

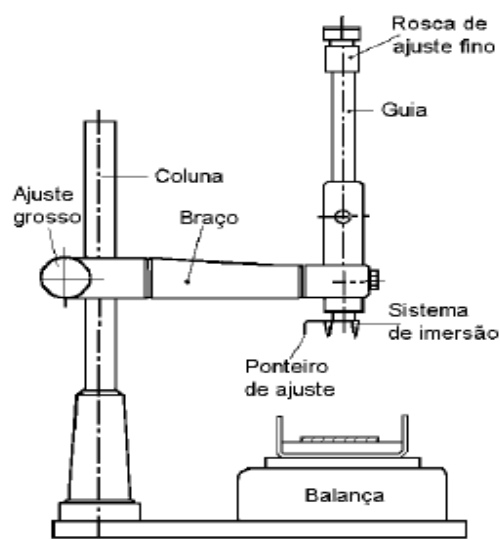


Figura 16: Ensaio de Densidade Aparente. Fonte: Autor

Para a correta execução do ensaio deve-se elevar o sistema de imersão e colocar a amostra no recipiente sem deixar a peça tocar a parede. Mergulhar a peça no mercúrio e, com o auxílio da rosca de ajuste fino, corrigir o ponteiro de ajuste de modo a que volte a tocar levemente a superfície do líquido, conforme Figura 17.

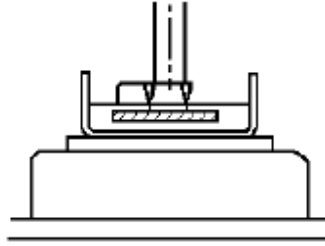


Figura 17: Realização do Ensaio de Densidade Aparente. Fonte: Autor

Para calcular a densidade aparente utiliza-se a equação 1:

$$D_{ap} = \frac{M_{cp}}{M_{emp}} \times d_{Hg} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$D_{ap}$ : densidade aparente ( $g/cm^3$ );

$M_{cp}$ : massa do corpo de prova (g);

$M_{emp}$ : massa do corpo submerso (g);

$d_{Hg}$  é a densidade do mercúrio em temperatura ambiente ( $g/cm^3$ ).

#### 4.3.2 Resistência Mecânica à Flexão

A fim de quantificar a resistência mecânica à flexão, o teste foi realizado em 8 corpos de prova no equipamento Crômetro Gabriellin após 28 dias de cura. Como o aparelho funciona pelo método dos três pontos ajusta-se a distância entre cutelos e aplica-se uma força sobre o corpo de prova através do cutelo superior. Lê-se a força exercida no visor eletrônico e esta é transformada para MPa.

Para a realização do ensaio, as placas conformadas no formato de 150 x 1150 mm foram cortadas nas dimensões de 150 x 450 mm.

Para a realização deste ensaio, um corpo de prova de seção prismática é submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até a ruptura (Figura 18). O ensaio também é conhecido por “carregamento nos terços” ou “à flexão por três apoios”, pelo fato das seções carregadas se encontrarem nos terços do vão, este ensaio é normatizado pela NBR 12.142 (ABNT, 1991).

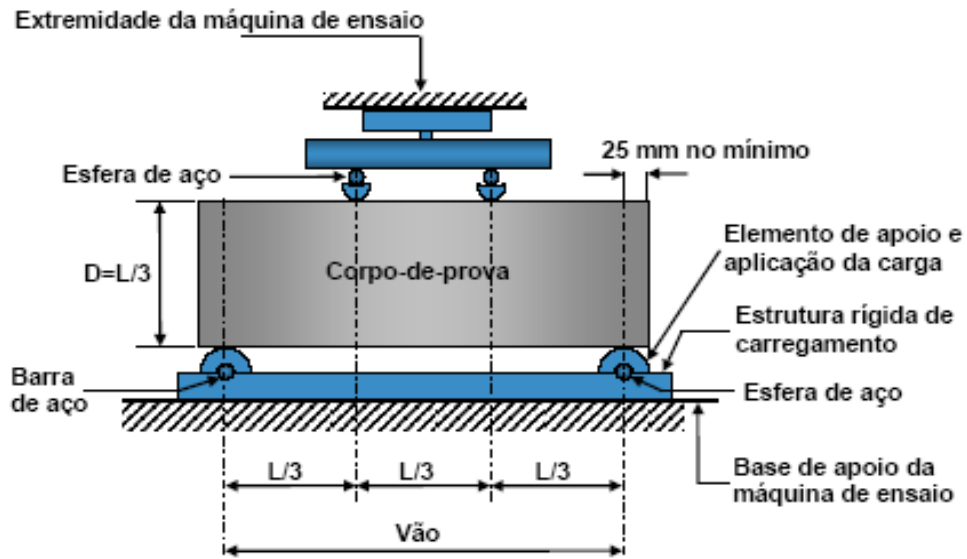


Figura 18: Ensaio de Resistência Mecânica à tração. Fonte: Moura (2004).

Analisando os diagramas de esforços solicitantes (Figura 19), pode-se notar que na região de momento máximo tem-se cortante nula. Portanto, nesse trecho central ocorre flexão pura. Os valores encontrados para a resistência à tração na flexão, através deste método de ensaio, são maiores que os encontrados nos ensaios de tração direta e compressão diametral.

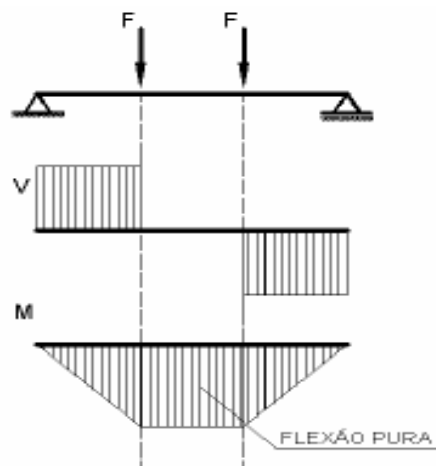


Figura 19: Diagrama de Esforços Solicitantes (Tração na flexão). Fonte: Autor

Os ensaios de resistência mecânica à flexão nesta etapa, como nas posteriores, foram realizados no Cromêtro Gabriellin (Figura 20). Como o aparelho funciona pelo método dos três pontos ajusta-se a distância entre cutelos e aplica-se uma força sobre o corpo de prova através do cutelo superior, realiza-se a leitura da força exercida no visor que foi dado e esta é transformada para MPa.



Figura 20: Crômetro. Fonte: Autor

As placas utilizadas nos ensaios de flexão foram moldadas em fôrmas retangulares de 150 x 1150 mm e 15 mm de espessura e depois cortadas no formato de 150 mm x 450 mm. Os apoios são barras cilíndricas com 38 mm de diâmetro com graus de liberdade que permitem a flexão das placas sem a solicitação em outras direções.

A carga de ruptura e o módulo de resistência à flexão são calculadas utilizando a força de ruptura obtida no ensaio e utilizando as equações 2 e 3, respectivamente:

$$CR = \frac{F \cdot L}{b} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: CR = carga de ruptura (N);

F = força de ruptura (N);

L = distância entre as barras de apoio (mm);

b = largura da placa ao longo da ruptura (mm).

$$MRF = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot e_{\min}^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: MRF = módulo de resistência a flexão (MPa);

$e_{\min}$  = espessura mínima da placa (mm).

A carga de ruptura está relacionada com as dimensões da placa, enquanto o módulo de resistência à flexão está ligado ao material que constitui o revestimento.

#### 4.3.3 Absorção de Água

A absorção de água foi realizada por dois métodos diferentes: com água quente (NBR 13818) e água fria por imersão de 24h (NBR 9778). Desta forma um foi aquecido em estufa e depois colocado em um tanque com água fervendo por duas horas e outro é mergulhado em água fria. Para cada ensaio utilizou-se 10 peças de 50 x 150 mm.

A permeabilidade e a absorção de água situam-se dentre os principais mecanismos de transporte de agentes agressivos para o interior de uma massa cimentícia. A taxa de transporte de agentes agressivos, por meio da absorção e permeabilidade, é governada pela taxa de penetração de água, pois através da umidade os agentes agressivos são transportados para o interior do concreto (BARDELLA; BARBOSA, 2006).

Segundo Neville (1997), o volume ocupado pelos poros do concreto, que não devem ser confundidos com a permeabilidade, é medido pela absorção. A absorção é medida, normalmente, secando-se uma amostra até a constância de massa, imergindo-a, em seguida, em água e determinando-se o acréscimo de massa expressa em porcentagem da massa seca.

O ensaio para determinação da absorção de água dos ladrilhos hidráulicos (placas cimentícias) foi realizado seguindo recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2005) e da NBR 13818 (ABNT, 1997). O ensaio de absorção de água (AA) avalia o aumento de massa em água das placas cerâmicas, quando

estas são submersas em água por um determinado período de tempo; a quantidade de água absorvida representa indiretamente a porosidade do material ensaiado.

O método de absorção de água pelo processo de água quente (NBR 13.818) é realizado colocando o corpo de prova em água fervente durante o período de 2 horas, após esse período realiza-se a diferença de massas entre o massa inicial e a final (após água fervendo), a diferença entre estes dois valores será a quantidade de água absorvida, que deverá ser expressa em percentual. O método por água fria (NBR 9779) diferencia do método à quente no que diz respeito à temperatura da água, que neste caso deve ser a temperatura ambiente, e o período do ensaio que é de 24 h submerso.

Os corpos-de-prova com dimensões de 50 x 150 mm, previamente pesados em uma balança de precisão, são imersos verticalmente em água fervente por duas horas ou apenas imergidos verticalmente em tanque de hidratação por vinte e quatro horas e em seguida pesados novamente. A absorção de água é determinada pela equação 4:

$$AA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

AA: Absorção de água (%)

$M_u$ : é a massa do corpo-de-prova úmido (g) - após a fervura ou hidratação

$M_s$ : é a massa do corpo-de-prova seco (g)

#### 4.3.4 Retração por Secagem

Os testes laboratoriais foram mensurados após o desmolde e também em 7, 14 e 28 dias de cura, a fim de verificar o comportamento da retração ao longo da secagem do produto. Utilizando diferentes placas para cada data de ensaio, as placas cimentícias foram medidas e determinou-se a retração por secagem calculando a porcentagem de retração dos revestimentos pela diferença

da placa no tamanho inicial (idade de desmolde) em relação à placa da data ensaiada.

Segundo a NBR 8949 (ABNT, 1985) a retração por secagem é a variação de volume observada no concreto quando este é submetido à variação de umidade, mantida a temperatura constante, sem nenhuma espécie de carregamento.

Para os testes devem ser preparados corpos de prova em moldes de formatos padrões e tamanhos conhecidos, já que a variação de comprimento é influenciada pelo tamanho do corpo de prova. Aqueles que forem ser comparados devem ter as mesmas dimensões. As dimensões dos corpos de prova são de 50,2 mm de largura x 149,8 mm de comprimento e 16 mm de espessura e para obtenção dos resultados foram utilizados 10 corpos de prova de cada formulação.

Os resultados são obtidos calculando a variação de comprimento de cada corpo de prova em cada idade, subtraindo a leitura inicial, feita depois da realização da medição das peças com auxílio de paquímetro, da leitura feita em cada idade na cura seca, expressa em milímetros (mm) e como porcentagem do comprimento efetivo.

#### 4.3.5 Expansão por Temperatura

A fim de verificar o comportamento das fibras e telas quanto à expansão térmica, foi simulada a condição de calor sobre as peças produzidas, de forma que corpos de prova foram introduzidos na estufa laboratorial com temperatura de 100°C por 5 horas. Para o teste foram utilizados 7 corpos de prova nas dimensões de 50 x 150 mm de cada formulação.

Com relação a este ensaio não há nenhuma normatização descrita sobre o mesmo, mas seu embasamento se faz de acordo com as manifestações patológicas que os revestimentos vinham apresentando (trincas e descolamentos), quando em contato com o calor.

Um parâmetro paralelo a ser comparado juntamente com este ensaio é o de dilatação térmica linear, haja vista, quanto maior a dilatação térmica linear, maior será sua expansão quando submetido a elevadas temperaturas.

Em condições normais os pisos nos dias de verão chegam a uma temperatura máxima de 82 °C, valor obtido “in loco” em uma das manifestações patológicas apresentadas.

A temperatura de 100 °C se fez necessária para conseguir medir valores aceitáveis de expansão obtidas com paquímetros que resistissem a esta temperatura, sem sofrer erros na medição.

#### 4.3.6 Dilatação Térmica

A dilatação térmica influencia de maneira significativa nas dimensões do produto. Sendo assim, confeccionou-se uma amostra de cada tipologia das dosagens realizadas no trabalho, nas dimensões com 5 x 5 x 45 mm tamanho padrão para realização do ensaio de dilatação térmica linear conforme NBR 12.765 (ABNT, 1992).

As amostras eram dispostas no dilatômetro à temperatura de 25°C. E após acomodar o corpo de prova no dilatômetro é feito o aquecimento até 150°C, devido à deformabilidade que o material apresenta a temperaturas mais elevadas, limitou-se ao valor de 150°C. Deste modo, a temperatura escolhida para avaliação dos resultados de dilatação térmica é de no máximo 80°C, já que se trata de um valor máximo que poderá atingir o material em condições normais de utilização (aquecimento solar).



Figura 21: Dilatômetro. Fonte: Autor

A dilatometria é uma técnica bastante adequada para avaliar mudanças microestruturais, pois permite acompanhar, em tempo real, a evolução das



transformações em termos das variações dimensionais que ocorrem em uma amostra submetida a um ciclo térmico.

Uma vez que todo material da natureza sofre variação linear de tamanho ao mudar de temperatura, as placas cimentícias não deixam de obedecer a essa lei. Sabe-se que a variação das dimensões de um corpo qualquer é proporcional aos seguintes parâmetros (Equação 6):

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T \quad (\text{Equação 5})$$

onde:

$\Delta L$ : variação da dimensão do corpo

L: tamanho do corpo

$\Delta T$ : variação de temperatura

$\alpha$ : coeficiente de variação térmica do corpo

A fórmula indica que quanto maior o corpo, maior sua variação dimensional para uma mesma variação de temperatura. Isso significa que placas de grandes dimensões induzem esforços maiores na argamassa colante ao experimentarem variação térmica. Esse fato é especialmente importante para se levar em consideração em revestimentos que, além de grandes dimensões, são de baixa porosidade.

Placas de grandes dimensões podem exigir argamassas de desempenho superior em relação às utilizadas em placas de pequenas dimensões. A Tabela 01 apresenta alguns valores de coeficientes de variação térmica de interesse na engenharia civil.

Tabela 02: Material x Coeficiente de dilatação Térmica. Fonte: GAVA (2003)

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de dilatação térmica °C<sup>-1</sup></b>
Concreto	$12 \times 10^{-6}$
Granito	5 a $11 \times 10^{-6}$
Aço	$12 \times 10^{-6}$
Placas Cerâmicas	6 a $8 \times 10^{-6}$

As amostras foram dispostas no dilatômetro (Figura 22) à temperatura de 25°C. E após acomodar o corpo de prova no dilatômetro é feito o aquecimento até 150°C, devido à deformabilidade que o material apresenta a temperaturas mais elevadas, limita-se o valor de 150 °C. Deste modo, a temperatura escolhida para avaliação dos resultados de dilatação térmica é de no máximo 80°C, já que se trata de um valor máximo que poderá atingir o material em condições normais de utilização (aquecimento solar).

#### 4.3.7 Expansão Por Umidade - EPU

Para realização dos ensaios de expansão por umidade adotou-se o seguinte procedimento: foram cortadas 05 amostras de cada tipologia de dosagem realizada, com o auxílio de uma máquina de corte manual, as peças foram redimensionadas obtendo o tamanho de 100 x 100 mm, tamanho padrão para a realização do ensaio de EPU, em autoclave laboratorial específico para este tipo de ensaio.

Com o novo formato todas as peças foram identificadas e medidas através do auxílio de paquímetro com aferição de 0,02 mm, para em seguida serem submetidas ao ensaio de expansão por umidade. O ciclo tem duração de 02 horas sob pressão e após o ensaio, há necessidade de resfriar as peças, e isso leva mais 45 minutos.

A Expansão Por Umidade, também chamada de EPU, é um fenômeno que ocorre quando o revestimento absorve água do meio ambiente, aumentando seu volume e conseqüentemente suas dimensões lineares. “A EPU, também chamada de dilatação higroscópica, é portanto o aumento de tamanho da placa cerâmica ou cimentícia na presença de umidade” (OLIVEIRA, 2004).

A EPU é um fenômeno que se inicia desde o momento em que o produto está considerado pronto e continua ocorrendo durante toda vida útil do produto. Essa expansão varia de acordo com as características do ambiente e do tipo de produto.

O grande problema relacionado à EPU ocorre se as dimensões das placas cimentícias aumentarem após o seu assentamento, pois esta expansão irá gerar tensões que vão prejudicar a estabilidade de todo o revestimento.

Segundo estudo realizado por Oliveira (2004) em vários segmentos das indústrias de revestimentos e cimentícias, constatou que valores de EPU acima de 0,6 mm/m podem eventualmente contribuir para problemas de destacamento se existirem outros erros de projeto e/ou execução do revestimento.

As peças são medidas com paquímetro de precisão e logo depois são dispostas submersas em água pré fervida na autoclave (Figura 22).



Figura 22: Autoclave. Fonte: Autor

Após duas horas em ciclo, as peças são retiradas e deixadas resfriar por 45 minutos para depois serem novamente extraídas suas medidas e se calcular a EPU com a Equação 5:

$$EPU = \frac{L_f - L_i}{L_i} 1000 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

$L_f$  é a largura final (mm)

$L_i$  a largura inicial (mm)

EPU é expressa em mm/m.

#### **4.4 Assentamento Teste**

Buscando a fidelidade dos ensaios laboratoriais realizados, juntamente, para verificação da parte usual e funcional das placas cimentícias, foi realizado o assentamento destas dentre as diversas formulações de massa testadas, visando contribuir na parte prática aos ensaios laboratoriais realizados.

Os assentamentos foram realizados em uma área de teste especialmente desenvolvida para este estudo. Trata-se de um piso plano de concreto armado realizado em um campo aberto com área de 35 m<sup>2</sup> (5 m x 7 m). A escolha do local se deve ao fato de estar em contato direto com as situações climáticas existentes na região, sofrendo diretamente as condicionantes do tempo (sol, chuva, calor, frio). Na Figura 23 pode-se ter noção das dimensões e local da área de teste para assentamento, assim como, pode-se observar algumas placas cimentícias assentadas.



Figura 23: Área de Teste. Fonte : Autor.

Para o assentamento utilizou-se a argamassa indicada pelo fabricante das placas cimentícias, caracterizada por ser uma argamassa industrializada colante do tipo AC II, onde a mesma contém aditivos poliméricos que contribuem para a ancoragem química. Seguiram-se os procedimentos normativos da NBR 13753 (ABNT, 1996) e NBR 14081 (ABNT, 2004). Além disso, também foi necessária a utilização da dupla colagem no assentamento das placas, pois as placas possuem área de 17.250 cm<sup>2</sup>, valor superior aos 900 cm<sup>2</sup> que a norma caracteriza para a realização da dupla colagem.

As placas cimentícias, após assentadas, foram acompanhadas semanalmente para observação das manifestações patológicas que apresentavam quando assentadas por seus consumidores (trincas e descolamentos).

As placas cimentícias foram assentadas no mês de outubro de 2011, pois os meses de novembro e dezembro são meses caracterizados por serem quentes e chuvosos no final do dia, proporcionando com isso os extremos que o material poderá vir a sofrer que é a máxima dilatação e em seguida uma redução brusca de temperatura. No total foram assentadas 08 placas de cada formulação, ou seja, completava-se uma fileira de placas com a mesma formulação, para

facilitar a identificação e ao mesmo tempo, evitar comportamentos diferentes na mesma coluna assentada. Na Figura 24, pode-se observar a disposição das formulações assentadas.

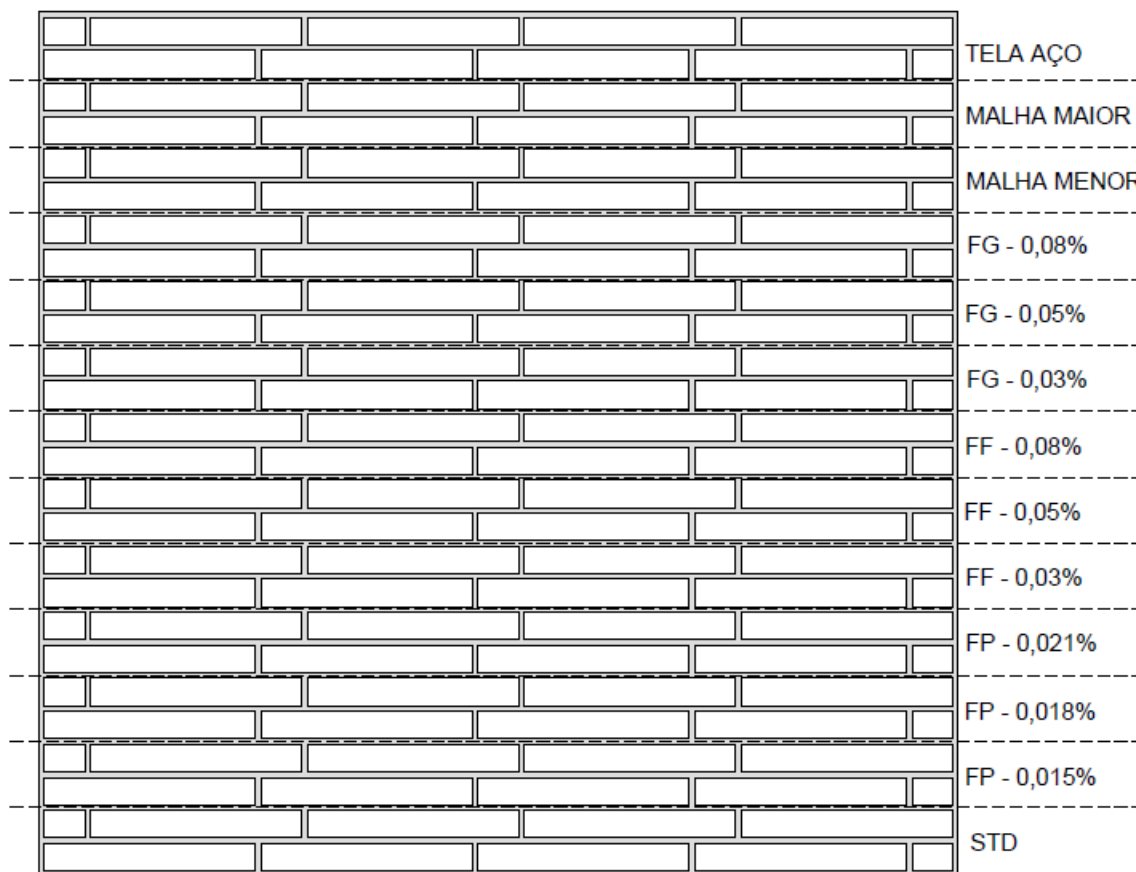


Figura 24: Layout da disposição das placas assentadas. Fonte: Autor

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos de todos os ensaios realizados, assim como as discussões destes resultados.

### 5.1 Densidade Aparente

A densidade aparente do produto conforme Figura 25, não demonstra influência significativa conforme a adição de fibras de polipropileno, fibras de vidro, telas de fibras de vidro e telas metálicas, onde os valores são muito próximos ao valor padrão. O que pode estar associado ao baixo volume utilizado dos materiais de teste em relação a seu volume ocupado e também a quantidade do material utilizado.

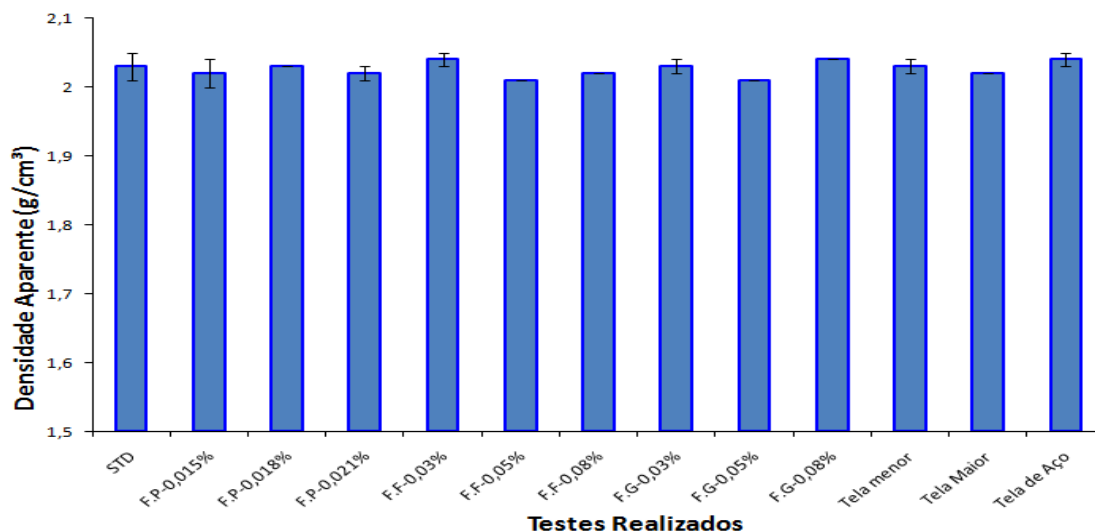


Figura 25: Densidade Aparente dos testes realizados. Fonte: Autor

Com os resultados demonstrados, que são em torno de 2,07 g/cm<sup>3</sup> pode-se observar que os materiais testados pouco influenciam nos resultados de

densidade aparente, configurando que a quantidade utilizada é baixa e pouco interfere no valor.

Um ponto importante a ressaltar deste ensaio é que com ele se poderia detectar uma maior concentração de massa do material e ao mesmo tempo podem gerar uma maior concentração de tensão e gerar as manifestações patológicas de trincas e descolamentos. Porém neste ensaio não foi possível essa correlação, devido às pequenas variações que ocorreram no ensaio de densidade aparente.

## **5.2 Resistência Mecânica à Flexão**

Os resultados de resistência mecânica à flexão são demonstrados separadamente para melhor interpretação dos resultados e facilidade de visualização. As Figuras 26, 27 e 28 apresentam os resultados das fibras de polipropileno, fibras de vidro de 06 mm, fibras de vidro de 13 mm e as telas de vidro e telas metálicas.

As adições de fibras de polipropileno (Figura 25) pouco influenciaram nos resultados de resistência mecânica à flexão. Isso pode ser associado à baixa quantidade de fibras que foram adicionadas à massa cimentícia (máximo 0,021%) e segundo Franco (2008), descreve que a quantidade ideal mínima de adições de fibras de polipropileno é de 0,036%.

Não foi possível a adição de uma maior quantidade de fibras, pois valores acima de 0,021%, reduziriam muito a trabalhabilidade da massa, por se tratar de fibras flexíveis, dificultando a colagem das placas e ao mesmo tempo gerando uma grande quantidade de bolhas nas placas cimentícias, podendo gerar valores de resistência mecânica inferiores à massa padrão (STD – Formulação sem adição de fibras).

O valor obtido da massa padrão (STD) foi de 10,54 MPa, para as fibras de polipropileno foi obtido para a quantidade de 0,015% de fibras o valor de resistência de 10,59 MPa; para 0,018% de fibras, o valor foi de 10,52 MPa; e para



o valor de 0,021% o valor de 10,95 MPa. Verificando assim a pouca influência das fibras quanto à resistência mecânica à flexão.

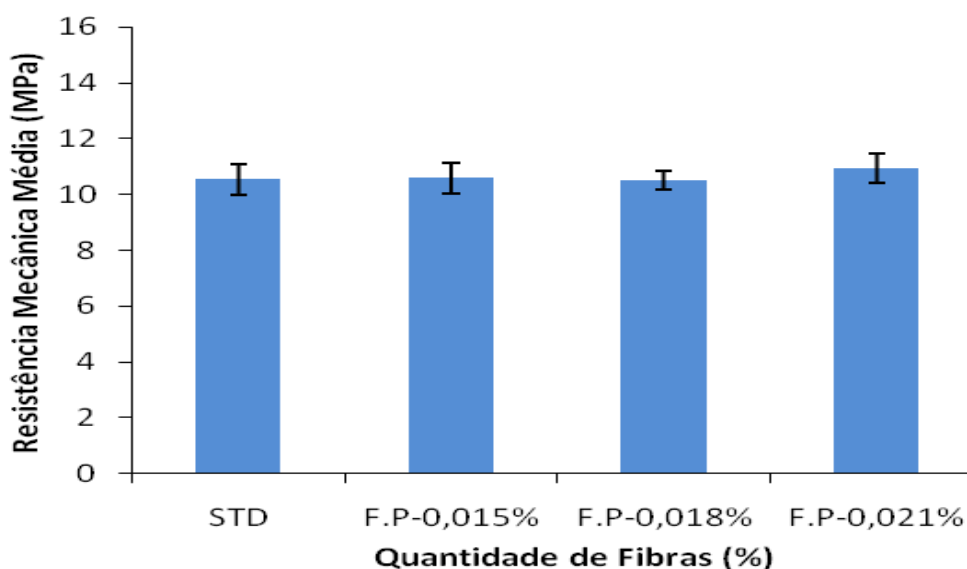


Figura 26: Resistência Mecânica Fibra de Polipropileno. Fonte: Autor

As adições de fibras de Vidro de 6 mm mantém a resistência mecânica semelhante ao padrão, pouco influenciando no valor da resistência mecânica à flexão. Ficou evidente com a adição das fibras de vidro, que é possível adicionar uma maior quantidade de fibras em relação à fibra de polipropileno, neste caso foram utilizados 0,03%, 0,05% e 0,08%.

Essa maior quantidade de fibras foi possível, pois as fibras de vidro são fibras rígidas, e essa rigidez na massa não gera tanta adesividade na massa em seu estado fresco se comparado com as fibras de polipropileno. O fornecedor das fibras de vidro Fibertex (2011) indica um consumo ideal de fibras de vidro de 0,1% de fibras em relação à massa total da mistura.

Como pode-se observar na Figura 27, os valores de resistência mecânica à flexão das adições de fibras são muito próximos aos valores da massa padrão, tendo como valores padrão 10,54 MPa, e os valores das adições de fibras

de 10,75 MPa, 10,51 MPa e 10,85 MPa para as adições de 0,03%, 0,05% e 0,08% respectivamente.

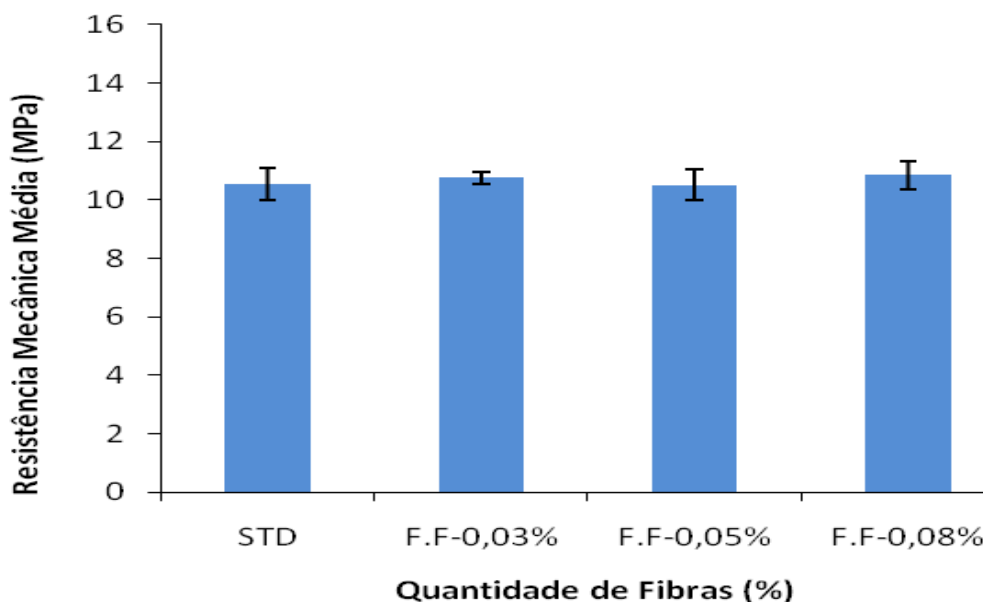


Figura 27: Resistência Mecânica Fibra de Vidro 06 mm. Fonte: Autor

Para as adições de fibras de vidro de 13 mm, observam-se valores de resistência mecânica à flexão maiores do que com as fibras de polipropileno e fibras de vidro de 06 mm. Chegando a valores crescentes com a maior utilização de fibras, e demonstrando com isso que, quanto maior o tamanho das fibras, maior é a área de abrangência do mesmo, e com isso dando uma maior ancoragem da fibra na matriz cimentícia e ao mesmo tempo resistindo mais às tensões.

As adições em massa utilizada para as fibras de 13 mm foram os mesmos percentuais utilizados nas fibras de vidro de 06 mm, ou seja, 0,03%, 0,05% e 0,08%, e os valores de resistência mecânica a flexão foram 10,54 MPa na formulação padrão, 10,82 MPa para a adição de 0,03%, 11,42 MPa na 0,05% e 12,12 MPa para a adição de 0,08%, como pode-se observar na Figura 28.

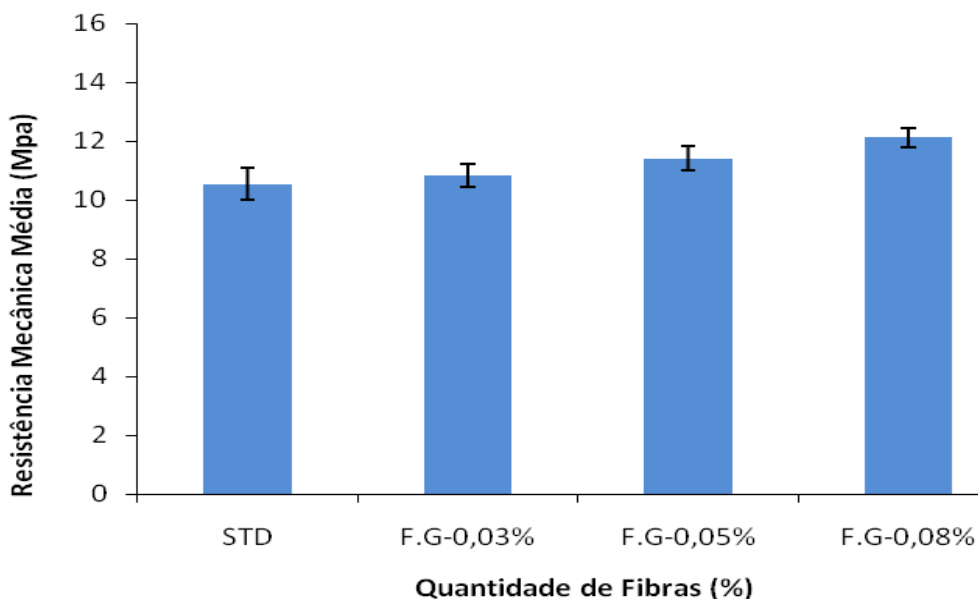


Figura 28: Resistência Mecânica Fibra de Vidro 13 mm. Fonte: Autor.

Neste caso pode-se observar que as fibras contribuíram com a resistência mecânica à flexão das placas cimentícias, comprovando que aumentando o tamanho das fibras, ocorre uma maior ancoragem da mesma na matriz cimentícia, gerando uma maior transferência de tensões pelas fissuras para a matriz, sejam elas produzidas por esforços de tração ou cisalhamento e conseqüentemente um aumento da resistência mecânica (Franco, 2008).

A concepção da adição das fibras está baseada na hipótese das fibras absorverem as tensões geradas nas placas conforme mostrado na Figura 29, e com isso obtendo um maior valor de resistência mecânica à flexão.

Segundo Franco (2008), como as fibras atuam como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, sejam elas produzidas por esforços de tração ou cisalhamento como ocorre no ensaio de resistência à flexão, o concreto (massa cimentícia) também apresentará um ganho quanto à tenacidade, isto é, haverá um maior consumo energético após a fissuração do material. Este comportamento pode ser medido segundo o procedimento de ensaio prescrito segundo JSCE - JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1984).

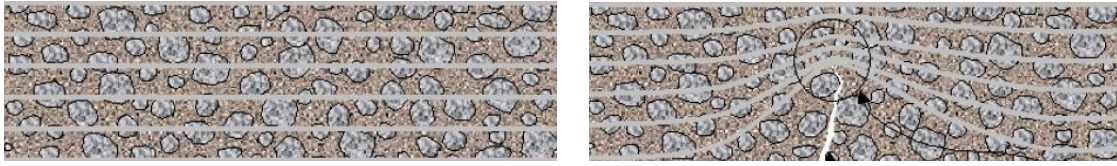


Figura 29: Concepção das fibras na matriz cimentícia. Fonte: Franco, 2008.

Com relação à utilização das telas de fibra de vidro, estas elevam a resistência mecânica inversamente proporcional à abertura da tela, haja visto que quanto menor a abertura da malha da tela, maior será a quantidade de fibras por unidade quadrada, e com isso dando uma maior resistência e absorção das fibras. A mesma intensidade de resistência ocorre com a tela metálica, já que a mesma tem uma ótima aderência com a matriz cimentícia e um maior módulo de elasticidade, favorecendo assim na resistência mecânica à flexão.

As telas utilizadas foram previamente cortadas no tamanho de 120 x 1100 mm. Esse tamanho é menor que o tamanho real da placa cimentícia para facilitar a colocação da tela no molde de silicone no momento da conformação da placa cimentícia.

Os valores de resistência mecânica à flexão foram os resultados de maior valor com a utilização de telas, onde a formulação padrão obteve o valor de 10,54 MPa, o material com tela de maior abertura obteve valor de 11,76 MPa, para a tela de menor abertura o valor foi de 12,83 MPa e o valor da tela de aço foi a resistência mecânica à flexão de maior valor encontrado em todos os testes – 14,98 MPa, conforme Figura 30. Isso deve estar associado à maior interação dos materiais metálicos com a matriz cimentícia.

Contudo, o foco do trabalho não é o aumento da resistência e sim a minimização das fissuras, uma vez que a resistência do produto é considerada elevada, superando os valores estimados pela NBR 12142 (ABNT, 1991) em placas de concreto para piso de 4 MPa. Porém o intuito de adição das fibras é o aumento da resistência a flexão, ou seja, atribuir uma maior elasticidade ao material para que o mesmo suporte aos esforços de tração que são gerados nas placas pelo calor (movimentações térmicas).

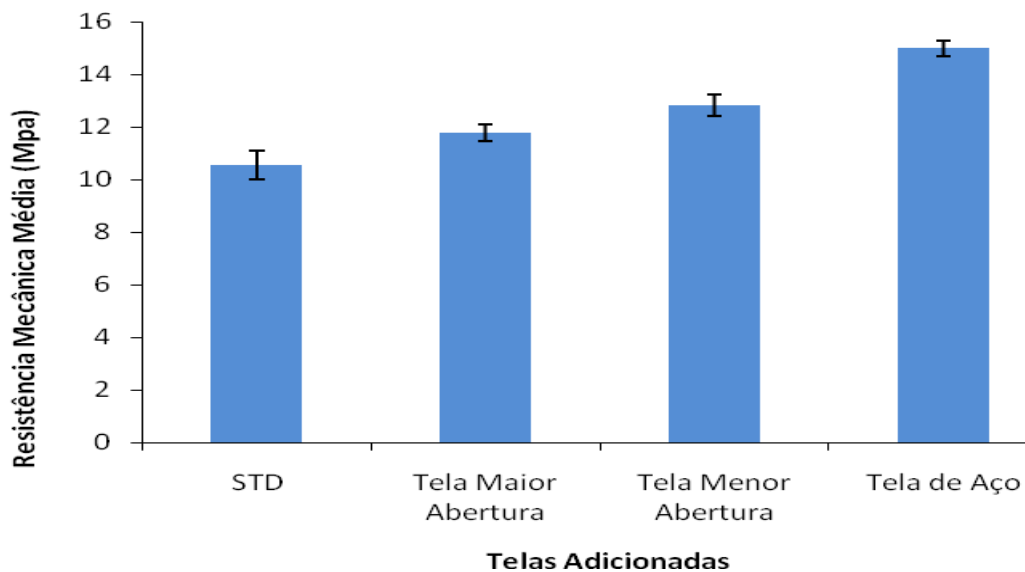


Figura 30: Resistência Mecânica das Telas. Fonte: Autor.

### 5.3 Absorção de Água

Os resultados de absorção de água não apresentam variações consideráveis. As pequenas variações podem estar relacionadas ao processo produtivo, haja visto que a conformação e vibração são manuais. Isso torna o processo muito artesanal e pode proporcionar as pequenas diferenças nos resultados.

Conforme o método de absorção de água aplicado (água quente ou água fria), os corpos de prova apresentam valores bem distintos, isso se deve pois ao aquecer o corpo de prova o calor que incide sobre as placas cimentícias, que gera uma expansão desta placa, dissolução de hidróxido de cálcio e reações com sulfatos, ocorrendo assim, pequenas fissuras aumentando a porosidade do corpo. Na Figura 31 pode-se avaliar as variações dos ensaios tanto de água fria quanto de água quente.

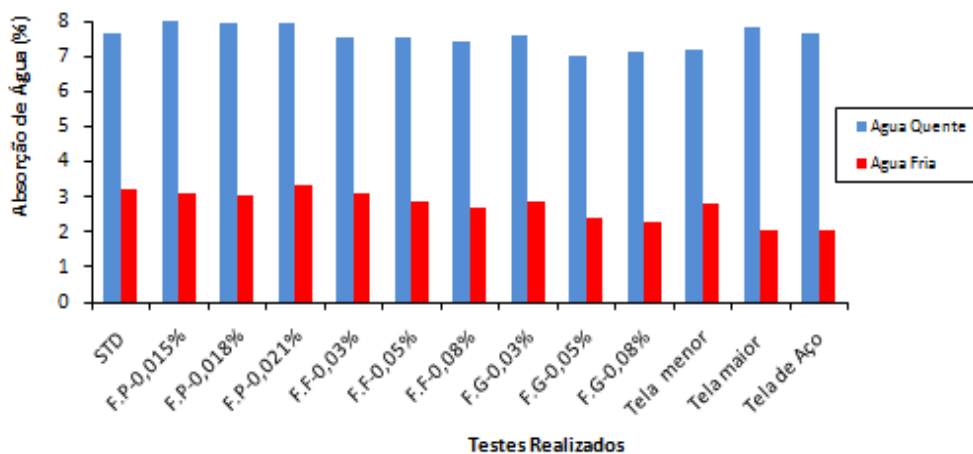


Figura 31: Absorção de Água. Fonte: Autor.

O ensaio de absorção de água foi realizado com o intuito de observar as características de porosidade e capilaridade que as placas poderiam sofrer com a adição das fibras ou telas. Percebe-se que as variações ocorridas para o ensaio apresentam pouca variação se comparado a formulação padrão, onde os valores de água quente giram em torno de 7,6 % em média, valor muito próximo ao padrão que é de 7,65%. Já os valores de água fria apresentam em média valor de 2,71% e o padrão apresenta valor de 3,19%.

#### 5.4 Retração por Secagem

Os ensaios de retração de secagem foram realizados em várias idades da massa das placas cimentícias, com o intuito de realizar um melhor acompanhamento das retrações existentes nestas placas, e ao mesmo tempo realizar uma interação com os demais resultados para se chegar a uma conclusão.

Na Figura 32, pode-se observar que tanto a massa padrão como as demais formulações apresentam retração aos 7 dias de cura, porém neste gráfico

pode-se visualizar a menor retração inicial das formulações com tela menor e com tela de aço, podendo associar a maior restrição que esses materiais causam, devido suas características geométricas na placa cimentícia.

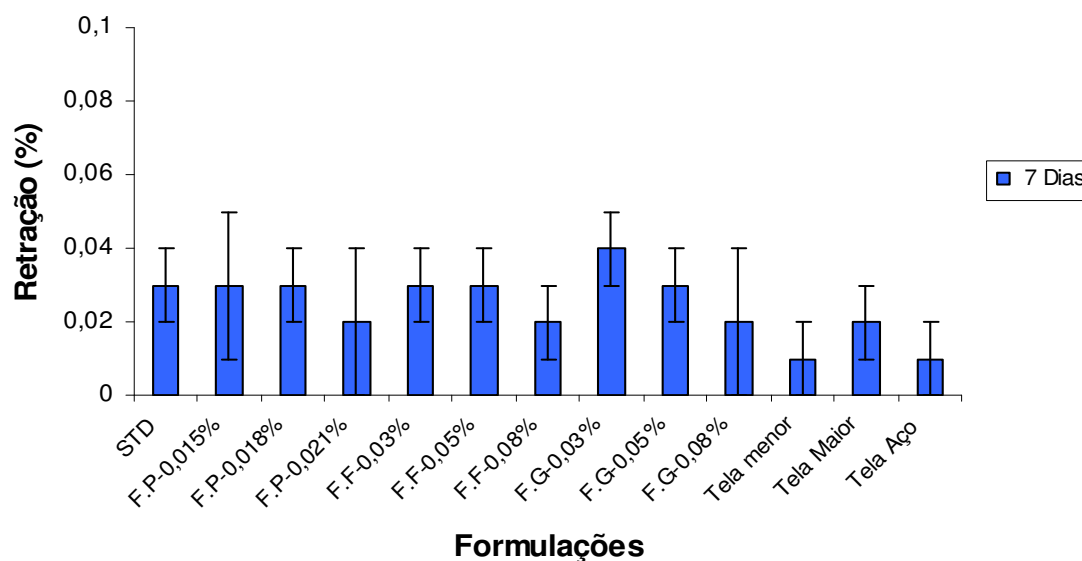


Figura 32: Retração de Secagem aos 7 dias. Fonte: Autor.

Para os ensaios de retração no 14º dia (Figura 33) percebe-se que em todas as formulações ocorreram aumento do valor de retração de secagem, mostrando que com o decorrer do tempo, a retração continua acontecendo.

Os valores de retração para a formulação padrão nesta data é de 0,05%, valor este mais alto em relação a todas as demais formulações. Um dado importante é que aparece na figura é que todas as formulações apresentam a tendência de reduzirem os valores de retração com o aumento das fibras adicionadas conforme Figura 33.

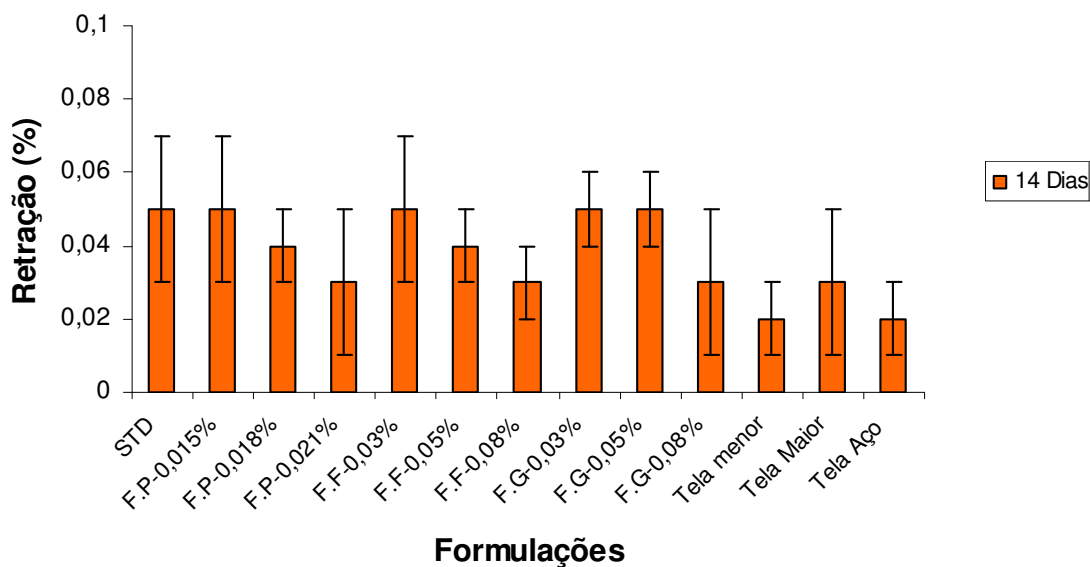


Figura 33: Retração de Secagem aos 14 dias. Fonte: Autor.

Para o 28º dia (Figura 34) pode-se perceber que todas as formulações sofrem aumento de retração e que esta pode ser considerada a final, haja visto que nesta data cerca de 85% das reações que devem acontecer com a hidratação do cimento já ocorreram.

Os valores da formulação padrão chegam a 0,09%, maior valor se comparado com as formulações realizadas, mostrando assim que todas as adições de materiais estão agindo diretamente com relação à retração. Outro ponto significativo que nota-se ao analisar a Figura 34, é que em todas as adições das fibras, com o aumento destas adições ocorre a redução da retração, confirmando assim a ação das fibras sobre a matriz cimentícia. Com relação às telas, a tela fina e a tela de aço demonstram menores valores de retração, isso devido serem de uma fina malha e com isso restringirem a retração da matriz.



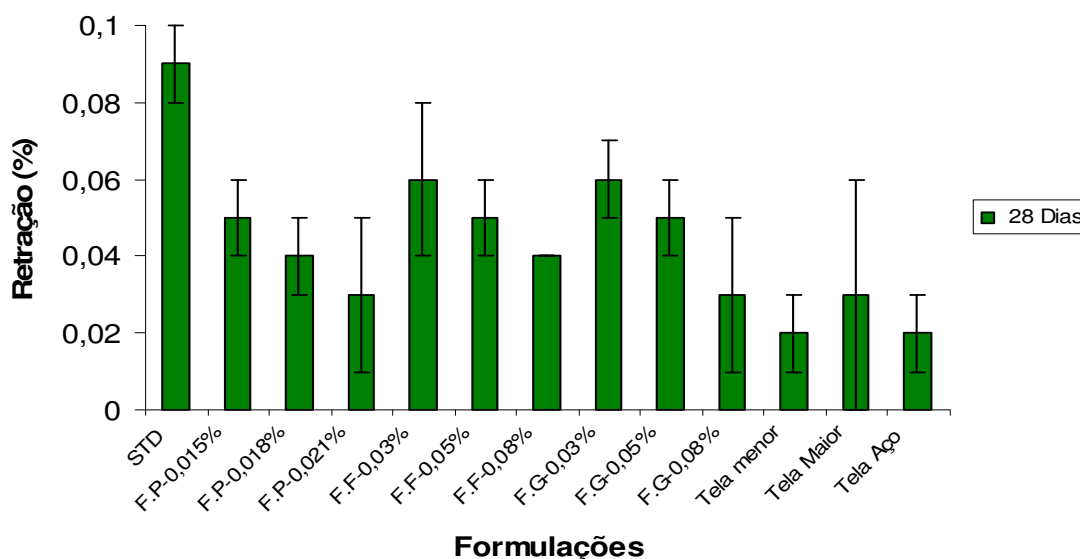


Figura 34: Retração de Secagem aos 28 dias. Fonte: Autor.

Para melhorar a visualização, foram unificados todos os resultados dos ensaios de retração, como pode ser observado na Figura 35, nele pode ser visto de maneira geral a evolução da retração ao longo dos dias ensaiados.

Na Figura 35, observa-se os resultados ao longo do tempo, onde a formulação padrão inicia com 0,03% do valor de retração no 7º dia, 0,05% no 14º dia e no 28º está com 0,09% de retração, e pode-se visualizar ainda que este é o maior valor apresentado.

Com relação às fibras de polipropileno (F.P), com o acréscimo das fibras há uma pequena redução nos valores da retração, comparando apenas no 28º dia, percebe-se que a formulação com 0,015% de fibras de polipropileno tem valor de 0,05% de retração, e com a adição máxima de 0,021% de fibras de polipropileno, o valor reduz para 0,03% de retração, valor este não é de significativa diferença.

Os resultados das fibras de vidro de 06 mm (F.F) apresentam valores muito semelhantes aos valores das fibras de vidro de 13 mm (F.G), onde as fibras de vidro FF mostram valores de 0,06% aos 28 dias, mesmo valor apresentado para as fibras de vidro FG aos 28 dias (ambos para a mesma quantidade introduzida 0,03%). O valor final com a maior adição destas fibras de vidro (0,08%)

apresentam valores de retração para as fibras FF de 0,04% e valor de retração para as fibras FG de 0,03%, com isso pode-se afirmar que o maior tamanho atuante das fibras, ocorre a maior ação das mesmas com relação à retração.

O valor mostrado com relação às telas percebe-se que ocorreu pouca variação com o passar dos dias e também apresentam os menores valores de retração com relação às demais formulações. A tela de maior tamanho, ou seja, com uma maior abertura da malha apresenta valores de 0,03% de retração ao 28º dia, maior valor se comparado às telas de menor tamanho (menor malha) e tela de aço, pois estas agem com uma ação mais efetiva e com isso apresentando valores de 0,02% de retração ao 28º dia, menor resultado de todas as formulações realizadas.

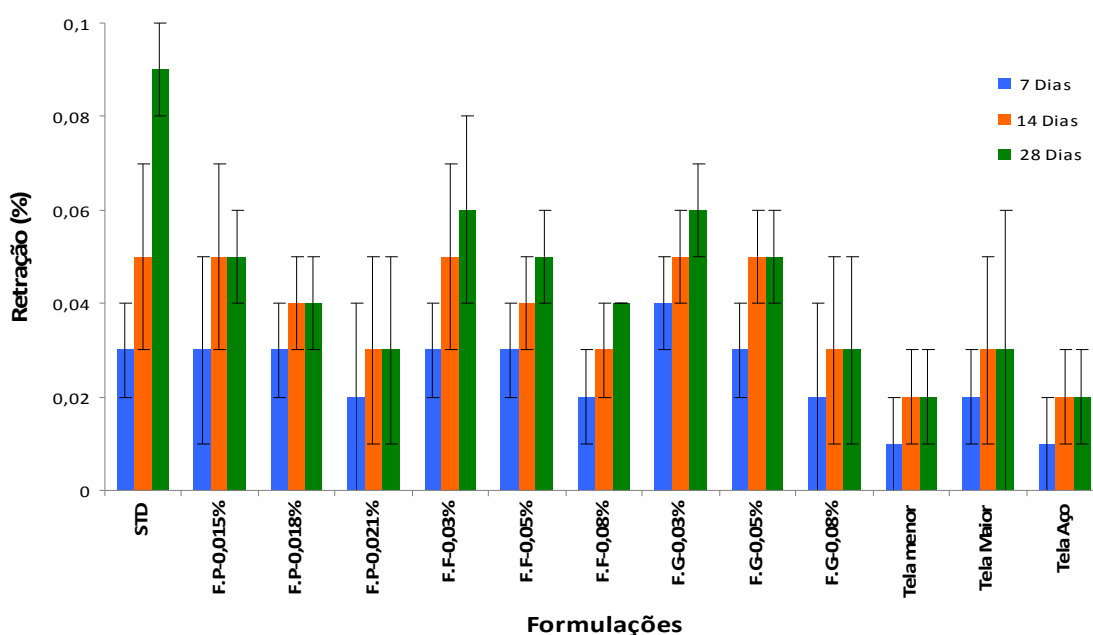


Figura 35: Retração de Secagem aos 7, 14 e 28 dias. Fonte: Autor.

## 5.5 Expansão Por Temperatura

Quanto à expansão por temperatura (Figura 36) pode-se perceber que a amostra de placa cimentícia padrão tem um valor considerável de expansão por temperatura (0,5%) e com o incremento de fibras e telas esse valor tende a

minimizar consideravelmente, como é o caso das fibras de polipropileno (F.P) onde o valor de expansão ficou com 0,4%.

Avaliando as fibras de vidro – finas (FF) e grandes (FG) – pode-se observar na Figura 36 que as fibras finas apresentam um valor superior de expansão por temperatura se comparadas com as fibras grandes, comprovando assim a maior influência dos tamanhos das fibras com a matriz cimentícia e ao mesmo tempo obtendo maior ancoragem na matriz, favorecendo assim na redução da expansão por temperatura das placas.

Quanto à introdução de telas na matriz cimentícias, percebe-se que as telas de maior abertura apresentam valor superior (0,4%) se comparado com as telas de menor abertura (0,3%), neste caso comparando as telas de fibra de vidro. Porém se comparar estas citadas com a tela de aço, que tem abertura muito semelhante à tela de fibra de vidro de menor abertura, se percebe o melhor desempenho de expansão (0,1%).

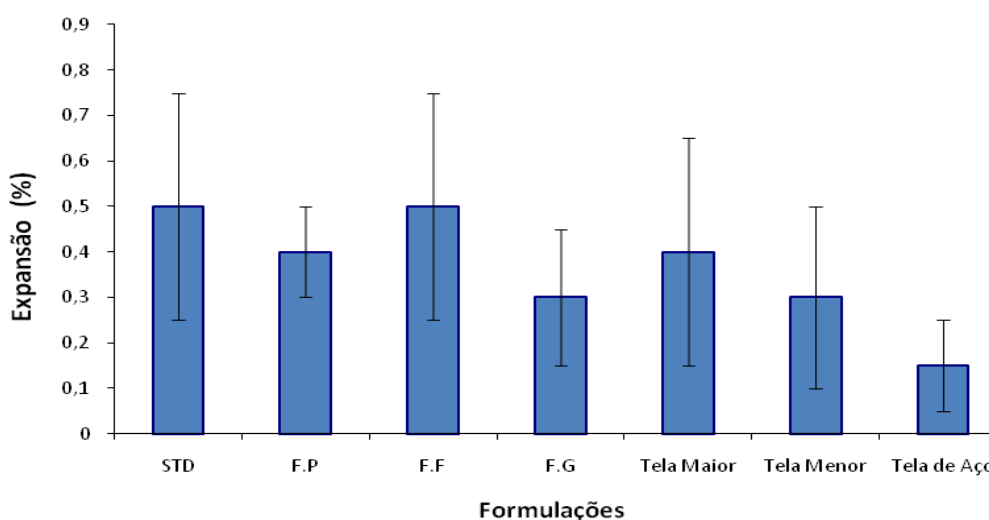


Figura 36: Expansão Térmica. Fonte: Autor.

O valor obtido com as telas de aço permite realizar uma analogia com as manifestações patológicas apresentadas (fissura e descolamento), demonstrando assim um aspecto positivo com sua eficiência para as placas cimentícias e possibilitando assim a menor movimentação térmica das placas, e

com isso uma possível minimização das fissuras e deslocamentos das placas cimentícias após assentamento.

## 5.6 Dilatação Térmica

Os ensaios de dilatação térmica são os ensaios que poderão mostrar uma maior correlação com as manifestações patológicas apresentadas e minimização das mesmas com o incremento das adições realizadas nas pastas, pois com esses resultados podem-se evidenciar as movimentações térmicas que o material possa vir a sofrer com a incidência de calor sobre as placas cimentícias.

A radiação solar incidindo diretamente sobre as placas cimentícias ocasiona a dilatação térmica linear, e dependendo da estrutura do material, esta movimentação poderá ser tão alta que ocasionam os deslocamentos das placas, e estas por sua vez podem vir a gerar as manifestações patológicas de descolamento ou as que não se descolam da argamassa acabam trincando para aliviar a tensão ocorrida durante toda essa movimentação.

A dilatação térmica dos corpos de prova sofreu influência significativa conforme a adição de fibras e telas, independente da forma ou percentual aplicado. Os gráficos são dispostos em várias temperaturas de análise, que variam da temperatura inicial que é de 25°C e vão até 125 °C. Porém para a avaliação dos resultados, é analisada a faixa de temperatura até 80°C, que é a temperatura máxima que um piso pode chegar quando em contato com a incidência de radiação solar.

Na Figura 37, são analisadas as dilatações térmicas lineares das fibras de polipropileno (F.P) com relação à formulação padrão (STD), onde pode-se observar que, com o acréscimo das fibras, ocorre a diminuição das dilatações em todas as temperaturas.

Na temperatura de 80°C a formulação padrão obteve valor de  $84,5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ , já o valor para as formulações de fibras de polipropileno com 0,015%, 0,018% e 0,021% obtiveram valores de  $83,2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ,  $80,1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  e  $79,2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ .

$7/^\circ\text{C}$  respectivamente, mostrando com isso que em todos os casos a ação das fibras sobre o material foi suficiente para reduzir a dilatação térmica linear.

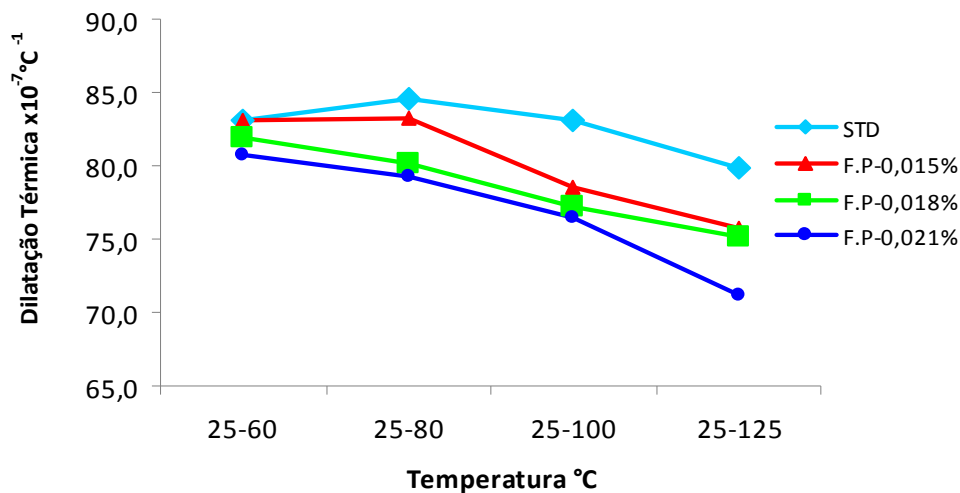


Figura 37: Dilatação Térmica das Fibras de Polipropileno. Fonte: Autor.

Para as fibras de vidro de 06 mm (F.F), observa-se que as fibras mostram valores mais significativos se comparados com as fibras de polipropileno, ou seja, as fibras F.F apresentam menores valores de dilatação térmica linear, na temperatura de  $80^\circ\text{C}$ . Nesta temperatura, conforme é demonstrado na Figura 38, há uma grande diferença das formulações quando comparadas com a formulação padrão.

Os valores de dilatação quando comparados (somente valor absoluto, sem expressar  $10^{-7}/^\circ\text{C}$ ) pode-se perceber que o valor da formulação padrão é de 84,5, valor muito superior à 80,6 da formulação com 0,03% de F.F, 79,5 da formulação com 0,05% de F.F e 78,7 da formulação com 0,08% de F.F. Mostrando assim uma redução constante com o acréscimo das fibras.

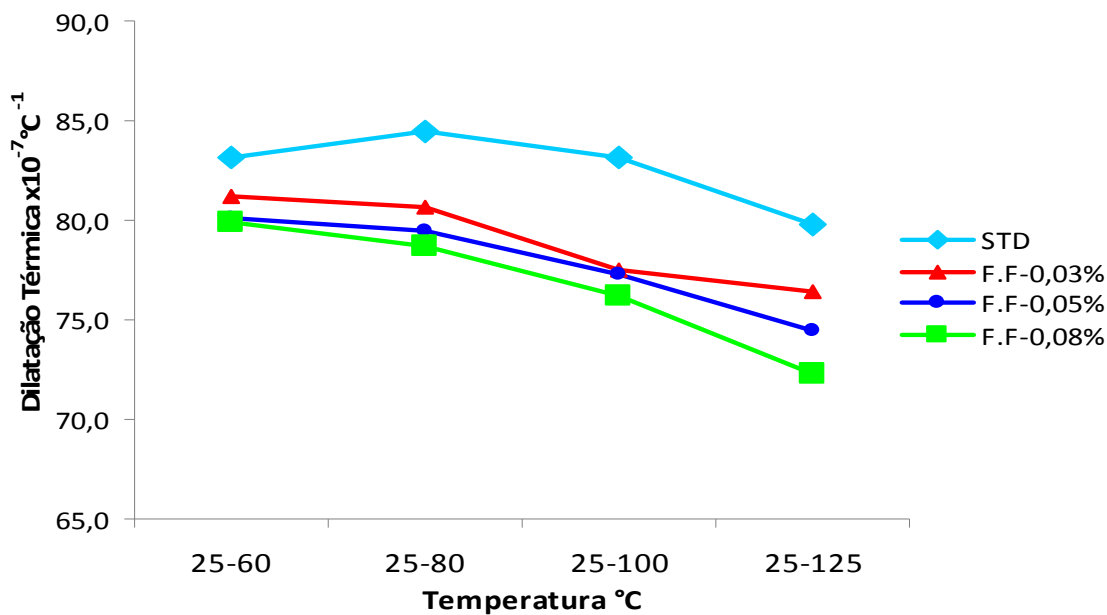


Figura 38: Dilatação Térmica das Fibras de Vidro 06 mm. Fonte: Autor.

Para os resultados com a utilização de fibras de vidro de maior tamanho 13 mm ou as fibras F.G, os resultados obtidos foram ainda melhores se comparados com as fibras de polipropileno e fibras de vidro. Demonstrando com isso que com o maior tamanho das fibras, maior a ação da mesma nas placas e contribuindo assim com a redução dos valores de dilatação térmica linear.

Os resultados obtidos para a temperatura de 80°C são de 84,5 para a formulação padrão, e de 80,2, 79,1 e 77,6 em valores absolutos, para as formulações com 0,03%, 0,05% e 0,08% respectivamente. Demonstrando assim que quanto maior a quantidade de fibras e maior o tamanho das fibras menor será a dilatação térmica linear. Esses valores podem ser observado na Figura 39.

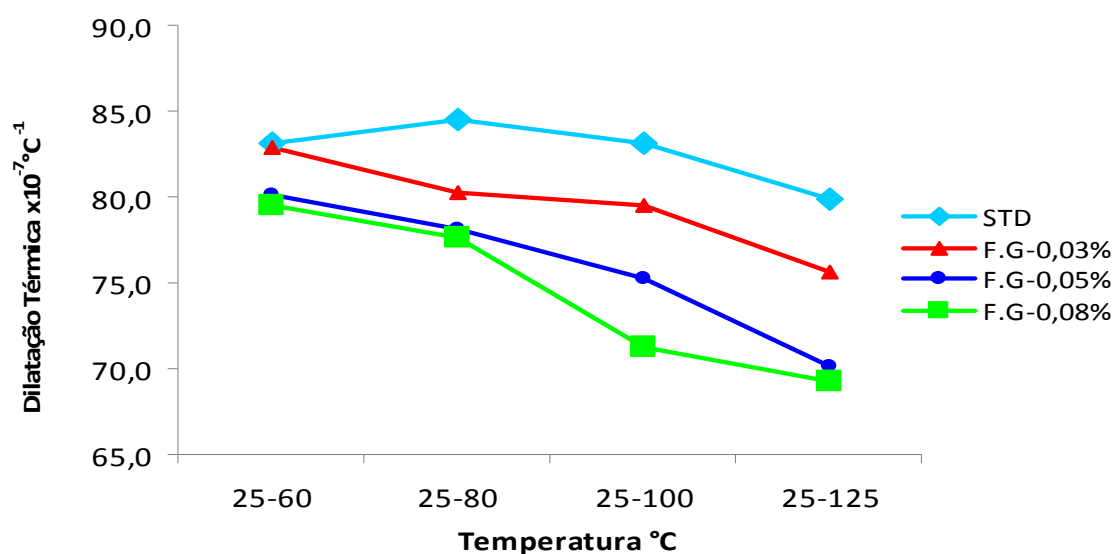


Figura 39: Dilatação Térmica das Fibras de Vidro 13 mm. Fonte: Autor.

Com o desempenho dos resultados com a adição de fibras, surgiu a possibilidade de melhorar ainda mais o desempenho das placas com a adição das telas nas placas, com o intuito de inibir ao máximo as movimentações térmicas com o aumento da resistência à tração das placas.

A Figura 40 mostra os resultados de dilatação térmica linear das telas utilizadas. Nestas adições de telas, foi onde demonstraram os menores valores de dilatação térmica, mostrando assim que as telas atuam nas várias direções das placas e reduzindo consideravelmente os valores das dilatações. O melhor desempenho foi nas telas de aço, mostrando assim a eficiência dos aços com a matriz cimentícia.

Os valores absolutos de dilatação térmica linear para as telas são de 76,2 para a tela maior, 75,3 para a tela menor e 74,2 para a tela de aço, valores estes muito inferiores se comparadas com o padrão 84,5.

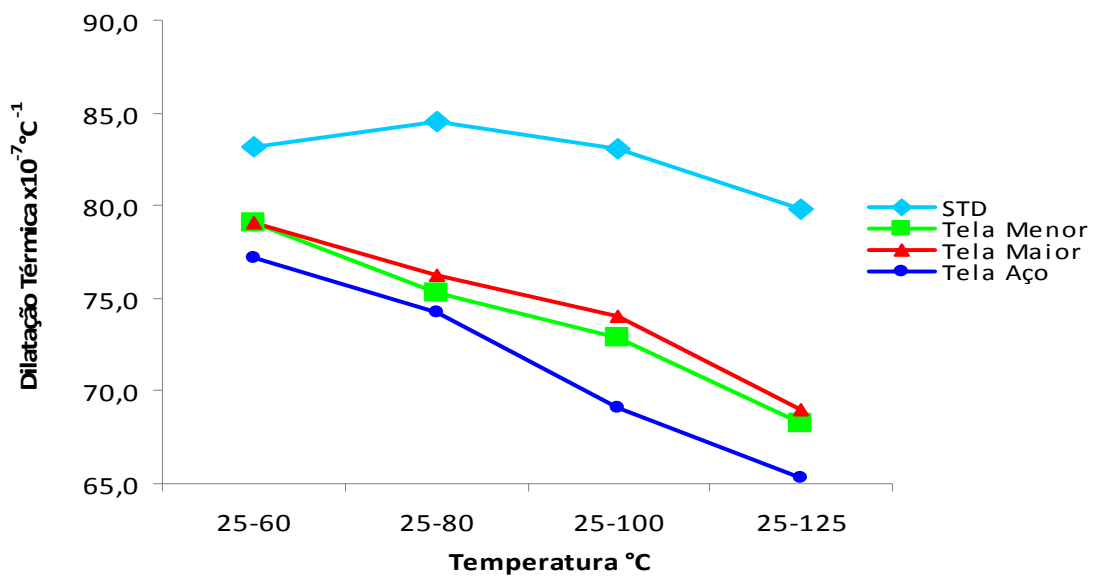


Figura 40: Dilatação Térmica das Telas. Fonte: Autor.

Estes valores mostram a importância de associação de materiais na composição cimentícia para o melhor desempenho final da matriz. Além disso, permite dizer que os descolamentos e trincas estão diretamente associados a movimentação térmica, e com a redução da dilatação térmica das placas, ocorrerá menor movimentação e com isso uma grande tendência a redução das patologias.

A Tabela 03 mostra a relação de todos os ensaios realizados de dilatação térmica linear, com as várias temperaturas, facilitando e demonstrando melhor os resultados.



Tabela 03: Resultados de Dilatação Térmica Linear. Fonte: Autor

		Fibra Polipropileno - F.P			Fibra Vidro 0,6 mm F.F		
Temperatura °C	STD	F.P-0,015%	F.P-0,018%	F.P-0,021%	F.F-0,03%	F.F-0,05%	F.F-0,08%
25-60	83,2	83,1	81,9	80,8	81,2	80,1	79,9
25-80	84,5	83,2	80,1	79,2	80,6	79,5	78,7
25-100	83,1	78,5	77,2	76,5	77,5	77,3	76,2
25-125	79,8	75,8	75,2	71,2	76,4	74,5	72,3
		Fibra Vidro 13 mm FG			Telas		
Temperatura °C	STD	F.G-0,03%	F.G-0,05%	F.G-0,08%	Menor	Maior	Aço
25-60	83,2	82,9	80,1	79,5	79,0	79,1	77,2
25-80	84,5	80,2	78,1	77,6	75,3	76,2	74,2
25-100	83,1	79,5	75,2	71,2	72,9	74,0	69,1
25-125	79,8	75,6	70,1	69,2	68,3	69,0	65,3

Obs: Valores \*10<sup>-7</sup>/°C

## 5.7 Expansão por umidade – EPU

Para as placas cimentícias e revestimentos cerâmicos, os ensaios laboratoriais são normatizados pela NBR 13.818 (ABNT 1997), e nesta norma consta que os valores máximos aceitáveis para EPU é de 0,6 mm/m.

Todos os ensaios realizados de EPU em todas as formulações testadas mostram que as placas cimentícias estão abaixo dos valores máximos normativos. Através da Figura 41, observa-se a baixa variação entre as formulações testadas, assim como resultados mais expressivos para as formulações com telas (0,2 mm/m) e a formulação com fibras grandes (0,3 mm/m). Sua principal característica é o aumento de tamanho linear através de variações higroscópicas no ambiente que está assentado o material e os valores obtidos são relativamente baixos e que dificilmente ocasionarão manifestações patológicas futuras.

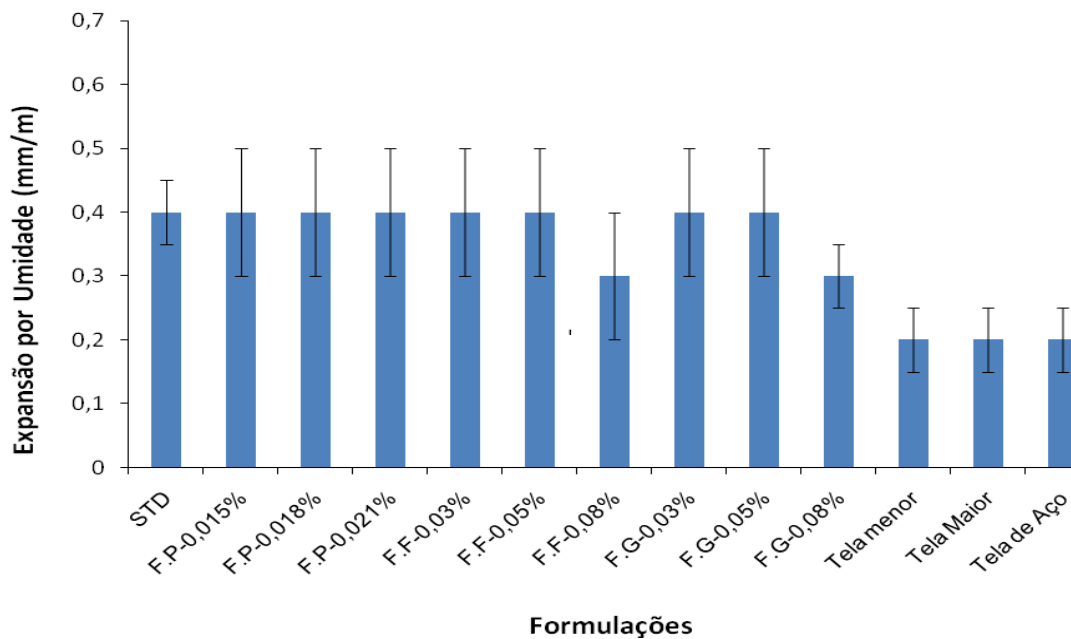


Figura 41: Expansão por umidade. Fonte: Autor.

Ao se fazer uma analogia com os revestimentos cerâmicos, pode-se dizer que as placas cimentícias apresentam valores superiores, pois segundo Moura (2004), os revestimentos cerâmicos apresentam em média 0,2 mm/m de expansão por umidade, e as placas cimentícias apresentam valores em média de 0,4 mm/m.

## 5.8 Assentamento teste

O assentamento teste foi realizado para a comprovação “in loco” das condições das placas cimentícias em um ambiente que é semelhante às condições que estas são submetidas, ou seja, nas mais variadas situações climáticas e mecânicas possíveis, e os resultados desse assentamento foram confrontados com os ensaios realizados laboratorialmente.

No assentamento todas as formulações de ensaio realizadas foram assentadas e observadas diariamente num período de 03 meses, a fim de

diagnosticar algum tipo de manifestação patológica (descolamento ou de trincas) que poderiam vir a surgir neste período de análise.

A formulação padrão apresentou fissuras e trincas em todas as 08 placas assentadas, as trincas caracterizavam por atravessar toda a superfície da placa. Essa manifestação patológica já era esperada devido as propriedades da formulação da massa apresentada nos ensaios laboratoriais, bem como devido ao alto valor de dilatação térmica linear que esta massa apresenta. Esse resultado já era esperado devido algumas manifestações patológicas apresentadas nas placas que foram comercializadas pela empresa detentora da patente da mesma. A Figura 42 mostra as fissuras que aconteceram nestas placas padrões assentadas.



Figura 42: Fissuras que aconteceram nas placas padrões – STD. Fonte: Autor.

As placas cimentícias com adição das fibras de polipropileno (0,015%, 0,018% e 0,021%) em todos os casos apresentaram trincas na largura das mesmas e também algumas fissuras que não atravessavam toda a placa,

comprovando assim os resultados laboratoriais, em que pouco houve evolução, com a adição das fibras de polipropileno. Mostrando assim que esta adição de fibras de polipropileno, pouco contribuíram para o comportamento térmico das placas cimentícias e não reduziram o aparecimento das manifestações patológicas.

Os resultados das adições de fibra de vidro de 06 mm e as fibras de vidro de 13 mm apresentaram um melhor desempenho se comparado com as placas padrão e as placas com adições de fibras de polipropileno, ou seja, um menor número de trincas nas placas e ao mesmo tempo um menor índice de placas trincadas, porém, ainda apareceram placas trincadas e com isso, mostrando que não é a melhor viabilidade para a solução de desempenho devido, o aparecimento das patologias. Em números absolutos, de um total de 24 placas analisadas das fibras de 06 mm, 18 apresentaram trincas, 03 descolaram, e 03 não sofreram danos. Já as placas com fibras de vidro de 13 mm, 15 trincaram e 05 descolaram e 04 não apresentaram nenhum tipo de patologia. Com esses dados pode-se perceber uma pequena evolução, mas, com a manifestação patológica ocorrendo, gerando com isso, insegurança de desempenho das placas cimentícias.

A Figura 43 mostra algumas das fissuras que aconteceram nestas formulações descritas, onde o risco branco sobre as placas são caracterizadas as trincas.

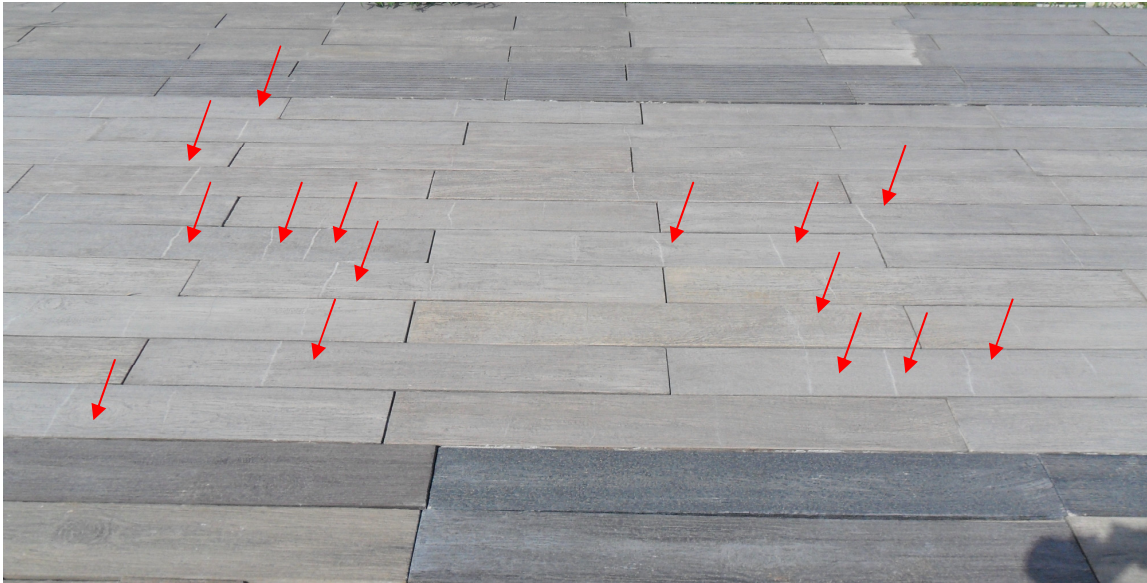


Figura 43: Placas com Trincas. Fonte: Autor.

As formulações em que foram adicionadas as telas de fibras de vidro e telas metálicas obtiveram melhores desempenhos se comparado com as placas com adições de fibras de polipropileno e fibras de vidro.

As placas cimentícias com a tela de fibra de vidro com maior espaçamento entre as fibras (maior malha) apresentaram um bom desempenho, e como resultado das 08 placas assentadas apresentaram 01 trincada e 02 descoladas, e as outras 05 não sofreram nenhum dano. Isso pode se justificar pelo espaçamento entre as fibras, e que devido a este maior espaço, a tela não conseguiu segurar as movimentações térmicas que a placa sofreu, e com isso acarretando no aparecimento desta patologia.

Os resultados do assentamento das placas cimentícias com tela de fibra de vidro de malha fina apresentaram um bom desempenho, onde resultou na patologia de descolamento (desplacamento) em apenas 01 placa, que estava assentada em uma das bordas da área de assentamento, as demais placas (07 placas) não apresentaram nenhum tipo de problema (patologia), comprovando os ensaios laboratoriais, de que as placas cimentícias com tela de fibra de vidro fina apresentam um comportamento térmico e físico superior.



O comportamento térmico e físico das placas cimentícias elaboradas com a tela de aço apresentaram um excelente comportamento, onde nenhuma placa apresentou a patologia que apresentaram nas demais formulações realizadas, comprovando com isso a compatibilidade existente entre os materiais cimentícios e o aço, largamente utilizado no campo da construção civil. O aço reage às tensões nas placas cimentícias devido ao calor do ambiente, reduzindo a expansão das mesmas e ao mesmo tempo, contribuindo para o comportamento térmico, evitando a dilatação excessiva e com isso anulando as fissuras e deformações que poderiam acontecer nas placas cimentícias.

Na Figura 44, visualiza-se o resultado final das placas assentadas com as patologias que ocorreram nas placas, onde as trincas são representadas com um traçado fino e as placas que descolaram apresentam hachuradas no ponto da em que ocorreu o descolamento.

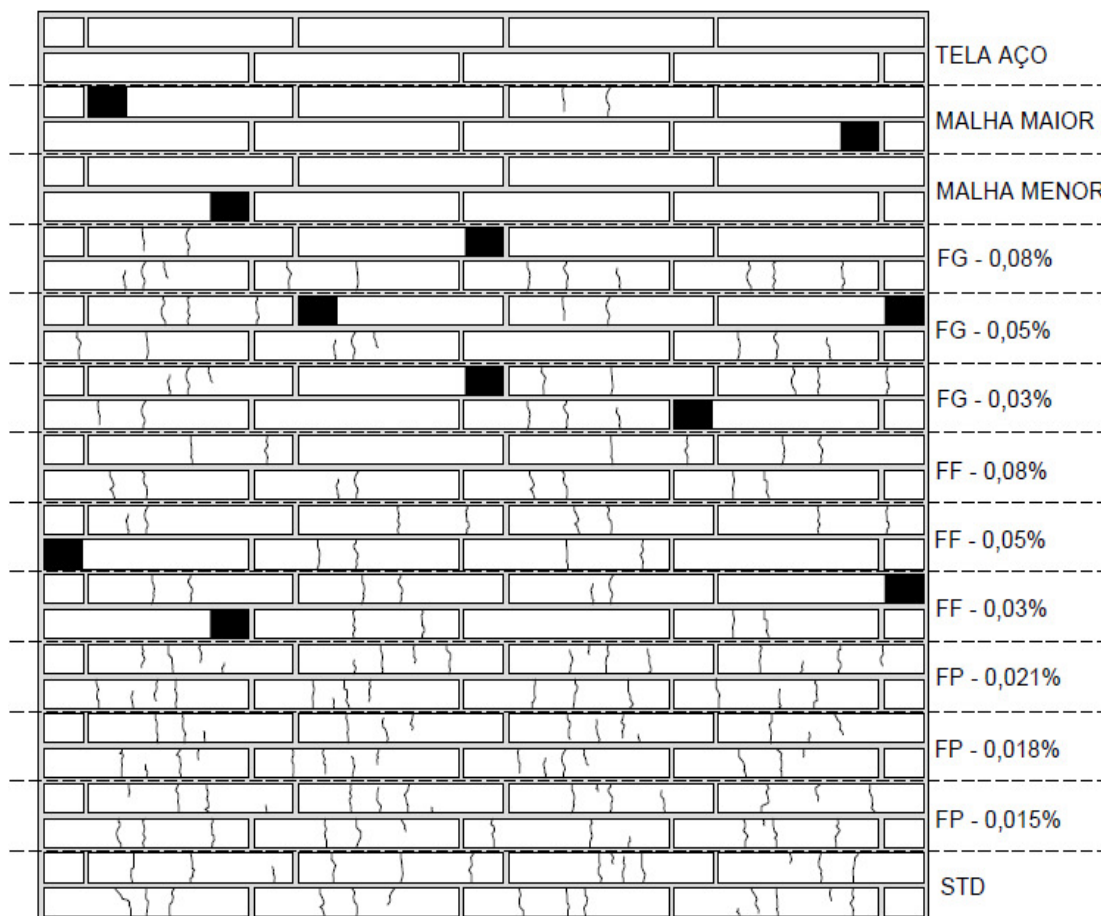


Figura 44: Resultado final do assentamento. Fonte Autor.

Após toda a análise realizada no comportamento de cada formulação realizada, notou-se a importância da realização do assentamento de teste das placas cimentícias, pois contribuiu na parte prática, comprovando os resultados laboratoriais realizados e ao mesmo tempo, dando maior credibilidade ao trabalho realizado. Na Figura 45, visualiza-se quais e quantas placas apresentaram algum tipo de patologia, assim como se pode perceber que as formulações com as telas de aço não apresentaram nenhuma manifestação patológica.

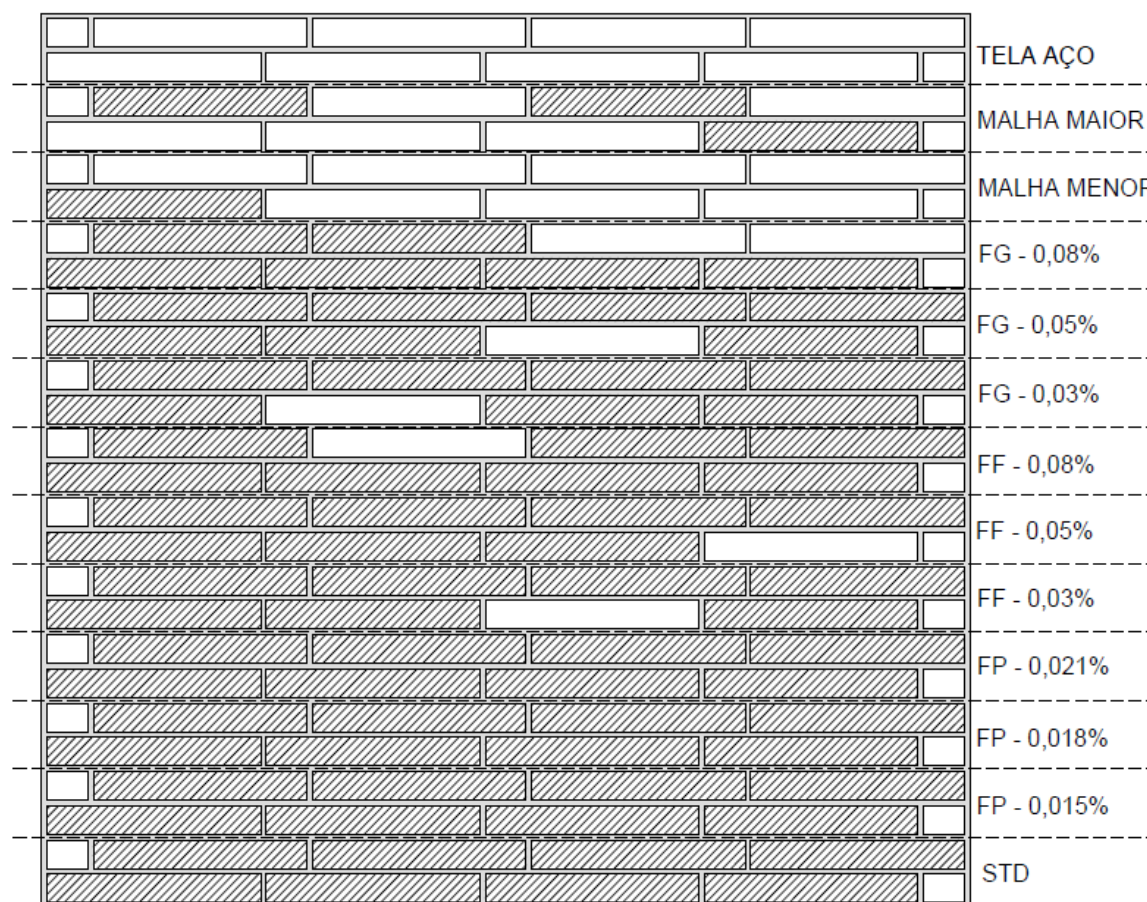


Figura 45: Patologias no assentamento. Fonte Autor.

Os resultados do assentamento das placas cimentícias, trouxeram grande contribuição para o processo produtivo das placas, pois este processo precisou ser modificado (conforme formulação realizada com as telas de aço) para que essas placas cimentícias pudessem ser comercializadas e especificadas para ambientes externos, sem apresentarem a patologia de descolamentos ou trincas.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos dos ensaios realizados, concentrados na aplicação de fibras e telas em matrizes cimentícias para a fabricação de pisos de placas cimentícias decorativas, depois de compilados e analisados, permitiram o alcance das conclusões, a seguir apresentadas considerando todos os ensaios realizados e a aplicação das placas cimentícias em assentamento piloto.

Os ensaios de densidade aparente e de absorção de água demonstram pouca influência e variação com a adição das fibras e telas, mostrando assim que o volume ocupado pelas fibras pouco interferem na matriz com relação à densidade aparente. Com este ensaio buscou-se verificar a densificação de cada formulação e com isso, confrontar com a formulação padrão, visando entender que quanto maior a densidade aparente, maior seria a probabilidade de trincas, devido sua menor porosidade, porém, com este ensaio não foi possível detectar esta analogia.

Os resultados de resistência mecânica à flexão demonstram evolução quanto aos valores obtidos, porém em algumas formulações esses valores não foram tão expressivos, mas em todas as formulações ocorreram aumento de resistência mecânica à flexão.

Os compósitos de fibras de polipropileno e fibras de vidro fina, onde caracterizam-se como compósitos de fibras curtas não são tão resistentes quanto aqueles de fibras de vidro grande e telas, que são comumente denominados de fibras contínuas.

As adições das fibras e telas tinham o intuito de aumentar a tenacidade do conjunto, fazendo uma reação contrária ao crescimento da fissura. Segundo Franco (2008), se o crescimento da fissura pode ser impedido de alguma maneira, então uma energia maior será requerida para fazê-la propagar-se.

As formulações com fibras de polipropileno e fibras de vidro de 06 mm apresentaram valores pouco significativos quanto ao aumento da resistência



mecânica à flexão. Já com as formulações de fibra de vidro de 13 mm os resultados foram mais significativos, aumentando de 10,54 MPa para 12,12 MPa para a formulação com 0,08% de fibras. Para os resultados com as telas detectou-se uma maior influência destes materiais nos resultados, a tela de aço foi a que melhor apresentou o resultado, atingindo o valor de 14,98 MPa, seguida da tela de fibra de vidro de menor abertura da malha 12,83 MPa e a tela de fibra de maior abertura de malha com valor de 11,76 MPa.

Pode-se concluir com relação à resistência mecânica à flexão, que as adições de fibras e telas, mesmo fibras de pequeno comprimento contribuem para impedir o crescimento inicial da fissura, variando sua eficiência em promover maior tenacidade conforme o comprimento inserido na matriz e a sua quantidade. E esse impedimento das fissuras, reflete diretamente no aumento de resistência à flexão das placas cimentícias. Além disso, a maior quantidade dessas fibras contidas nas telas faz o material resistir ainda mais a essas fissuras, já o caso da tela de aço, este possui propriedades de resistência à tração mais elevada, com isso obtendo o resultado superior.

Os resultados de absorção de água demonstraram pouca influência das fibras e telas neste ensaio. A absorção está ligada diretamente à porosidade do material, e como as fibras e telas são utilizadas em pequenas quantidades, os resultados são insignificantes para maiores conclusões.

Os resultados de expansão por temperatura requerem uma boa interpretação, isso porque com esses dados consegue-se entender o comportamento dos materiais ao sofrerem com fortes incidências de temperaturas, que é o caso típico das placas cimentícias assentadas. Os resultados demonstram menores expansões para as placas sob a ação de temperatura para as telas de aço e telas de fibra de vidro fina, o que demonstra que esses materiais fazem uma ação maior sobre a matriz cimentícia, reduzindo sua expansão. Vale ressaltar que todas as formulações sofreram redução em sua expansão, porém as mais expressivas foram as telas.

O acompanhamento da retração de secagem aos 7, 14 e 28 dias foi realizado para melhor conhecimento do comportamento da massa cimentícia com as adições das fibras e telas. Com esses resultados verifica-se que ao adicionar uma maior quantidade de fibras, menor serão as retrações ao longo dos dias, conclui-se ainda que as fibras de vidro maiores são mais efetivas se comparadas com as fibras finas e fibras de polipropileno, porém as telas de aço são muito mais restritivas a movimentações de retração com relação as telas de fibra de vidro e demais materiais utilizadas nas formulações.

Com relação à dilatação térmica linear, obteve-se os resultados mais significativos e que puderam mostrar a real interação que as adições realizaram sobre as placas cimentícias, mostrando assim a direção quanto a solução das patologias apresentadas. Em todos os casos nota-se que ao aumentar as quantidades de material adicionado (fibras ou telas), observa-se o decréscimo da dilatação térmica linear em relação à temperatura analisada, mostrando a atuação ativa das fibras e telas sobre as placas cimentícias.

A dilatação térmica linear mostrou como ponto positivo e mais significativa para as telas de aço e telas de fibra de vidro fina, uma dilatação muito inferior à formulação padrão, baixando de  $84,5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  para  $74,2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ , ou seja, baixando 10 pontos de dilatação na faixa de temperatura de análise 25-80°C, que é a faixa de trabalho normal das placas quando assentadas. Com esses dados percebeu-se que poderia ser realizado um teste de assentamento piloto para análise de todas as formulações para confrontar os aspectos laboratoriais contra a realidade de uso das placas cimentícias.

No assentamento teste realizado, obteve-se como resultado que as placas cimentícias adicionadas com telas de fibra de vidro de malha fina e as telas de aço apresentaram resultados melhores se comparado com as demais, ou seja, não apresentaram as patologias (trincas e descolamentos) que as demais formulações apresentaram, contribuindo na afirmação dos ensaios laboratoriais realizados.

Além disso, com o assentamento das placas cimentícias, percebe-se quais formulações apresentaram o melhor desempenho, onde a formulação com a adição de tela de aço obteve destaque em relação as demais, mostrando assim que o processo produtivo deve ser alterado (adição da tela de aço) para que o desempenho das placas em ambiente externo torne satisfatório e com desempenho técnico aceitável.

As formulações realizadas com fibras de polipropileno e fibras de vidro de tamanho de 6 mm e 13 mm mostraram resultados insatisfatórios devido ao volume que se utilizou, pois a massa cimentícia, para ser conformada e apresentar um bom aspecto na superfície das placas necessita de uma baixa viscosidade. Com o aumento da quantidade de fibras, a viscosidade da massa aumentava consideravelmente, impossibilitando assim a adição de uma maior quantidade de fibras. O aumento da quantidade de fibras em volume superior ao mínimo de viscosidade da massa gerava um alto índice de bolhas e furos na superfície das placas, e estas tinham que ser descartadas pelo aspecto estético e pela redução da resistência mecânica.

Os resultados das formulações mostraram que tanto a formulação com adição de tela de fibra de vidro (malha fina), assim como, a formulação com tela de aço apresentaram resultados que atenderiam as solicitações de pisos em ambientes externos. Porém devido a maior compatibilidade, facilidade de comércio, resistência ao tempo, aderência e conformidades químicas e físicas faz com que a formulação com a adição de telas de aço se torne viável sua utilização, assim como, possibilitem uma maior realização de ensaios para o controle de qualidade no processo produtivo.

## **6.1 Propostas de trabalhos futuros**

A seguir serão listadas algumas sugestões que poderão ser seguidas como forma de continuidade deste trabalho, ou mesmo em idéias para trabalhos futuros com o conteúdo que foi abordado na presente dissertação:

1. Reformulação de massa seca, buscando a retirada total do gesso da sua formulação visando a minimização das manifestações patológicas de fissuras e trincas nas placas cimentícias;
2. Testar novos tipos de aglomerantes, com a finalidade de acelerar o tempo de pega e de desmolde, não prejudicando as características técnicas das placas cimentícias;
3. Realizar a adequação da espessura das placas cimentícias, proporcionais as suas dimensões, verificando o comportamento de tensões e deformações nas placas;
4. Estudar a relação do índice de esbeltez, buscando a melhor adequação das dimensões das placas cimentícias, priorizando o comportamento físico pós assentamento das placas;
5. Estudar a possível adição de materiais porosos (argilas expandidas e similares), que auxiliem no desempenho das placas quando solicitadas aos esforços devido a elevadas temperaturas e umidades;
6. Testar novos tipos de materiais que possam contribuir no reforço tridimensional da matriz cimentícia e que evitem fissuras e descolamento das placas cimentícias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, D. A. **Desing of concrete mixtures**. Chicago: Structural Materials Research Laboratory. 1918. (Lewis Institute Bulletin I). 2006. 105p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Perguntas mais frequentes. Disponível em: [http://www.abcp.org.br/duvidas\\_frequentes.shtml](http://www.abcp.org.br/duvidas_frequentes.shtml). acesso em 07 de setembro de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007. 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6220 - Materiais refratários densos conformados** — Determinação do volume aparente, densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida. Rio de Janeiro, 2011. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211 - Agregados para concreto, especificação**. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8214 – Assentamento de azulejos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1983. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8949 - Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1985. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9817 - Execução de piso com revestimento cerâmico - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2005. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11768 – Aditivos para concreto de cimento Portland, especificação**. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 12129 – Gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas**. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 12142 – Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12765 – Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear- Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1993. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12989 – Cimento Portland branco, especificação**. Rio de Janeiro, 1993. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13753 –. Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13818 – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1997. 78p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14081 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14992 – A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2003. 16p.

BARDELLA; BARBOSA. **Estudo da permeabilidade ao ar em concretos produzidos com cimento Portland de alto-forno submetidos a diferentes procedimentos de cura**. Disponível em: [http://www.cori.unicamp.br/jornadas/completos/unicamp/artigo\\_bardella\\_barbosa.doc](http://www.cori.unicamp.br/jornadas/completos/unicamp/artigo_bardella_barbosa.doc), Acesso em 12 nov. 2009.

BAUMANN, H. U. **Welded wire confinement grids**. Structural Engineering in natural hazards mitigation. ASCE. 1993. p . 295 - 300.

BENATTI, Julio César; CAMARINI, Gladis; PEREIRA, Valdir; **Permeabilidade de Concretos com Diferentes Relações de A/C**. Unicamp, 2007.

BITTENCOURT, E. L.; BENINCÁ, E. **Aspectos superficiais do Produto grés polido**. Cerâmica Industrial, v. 7 n. 4, p. 40-42, 2002.

CICHINELL, G. **Parede ou Vedação**. Revista TECHNE, São Paulo: PINI, ano 15. n° 128, p. 52-57, Nov. 2007.

**CIMENTAL ADITIVOS QUÍMICOS**. Fichas Técnicas VAEPOL DM2. Disponível em: <http://www.cimental.com.br>. Acesso em 10 de setembro de 2010.

COUTINHO, A. de S., **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: LNEC editora, V.L. 2003. 610p

DRYWALL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL (Brasil) (Org.). **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL**. Disponível em: <[www.drywall.org.br](http://www.drywall.org.br)>, 2009. Acesso em: 20 mai. 2010.

FRANCO, Luiz Sérgio – **Emprego de telas metálicas soldadas em alvenarias de vedação**. USP. 2008.

FIBERTEX Louveira Produtos Têxteis. Disponível em: <http://www.fibertex.com.br/constcivil.htm>. Acesso em 09 de setembro de 2010.

GAVA, G.V. **Ensaio de Flexão em Corpos-de-Prova Prismáticos de Concreto Reforçados com Fibras de Aço e Fibra de Vidro**. Trabalho acadêmicos da disciplina 'Instrumentação de Ensaios' – PPGEC-UFSC. 2003.

HAMAD, B.S. Investigations of chemical and physical properties of White cement. **Advanced Cement Based Materials**, V.2, n.4, p. 161-167, July 1995.

HELENE, P. Terzian, P. **Manual de dosagem e controle de concreto**. São Paulo: PINI, 1993.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** - Índice de desenvolvimentos da construção civil. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) , acesso em 15 de outubro de 2011.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil; contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Method of tests for compressive strength and compressive toughness of steel fiber reinforced concrete.** JSCE-SF5. concrete Library of JSCE. Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete. Nº 3 June 1984a. p.63-6.

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete.** JSCE-SF4. Concrete Library of JSCE. Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete. Nº 3 June 1984b. p.58-61.

Loturgo, B. Chapas cimentícias são alternativas rápidas para uso interno e externo. Revista TECHNE, São Paulo: PINI, ano 11. nº 79 p. 62-66, Out. 2003.

MAILVAGANAM, N. RIXOM, R. **Chemical admixtures for concrete.** London. E&FN SPON, 3rd edition. 1999. 437p.

MANO, E.B. – **Introdução a Polímeros.** Ed. Edgard Blücher Ltda. 2005.

MARTINS, Edna. **Estudo da Permeabilidade de Peças Cimentícias.** Trabalho de Conclusão de Curso. Cocal do Sul. CMG. 2008

MEDEIROS, J.S. – **Prevenção de trincas em alvenarias através do emprego de telas soldadas como armadura e ancoragem.**São Paulo, USP, 2008.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M.. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais.** Ed. PINI, São Paulo, 1994.

MOURA, Yolanda Montenegro. **Revestimento Cerâmico em Fachadas Estudo das Causas das Patologias.** Fortaleza UNIFOR, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Tradução Salvador E. Giammusso. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA. F.L. de. **Avaliação do desempenho estrutural de sistemas construtivos inovadores:** estudo de caso. São Carlos. 1996. 107 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Estruturas) EESC - USP.

OLIVEIRA, Juliana. **Estudo das Propriedades de Argamassa Colantes Submetidas a Saturação e Secagem.** Florianópolis UFSC, 2004

PADILHA JR, Marcos Et al. **Levantamento Quantitativo das Patologias em Revestimentos Cerâmicos em Fachadas de Edificações Verticais na Cidade de João Pessoa – PB.** Paraíba, CONNEPI. 2007.

REIS & REIS INDUSTRIA E COMERCIO Ltda. Fibras de vidro. Disponível em: <http://www.reisereis.com.br>. Acesso em: 05 de maio de 2010.

SBRIGHI NETO, Cláudio, “ **A Importância dos Conceitos Tecnológicos na Seleção dos Agregados para Argamassas e Concretos**”. Revista Areia & Brita. EMC Editores; nº 12; pg 26 e 27. 2010.



SHELLIE, Kenneth L. Sand and Gravel Operation: **A Transitional Land Use**. New York, National Sand and Gravel Association. 2007.

SEYMOUR, R.B.; CARRAHER, C.E. **Structure-property relationships in polymers**. New York, Plenum Publishing Corporation, 1984.

SINDUSGESSO (Brasil) (Org.) - **SINDUSGESSO – Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do estado de Pernambuco**. Disponível em: <[www.sindusgesso.org.br](http://www.sindusgesso.org.br)>. Acesso em: 05 Jan. 2009.

SPECK, Jaison de Araujo. **Análise do Desempenho de Resistência a Aderência à Tração das Argamassas Colantes em Placas de Revestimentos de Monoporosa e Porcelanato**. Trabalho de Conclusão de Curso. Criciúma, Unesc. 2005.

TÉCHNE. **Revista de tecnologia da construção** – Engenharia plástica. Ano 10, Nº 50. jan.- fev. 2001. pg.51.

TÉCHNE. **Revista de tecnologia da construção** – Placas Cimentícias – Uso e características. Ano 17, Nº 109. jun- jul. 2008. pg.43.

UNION CARBIDE. Cellosize. HEC. Versatilidade para a construção civil: aplicação em argamassas adesivas. **Folder**. 1997.

UNION CARBIDE. **Cellosize - Hidroxietil celulose HEC. Folder**. 1997.

VALVERDE, F.M. **Sumário mineral brasileiro 2002: Agregados para a construção civil**. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2002. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/suma2002>. Acesso em: 22/04/2010.

VILASBOAS, José M. L. **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003**. Dissertação (mestrado). Salvador, 2004.

VLACK, Lawrence H. Van. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. Trad. Cid Silveira e Shiroyuki Oniki, São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1973.

WACKER. **Vinyl Acetate Polymers - Vinnapas - Redispersible Powders. Folder**. 1996.

## Anexos

### Tabela de resultados para análises:

- Densidade Aparente

Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )													
		Fibras de Polipropileno			Fibras de Vidro 06 mm			Fibras de Vidro 13 mm			Telas		
Corpos	STD	0,015%	0,018%	0,021%	FF 0,03%	FF 0,05%	FF 0,08%	FG 0,03%	FG 0,05%	FG 0,08%	Maior	Menor	Aço
1	2,01	2,01	2,02	2,01	2,04	2,01	2,02	2,03	2,02	2,04	2,03	2,02	2,04
2	2,05	2,02	2,03	2,02	2,03	2,01	2,02	2,03	2,00	2,03	2,02	2,03	2,04
3	2,04	2,04	2,04	2,03	2,04	2,01	2,03	2,04	2,01	2,04	2,02	2,03	2,04
4	2,02	2,02	2,02	2,02	2,04	2,02	2,02	2,05	2,00	2,04	2,03	2,04	2,03
5	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,01	2,03	2,03	2,01	2,03	2,02	2,03	2,03
6	2,01	2,01	2,03	2,01	2,03	2,01	2,02	2,03	2,01	2,03	2,02	2,03	2,04
7	2,05	2,05	2,03	2,02	2,03	2,02	2,03	2,03	2,02	2,03	2,03	2,03	2,03
8	2,05	2,01	2,03	2,04	2,02	2,02	2,01	2,02	2,02	2,05	2,02	2,03	2,05
9	2,04	2,04	2,03	2,01	2,03	2,01	2,02	2,04	2,01	2,03	2,02	2,04	2,03
10	2,03	2,00	2,03	2,02	2,03	2,02	2,02	2,03	2,02	2,03	2,02	2,03	2,04
11	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,02	2,05	2,04	2,04	2,02	2,05	2,04
12	2,02	2,02	2,03	2,02	2,03	2,02	2,02	2,02	2,02	2,05	2,02	2,02	2,05
13	2,03	2,01	2,03	2,01	2,03	2,01	2,01	2,03	2,01	2,03	2,01	2,03	2,03
14	2,04	2,04	2,03	2,04	2,03	2,01	2,02	2,02	2,01	2,03	2,02	2,03	2,03
15	2,06	2,02	2,03	2,05	2,03	2,00	2,02	2,02	2,00	2,03	2,02	2,02	2,03
<b>Média</b>	<b>2,03</b>	<b>2,02</b>	<b>2,03</b>	<b>2,02</b>	<b>2,03</b>	<b>2,01</b>	<b>2,02</b>	<b>2,03</b>	<b>2,01</b>	<b>2,04</b>	<b>2,02</b>	<b>2,03</b>	<b>2,04</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

- Resistência Mecânica à Flexão

<b>Resistência Mecânica à Flexão (Mpa)</b>													
		<b>Fibras de Polipropileno</b>			<b>Fibras de Vidro 06 mm</b>			<b>Fibras de Vidro 13 mm</b>			<b>Telas</b>		
<b>Corpos</b>	<b>STD</b>	<b>0,015%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,021%</b>	<b>FF 0,03%</b>	<b>FF 0,05%</b>	<b>FF 0,08%</b>	<b>FG 0,03%</b>	<b>FG 0,05%</b>	<b>FG 0,08%</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Aço</b>
1	10,95	11,07	10,64	10,97	10,67	10,03	10,75	10,85	11,22	12,32	11,54	12,86	15,87
2	9,55	10,25	10,02	10,54	10,23	10,65	10,29	11,15	10,87	12,76	12,07	12,54	14,83
3	10,95	11,32	10,62	11,32	11,28	10,35	11,08	10,22	11,98	12,45	12,32	12,87	15,99
4	10,41	10,18	10,33	11,04	10,68	10,64	10,93	10,65	11,65	11,78	11,79	13,21	14,78
5	11,12	11,07	10,32	11,98	11,32	11,41	11,77	10,77	11,83	10,98	10,92	12,13	15,02
6	10,04	9,90	11,47	10,78	10,79	10,30	10,67	11,35	10,98	12,36	11,88	12,89	14,56
7	11,42	10,53	10,54	10,73	10,85	10,15	10,75	10,78	10,72	12,22	11,67	12,95	14,39
8	9,84	10,35	10,17	10,22	10,16	10,51	10,58	10,79	12,08	12,08	11,90	13,16	14,38
<b>Média</b>	<b>10,54</b>	<b>10,58</b>	<b>10,51</b>	<b>10,95</b>	<b>10,75</b>	<b>10,51</b>	<b>10,85</b>	<b>10,82</b>	<b>11,42</b>	<b>12,12</b>	<b>11,76</b>	<b>12,83</b>	<b>14,98</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,67</b>	<b>0,51</b>	<b>0,44</b>	<b>0,53</b>	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>	<b>0,44</b>	<b>0,33</b>	<b>0,53</b>	<b>0,54</b>	<b>0,42</b>	<b>0,35</b>	<b>0,63</b>

- Expansão por Temperatura

<b>Expansão por Temperatura (%)</b>													
		<b>Fibras de Polipropileno</b>			<b>Fibras de Vidro 06 mm</b>			<b>Fibras de Vidro 13 mm</b>			<b>Telas</b>		
<b>Corpos</b>	<b>STD</b>	<b>0,015%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,021%</b>	<b>FF 0,03%</b>	<b>FF 0,05%</b>	<b>FF 0,08%</b>	<b>FG 0,03%</b>	<b>FG 0,05%</b>	<b>FG 0,08%</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Aço</b>
1	0,90	0,40	0,50	0,40	0,70	0,50	0,40	0,30	0,50	0,20	0,70	0,60	0,30
2	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,50	0,50	0,35	0,30	0,50	0,40
3	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,70	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20
4	0,80	0,60	0,70	0,60	0,60	0,70	0,45	0,25	0,40	0,25	0,70	0,15	0,10
5	0,30	0,30	0,40	0,30	0,80	0,65	0,50	0,30	0,25	0,30	0,20	0,60	0,20
6	0,20	0,30	0,20	0,20	0,30	0,35	0,40	0,25	0,20	0,20	0,30	0,25	0,20
7	0,20	0,30	0,30	0,20	0,80	0,30	0,60	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,20
8	0,80	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,30	0,30	0,20	0,50	0,50	0,10	0,10
<b>Média</b>	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>	<b>0,43</b>	<b>0,38</b>	<b>0,55</b>	<b>0,53</b>	<b>0,48</b>	<b>0,30</b>	<b>0,33</b>	<b>0,29</b>	<b>0,41</b>	<b>0,34</b>	<b>0,21</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,29</b>	<b>0,12</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>	<b>0,22</b>	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,10</b>

- Absorção de Água - Quente

<b>Absorção de Água - Quente (%)</b>													
		<b>Fibras de Polipropileno</b>			<b>Fibras de Vidro 06 mm</b>			<b>Fibras de Vidro 13 mm</b>			<b>Telas</b>		
<b>Corpos</b>	<b>STD</b>	<b>0,015%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,021%</b>	<b>FF 0,03%</b>	<b>FF 0,05%</b>	<b>FF 0,08%</b>	<b>FG 0,03%</b>	<b>FG 0,05%</b>	<b>FG 0,08%</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Aço</b>
1	7,60	7,90	8,07	7,99	7,32	7,78	7,36	7,12	7,45	7,34	6,98	6,87	7,88
2	7,71	8,12	7,89	7,71	7,44	7,44	7,56	7,89	6,21	7,87	7,88	7,34	6,97
3	7,82	7,99	7,88	8,01	7,89	7,45	7,89	7,65	7,12	7,05	7,46	7,12	7,12
4	7,56	7,87	7,76	7,81	7,89	7,21	7,19	7,21	7,34	6,77	7,95	6,95	7,64
5	7,75	8,20	8,14	7,63	7,21	7,31	7,22	7,45	7,45	6,91	8,32	7,51	7,66
6	7,22	7,89	7,77	8,01	7,12	7,67	7,31	7,65	7,43	7,01	7,99	7,12	7,89
7	7,69	7,85	8,02	8,05	7,66	7,56	7,21	7,71	6,77	7,12	8,01	7,45	7,88
8	7,92	7,92	7,98	7,99	7,56	7,45	7,48	7,84	6,67	7,04	8,06	7,23	7,61
9	7,39	8,07	8,12	8,10	7,55	7,82	7,38	7,88	6,22	7,11	7,84	7,17	7,88
10	7,88	7,99	8,08	7,95	7,55	7,92	7,27	7,78	7,13	7,02	7,94	7,36	7,92
<b>Média</b>	<b>7,65</b>	<b>7,98</b>	<b>7,97</b>	<b>7,93</b>	<b>7,52</b>	<b>7,56</b>	<b>7,39</b>	<b>7,62</b>	<b>6,98</b>	<b>7,12</b>	<b>7,84</b>	<b>7,21</b>	<b>7,65</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,22</b>	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,16</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,21</b>	<b>0,27</b>	<b>0,49</b>	<b>0,30</b>	<b>0,37</b>	<b>0,21</b>	<b>0,34</b>

- Absorção de Água - Frio

<b>Absorção de Água - Frio (%)</b>													
		<b>Fibras de Polipropileno</b>			<b>Fibras de Vidro 06 mm</b>			<b>Fibras de Vidro 13 mm</b>			<b>Telas</b>		
<b>Corpos</b>	<b>STD</b>	<b>0,015%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,021%</b>	<b>FF 0,03%</b>	<b>FF 0,05%</b>	<b>FF 0,08%</b>	<b>FG 0,03%</b>	<b>FG 0,05%</b>	<b>FG 0,08%</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Aço</b>
1	3,32	3,01	3,01	2,99	3,12	2,61	2,51	2,66	2,78	2,33	2,02	2,66	2,12
2	3,12	3,26	2,96	3,42	3,01	2,96	2,87	2,88	2,22	2,50	2,12	2,82	2,03
3	3,22	3,06	3,06	3,12	3,07	3,01	3,03	3,02	2,32	2,28	1,99	2,78	2,00
4	3,65	3,22	3,12	3,51	3,21	3,02	3,00	3,02	2,34	2,33	2,00	3,02	2,01
5	3,01	3,08	3,07	3,32	3,01	2,78	2,80	2,71	2,19	2,25	2,06	2,71	2,03
6	3,04	3,12	3,03	3,42	3,17	2,75	2,77	2,75	2,45	2,35	2,00	2,75	2,02
7	3,42	3,35	3,23	3,31	3,04	3,01	2,21	2,88	2,41	2,18	2,00	2,88	2,00
8	2,98	3,01	3,04	3,45	3,07	2,78	2,82	2,78	2,51	2,37	2,01	2,78	2,01
9	3,05	3,08	3,02	3,28	3,01	3,02	2,66	2,92	2,33	2,23	2,12	2,92	2,02
10	3,10	3,05	2,97	3,32	3,00	2,97	2,23	2,92	2,45	2,20	2,00	2,92	2,00
<b>Média</b>	<b>3,19</b>	<b>3,12</b>	<b>3,05</b>	<b>3,31</b>	<b>3,07</b>	<b>2,89</b>	<b>2,69</b>	<b>2,85</b>	<b>2,40</b>	<b>2,30</b>	<b>2,03</b>	<b>2,82</b>	<b>2,02</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,21</b>	<b>0,11</b>	<b>0,08</b>	<b>0,16</b>	<b>0,07</b>	<b>0,15</b>	<b>0,29</b>	<b>0,12</b>	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>0,11</b>	<b>0,04</b>

- Retração por Secagem – 7 dias

<b>Retração de Secagem (%) - 7 dias</b>													
		<b>Fibras de Polipropileno</b>			<b>Fibras de Vidro 06 mm</b>			<b>Fibras de Vidro 13 mm</b>			<b>Telas</b>		
<b>Corpos</b>	<b>STD</b>	<b>0,015%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,021%</b>	<b>FF 0,03%</b>	<b>FF 0,05%</b>	<b>FF 0,08%</b>	<b>FG 0,03%</b>	<b>FG 0,05%</b>	<b>FG 0,08%</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Aço</b>
1	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,01	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01
2	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,00	0,01
3	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02
4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02
5	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00
6	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
7	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
8	0,03	0,03	0,03	0,05	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,01	0,01
9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
10	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Média</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

- Retração por Secagem – 14 dias

Retração de Secagem (%) - 14 dias													
		Fibras de Polipropileno			Fibras de Vidro 06 mm			Fibras de Vidro 13 mm			Telas		
Corpos	STD	0,015%	0,018%	0,021%	FF 0,03%	FF 0,05%	FF 0,08%	FG 0,03%	FG 0,05%	FG 0,08%	Maior	Menor	Aço
1	0,03	0,06	0,04	0,03	0,06	0,02	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,01	0,01
2	0,06	0,06	0,03	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03
3	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02
4	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,07	0,05	0,04	0,01	0,05	0,05	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04
6	0,05	0,05	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
7	0,05	0,07	0,05	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,05
8	0,02	0,02	0,04	0,05	0,07	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01
9	0,06	0,05	0,04	0,02	0,05	0,04	0,02	0,05	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
10	0,05	0,06	0,03	0,01	0,06	0,04	0,01	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Média</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

- Retração por Secagem – 28 dias

<b>Retração de Secagem (%) - 28 dias</b>													
		<b>Fibras de Polipropileno</b>			<b>Fibras de Vidro 06 mm</b>			<b>Fibras de Vidro 13 mm</b>			<b>Telas</b>		
<b>Corpos</b>	<b>STD</b>	<b>0,015%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,021%</b>	<b>FF 0,03%</b>	<b>FF 0,05%</b>	<b>FF 0,08%</b>	<b>FG 0,03%</b>	<b>FG 0,05%</b>	<b>FG 0,08%</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Aço</b>
1	0,09	0,06	0,03	0,03	0,06	0,05	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,01	0,01
2	0,10	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03
3	0,09	0,03	0,02	0,03	0,08	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02
4	0,08	0,06	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,06	0,06	0,03	0,05	0,03	0,03
5	0,09	0,05	0,05	0,01	0,06	0,05	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04
6	0,09	0,02	0,04	0,02	0,07	0,04	0,02	0,07	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
7	0,10	0,03	0,03	0,01	0,02	0,06	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05
8	0,07	0,05	0,03	0,05	0,07	0,03	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01
9	0,09	0,06	0,04	0,02	0,05	0,06	0,02	0,05	0,06	0,02	0,01	0,02	0,02
10	0,09	0,05	0,04	0,01	0,06	0,04	0,03	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Média</b>	<b>0,09</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

- Expansão por Umidade

<b>Expansão por Umidade (mm/m)</b>													
		<b>Fibras de Polipropileno</b>			<b>Fibras de Vidro 06 mm</b>			<b>Fibras de Vidro 13 mm</b>			<b>Telas</b>		
<b>Corpos</b>	<b>STD</b>	<b>0,015%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,021%</b>	<b>FF 0,03%</b>	<b>FF 0,05%</b>	<b>FF 0,08%</b>	<b>FG 0,03%</b>	<b>FG 0,05%</b>	<b>FG 0,08%</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Aço</b>
1	0,30	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,10	0,60	0,60	0,20	0,50	0,10	0,10
2	0,50	0,50	0,20	0,50	0,20	0,50	0,70	0,20	0,50	0,40	0,10	0,50	0,10
3	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,20	0,60	0,60	0,30	0,20	0,10	0,20
4	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,25	0,10	0,10	0,10
5	0,40	0,30	0,30	0,20	0,30	0,20	0,70	0,30	0,20	0,30	0,10	0,20	0,50
<b>Média</b>	<b>0,38</b>	<b>0,44</b>	<b>0,38</b>	<b>0,42</b>	<b>0,38</b>	<b>0,42</b>	<b>0,36</b>	<b>0,38</b>	<b>0,42</b>	<b>0,29</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,08</b>	<b>0,18</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,31</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>