

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE ENGENHARIAS JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

ALEX VALENTIM OLESKOWICZ

**A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTITÂNIA E FIBRAS POLIMÉRICAS EM  
ARGAMASSAS USADAS EM PAREDES DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO**

Joinville, 2015

ALEX VALENTIM OLESKOWICZ

**A influência da adição de nanotitânia e fibras poliméricas em argamassas usadas em paredes de tijolos solo-cimento**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de bacharel em engenharia.

Orientador

Prof. Dr. Luciano Senff

Universidade Federal de Santa Catarina

Joinville, 2015

*Dedico este trabalho aos meus pais, irmãs, minha namorada e a toda minha família que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Ao meu orientador, pela paciência e incentivo, tornando possível a conclusão deste trabalho.*

## RESUMO

O impacto causado por atividades humanas sobre o meio ambiente é visível a cada dia, e a indústria da construção está intimamente ligada a estes impactos. Assim, novas técnicas de construção e novos materiais são uma alternativa para reduzir tal problema. Na verdade, o cimento com solo é um exemplo desta tentativa. O uso da terra como matéria-prima, material ecológico e abundante, fornece uma série de vantagens em relação aos meios tradicionais de construção. Ao mesmo tempo, a nanotecnologia é uma ciência nova, na qual é possível melhorar características nunca antes imaginadas. Por exemplo, a nanotitânia (nT) pode ser utilizada em argamassas para minimizar os poluentes atmosféricos em torno do edifício. Além disso, a utilização de fibras (Fb) pode melhorar as propriedades mecânicas do material. No entanto, a presença de novos materiais pode afetar as características no estado fresco e endurecido, que devem ser investigados. Neste trabalho, argamassas com (0-1% em massa) de nT e (0-0,1% em massa) de Fb em relação aos sólidos totais foram estudadas, por meio das propriedades de consistência na mesa, densidade aparente, absorção de água, porosidade aberta, retração e resistência a flexão. Em geral, argamassas contendo adições modificaram resultados em diferentes níveis, onde a utilização de dosagem adicional de água para manter a trabalhabilidade constante foi determinante para minimizar o benefício obtido pela nT e Fb. No entanto, a Fb contribui especialmente depois do rompimento da matriz, garantindo, ainda, alguma resistência após a fissura.

Palavras-chave: Solo-cimento; Argamassa; Nanotitânia; Fibras de polipropileno.

## **ABSTRACT**

The impact caused by human activities on the environment is visible every day and the construction industry is closely linked to these impacts. Thus, new construction techniques and new materials is one alternative to reduce such problem. In fact, the soil cement brick is one example of this attempt. The use as raw material earth, ecological and abundant material provides a several advantages regarding to traditional means of construction. At same time, the nanotechnology is a new science in which it is possible to improve the characteristics never imagined before. For instance, the nanoparticle of titania (nT) can be used in mortar to minimize the atmospheric pollutants around the building. In addition, the use of fiber (Fb) can improve the mechanical properties of cementitious materials. However, the presence of new materials can affect the fresh and hardened properties, which should be investigated. In this work, mortars with (0–1%) nT and (0–0,01%) Fb in relation to the total solids were tested, by means flow table test, bulk density, water absorption, porosity, shrinkage and bending resistance. In general, mortars-containing additives changed in different levels, but the use of additional dosage of water to keep the workability constant was determinant to minimize the obtained benefit by Fb or nT additions. However, the Fb contributes specially after cracking the matrix, ensuring also some resistance after cracking.

Key words: Soil-cement; Mortar; Nanotitana; Polypropylene fibers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos de tijolos solo-cimento disponíveis no mercado.....	13
Figura 2 - Tijolo ecológico modular padrão.....	14
Figura 3 - Representação esquemática do processo fotocatalítico .....	21
Figura 4 - Estruturas cristalinas da anatase e rutilo.....	22
Figura 5 - Mecanismos de atuação das Fbs nas fissuras.....	23
Figura 6 - Fibras de polipropileno .....	24
Figura 7 - Fluxograma das atividades.....	25
Figura 8 - Distribuição granulométrica da areia.....	26
Figura 9 - Aditivo plastificante .....	27
Figura 10 - Aeróxido P25 .....	28
Figura 11 - Fb MAC 6 .....	29
Figura 12 - <i>Flow table</i> .....	32
Figura 13 – Corpos de prova.....	32
Figura 14 - Corpos de prova para ensaio de retração das argamassas .....	33
Figura 15 - Procedimento para determinação das propriedades físicas das argamassas.....	34
Figura 16 - Equipamento para determinação de retração das argamassas.....	35
Figura 17 - Ensaio de tração na flexão .....	36
Figura 18 - Ajuste da relação a/c das argamassas.....	37
Figura 19 - Densidade aparente das argamassas com 28 dias de cura .....	38
Figura 20 - Absorção de água das argamassas com 28 dias de cura.....	39
Figura 21 - Porosidade aberta das argamassas com 28 dias de cura .....	40
Figura 22 - Retração das argamassas com 7 dias de cura .....	41
Figura 23 - Retração das argamassas com 28 dias de cura.....	41
Figura 24 - F1: 0,0nT + 0,0Fb + 1,30a/c.....	42
Figura 25 - F2: 1,0nT + 0,0Fb + 1,40a/c.....	42
Figura 26 - F2 a/c cte: 1,0nT + 0,0Fb + 1,30a/c.....	42
Figura 27 - F3: 0,0nT + 0,05Fb + 1,35a/c.....	42
Figura 28 - F4: 1,0nT + 0,05Fb + 1,43a/c.....	42
Figura 29 - F5: 0,0nT + 0,1Fb + 1,40a/c.....	42
Figura 30 - F5: a/c cte: 0,0nT + 0,1Fb + 1,30a/c.....	43
Figura 31 - F6: 1,0nT + 0,1Fb + 1,45a/c.....	43
Figura 32 - F6: a/c cte: 1,0nT + 0,1Fb + 1,30a/c.....	43
Figura 33 - Transferência das tensões no corpo de prova (efeito “ponte”).....	44

Figura 34 - Fb no corpo de prova.....	44
---------------------------------------	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa granulométrica da areia.....	17
Tabela 2 - Composição química do cimento.....	27
Tabela 3 – Propriedades e métodos de ensaio .....	28
Tabela 4 - Propriedades físicas e mecânicas das Fb.....	29
Tabela 5 - Variação da % das formulações em função da nT e Fb .....	31
Tabela 6 - Resultado do ajuste da consistência na mesa .....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Emprego das argamassas na construção .....	15
---	----

## LISTA DE ABREVIações

nT	Nanotitânia
Fb	Fibras
a/c	água/cimento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBJETIVO GERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 TIJOLO SOLO-CIMENTO .....	13
2.2 ARGAMASSAS .....	15
<b>2.2.1 Aglomerantes</b> .....	<b>15</b>
2.2.1.1 Cimento Portland.....	16
<b>2.2.2 Agregados</b> .....	<b>16</b>
2.2.2.1 Areia .....	17
<b>2.2.3 Aditivos</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.4 Propriedades da argamassa no estado fresco</b> .....	<b>17</b>
2.2.4.1 Trabalhabilidade .....	18
<b>2.2.5 Propriedades da argamassa no estado endurecido</b> .....	<b>18</b>
2.2.5.1 Densidade, absorção de água e porosidade .....	18
2.2.5.2 Retração .....	19
2.2.5.3 Resistência mecânica.....	20
2.3 NANOTITÂNIA .....	20
<b>2.3.1 Processos de Oxidação Avançados</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.2 Fotocatálise</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.3 Dióxido de titânio</b> .....	<b>21</b>
2.3.3.1 Anatásio .....	22
2.4 FIBRAS POLIMÉRICAS .....	22
<b>2.4.1 Fibra de polipropileno</b> .....	<b>24</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1 MATERIAIS .....	26
<b>3.1.1 Areia</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1.2 Cimento</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.3 Aditivo</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.4 Nanotitânia</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1.5 Fibra polimérica</b> .....	<b>29</b>
3.2 MÉTODOS .....	30

<b>3.2.1 Determinação da composição de referência (1)</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.2 Determinação das demais formulações</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.3 Ajuste da trabalhabilidade das argamassas</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.4 Produção dos corpos de prova</b> .....	<b>32</b>
3.2.4.1 Corpos de prova para ensaios de resistência à flexão .....	32
3.2.4.2 Corpos de prova para ensaios de retração das argamassas .....	33
<b>3.2.5 Densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta das argamassas</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2.6 Retração das argamassas</b> .....	<b>35</b>
<b>3.2.7 Resistência a flexão das argamassas</b> .....	<b>36</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>37</b>
4.1 DEFINIÇÃO DA RELAÇÃO A/C DAS ARGAMASSAS .....	37
4.2 DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE ABERTA.....	38
4.3 RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS .....	40
4.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO .....	42
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>45</b>
<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Prioridade no mundo, o desenvolvimento sustentável está em ascensão, sendo que no setor da construção civil esta tendência também se aplica. Com o crescimento do custo da energia envolvida na construção e a escassez de recursos naturais, novas tecnologias surgem com o objetivo de fundir o crescimento sustentável com o conforto e normas requisitadas no setor. Busca-se por melhores métodos, onde fatores como qualidade e sustentabilidade sejam prioritários. Nesse contexto, a inovação e o uso de novas técnicas podem ser entendidos como tentativas de melhorar e corrigir parâmetros onde os materiais existentes não estão sendo eficazes.

A utilização do solo como matéria-prima na construção civil traz vantagens em relação ao método convencional. O tijolo solo-cimento alia técnicas construtivas eficientes, com a vantagem de utilizar como matéria-prima um material barato e abundante, a terra. Substituir o tijolo convencional proporciona menor emissão de poluentes, visto que o tijolo solo-cimento não necessita de queima em sua produção.

Outro material que promete qualidades diferenciadas é a argamassa com adição de nT. A adição propicia características inovadoras na mistura, que é capaz de realizar a reação de fotocatalise. Com o efeito fotocatalítico, o material apresenta a capacidade de degradar poluentes presentes no ar atmosférico. Esta característica lhe concede um grande potencial em contribuir com o meio ambiente.

Por outro lado, novos materiais podem afetar características importantes da mistura. Por esta razão, as argamassas com adição de nT devem ser estudadas, pois ela pode interferir negativamente nas propriedades mecânicas do material. Neste contexto, o uso de fibras poliméricas pode apresentar efeitos positivos ou, ainda, compensatórios em relação às propriedades mecânicas.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é estudar a aplicação de nT e Fb em argamassa de cimento utilizada como revestimento de tijolos solo-cimento.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

E como objetivos específicos pode-se citar:

- Avaliar os efeitos causados na trabalhabilidade da mistura de argamassa com adição de nT e Fb;
- Verificar possíveis soluções para corrigir a trabalhabilidade inicial;
- Observar os efeitos causados nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas com as adições.

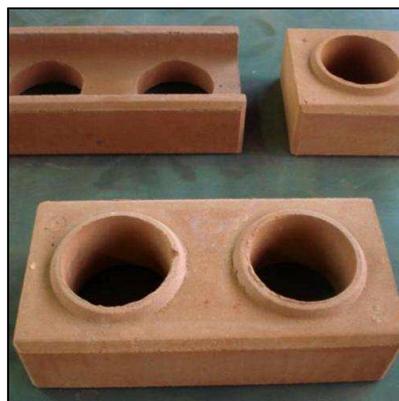
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TIJOLO SOLO-CIMENTO

O uso do solo proporciona novas características à construção civil, onde parcela do cimento pode ser substituída pelo material. Um exemplo desse uso é o tijolo de solo-cimento, conhecido no Brasil como tijolo ecológico. O incremento de terra ao cimento, devidamente estudado, proporciona vantagens à mistura. Considerando uma técnica de compactação e dosagem, o tijolo solo-cimento apresenta a resistência mecânica necessária para as edificações (NEVES, 2001).

O sistema construtivo utilizando como matéria-prima o solo visa facilitar a produção dos tijolos, diminuindo os custos de fabricação. Os tijolos solo-cimento podem obter uma economia de cerca de 30% do custo total da construção (SILVEIRA, 2011). Outro apelo é o seu grande estímulo ambiental, visto ser uma matéria-prima abundante e ecológica, onde os produtos não necessitam da queima, como os tijolos cerâmicos convencionais. A figura 1 ilustra tijolos solo-cimento.

Figura 1 - Modelos de tijolos solo-cimento disponíveis no mercado



Fonte: Tijolos de Solo-cimento.

Disponível em:< <http://www.santorin.com.br/tijolos-de-solo-cimento-vendas-diretas.html>>. Acesso em out. 2014.

A produção de tijolos solo-cimento usa a definição de tijolo modular, onde os tijolos são produzidos para serem encaixados, diminuindo a quantidade de argamassa

de assentamento. O processo de construção é caracterizado por relacionar a obra com procedimentos padronizados. Esta característica faz com que o processo de construção se concentre na organização do canteiro de obras, diminuindo o tempo gasto em execução. O empreendimento é caracterizado pela operação de montagem, e não de produção, feito fora da obra (MORETT, 2003).

Segundo Silveira (2011, p. 130), o uso do tijolo solo-cimento traz algumas vantagens, como:

- Dispensa a queima durante a fabricação;
- Os tijolos são encaixados, eliminando assim desperdício de argamassa durante o assentamento;
- Pode ser utilizado como tijolo à vista;
- Com superfícies regulares, reduz o consumo de reboco;
- Elimina o uso de madeira e formas, visto sua técnica construtiva diferenciada;
- Oferece melhor isolamento térmico e acústico, considerando os furos no interior do tijolo;
- Apresenta maior resistência mecânica que tijolos convencionais;
- Instalações elétricas e hidráulicas são feitas nos furos dos tijolos, evitando quebras;

A figura 2 ilustra o uso de tijolos solo-cimento.

Figura 2 - Tijolo ecológico modular padrão



Fonte: Modelo de tijolo ecológico.

Disponível em: <<http://ecomaquinas.com.br/tijolo-ecologico-modelos>> Acesso em out. 2014.

Para confeccionar os tijolos, técnicas de mistura devem ser seguidas, e em geral, o material deve apresentar características, são elas segundo (FREITAS, 1999):

- 100% passante pela peneira ABNT 4,2 mm;
- 10 a 50% passante pela peneira ABNT 0,075mm;
- Limite de liquidez menor que 45%;
- Índice de plasticidade menor que 12%.

Cuidados na escolha do material são importantes para os efeitos físicos da mistura. São importantes parcelas de areia e argilas na composição, porém solos siltsosos devem ser evitados, podendo este interferir na hidratação do cimento (FREITAS, 1999).

## 2.2 ARGAMASSAS

A argamassa é uma mistura de aglomerantes com agregados miúdos, aditivos, adições e água. Os aglomerantes utilizados na mistura da argamassa de revestimento podem ser o cimento e a cal. A argamassa pode ser dosada tanto em obra quanto em outra instalação, neste caso a argamassa é industrializada (NBR 13281, 2001).

Os empregos da argamassa na construção são demonstrados no quadro 1.

Quadro 1 - Emprego das argamassas na construção

Emprego das argamassas na construção	
<b>Alvenaria</b>	Assentamento de pedras, tijolos, blocos
<b>Acabamento</b>	Emboço, reboco, teto e pisos
<b>Reparos</b>	Injeções

Fonte: (CARVALHO, 2009)

### 2.2.1 Aglomerantes

Os aglomerantes são materiais utilizados na construção civil, que provém da característica de aglomerar materiais entre si. É um elemento ativo, que faz parte da composição de produtos como pastas, argamassa e concreto (CARVALHO, 2009).

Segundo definido pela NBR 11172 (1990), aglomerante hidráulico é um material cuja pasta tem a capacidade de endurecer apenas pela adição e posterior reação com a água, e que posteriormente à pega, resiste à ação da mesma.

#### *2.2.1.1 Cimento Portland*

O cimento Portland é descrito pela NBR 11172 (1990, p. 4) como “Aglomerante hidráulico artificial, obtido pela moagem de clínquer Portland, sendo geralmente feita a adição de uma ou mais formas de sulfato de cálcio”.

O cimento Portland é um produto derivado a partir do processo de pulverização do clínquer, que por sua vez é constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio, podendo ou não ter adições (Bauer, 2008).

Existem alguns tipos de cimentos Portland, considerando suas adições. Uma delas é o CP II-Z – cimento composto com pozolana. (NBR 11578, 1991). Indicado para produção de argamassas, obras subterrâneas, marítimas, industriais e civis em geral, o concreto produzido com este tipo de cimento é mais impermeável, melhorando assim sua durabilidade (VARELA, 2011).

#### **2.2.2 Agregados**

Os agregados podem ser definidos como um material particulado, com grande variabilidade de tamanhos, sem atividade química significativa. Os agregados podem ser considerados incoesivos (BAUER, 2008).

### 2.2.2.1 Areia

Segundo Bauer (2008, p. 78), a “areia, geologicamente, é um sedimento clástico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos.” Na construção civil, a areia é considerada o agregado miúdo. Segundo a NBR 7211 (2005, p. 5), agregados miúdos são “Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura na malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m, em ensaio realizado de acordo com a norma ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.”

Para melhor classificação, a areia apresenta as seguintes faixas granulométricas mostradas no tabela 1.

Tabela 1 - Faixa granulométrica da areia

Areia	Diâmetro (mm)
Fina	0,15 – 0,6
Média	0,6 – 2,4
Grossa	2,4 – 4,8

Fonte: (BAUER, 2008)

### 2.2.3 Aditivos

Aditivos são produtos químicos que podem ser misturados ao concreto/argamassa e tem a finalidade de modificar as características do estado fresco ou endurecido do material. Com grande variedade, os aditivos podem ser, aceleradores de pega, retardadores de pega, incorporadores de ar, plastificantes ou super-plastificantes. O uso de aditivos plastificantes reduz a quantidade de água necessária, além de melhorar a trabalhabilidade (ABESC,2007).

### 2.2.4 Propriedades da argamassa no estado fresco

Avaliar as características e propriedades das argamassas no estado fresco é muito importante, uma vez que esse material é aplicado ainda na forma fluida. Características do estado fresco influenciam tanto no manuseio da argamassa, quanto na qualidade final do material.

#### 2.2.4.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é uma característica da argamassa no estado fresco e pode ser definida em função de propriedades como coesão, consistência, plasticidade, viscosidade, adesividade e massa específica. A trabalhabilidade é uma característica que depende da relação água/cimento, do traço, da granulometria do concreto e do agregado, assim como de aditivos (ROMANO,2004).

Em geral, observa-se que a trabalhabilidade é uma propriedade intuitiva e de difícil avaliação, que depende de outras propriedades das argamassas. O empirismo ainda adicionado ao tema deveria ser substituído por parâmetros físicos mensuráveis (BAUER, 2005).

Do ponto de vista tecnológico, a trabalhabilidade é avaliada a partir do ensaio de consistência da argamassa, com o ensaio nomartizado pela NBR 13276 de 2005.

### **2.2.5 Propriedades da argamassa no estado endurecido**

As propriedades no estado endurecido da argamassa estão diretamente ligadas a qualidade e durabilidade da mesma, sendo assim, o comportamento do material no estado endurecido, como a resistência mecânica, deve estar de acordo com o esperado para sua aplicação.

#### 2.2.5.1 Densidade, absorção de água e porosidade

Por definição, a densidade é a quantidade de massa contida em uma unidade de volume. Em misturas formadas a partir de duas ou mais matérias-primas, a densidade deve ser investigada, por se tratar de uma característica intimamente ligada com a resistência do material resultante. A partir do princípio de Arquimedes, é possível determinar a densidade unicamente com medidas de massa, com uma balança de precisão (MAZALI,2005).

A porosidade e absorção de água são características intimamente ligadas à variação da composição, aplicação e cura da argamassa. Também estão relacionadas à textura da superfície sobre a qual é aplicada. A porosidade influencia na durabilidade da argamassa, facilitando a entrada de umidade e ao crescimento de fungos. Dados da porosidade permitem investigações mais complexas, definindo parâmetros importantes no estudo de desempenho e durabilidade do material (QUARCIONI, 2009).

#### 2.2.5.2 Retração

O fenômeno de retração está relacionado à perda de água ao longo do tempo de cura, tendo como consequência a diminuição do volume do material. Acontecendo mesmo sem cargas aplicadas, a retração é comumente vista em materiais que usam cimento em sua formulação. A explicação disto é a necessidade de hidratação, onde 26 gramas de água são necessárias para hidratar apenas 100 gramas de cimento. Contudo o uso da água em quantidade adicional se dá em função da necessidade diferenciada de trabalhabilidade, requeridas para as diferentes aplicações. (BASTOS, 2006).

A retração pode atingir cerca de 7 mm por metro de pasta pura de cimento Portland, e é de grande importância para as características da pasta endurecida (BAUER, 2008). A retração é consideravelmente maior nos primeiros 90 dias do material. De fato, nos primeiros 7 dias, aproximadamente  $\frac{1}{4}$  da retração total já é observada, e em 28 dias,  $\frac{1}{2}$  da total (ALMEIDA, 2002).

No Brasil, a determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear) é normatizada pela NBR 15261 (2005).

### 2.2.5.3 Resistência mecânica

A resistência mecânica está relacionada à propriedade do revestimento de suportar as ações mecânicas de diferentes naturezas, como tensões internas de tração, compressão e cisalhamento (ABCP, 2003). A resistência mecânica é proporcional à redução da quantidade de agregado da argamassa, e inversamente proporcional à relação água/cimento.

A NBR 13279 (2008) descreve o método a ser utilizado para obtenção tanto da resistência à compressão, quanto da resistência à tração na flexão em argamassas.

## 2.3 NANOTITÂNIA

### 2.3.1 Processos de Oxidação Avançados

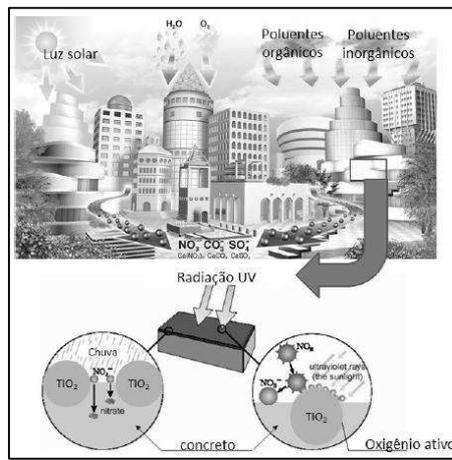
Novos processos de descontaminação ambiental estão surgindo, entre eles, os Processos de Oxidação Avançados (POA). Esses processos vêm atraindo grande interesse pelo fato de serem mais sustentáveis com o passar do tempo (NOGUEIRA, 1998). Esta tecnologia baseia-se em causar alterações físico-químicas nas estruturas dos poluentes atmosféricos. Alguns desses processos englobam a aplicação de luz, a qual pode-se citar a fotocatalise (PEREIRA, 2013)

### 2.3.2 Fotocatalise

A catálise sob efeitos de radiação de luz natural ou artificial é definida como fotocatalise. Foi descoberta por A. Fujishima e K. Honda, onde foi observado que deixando um eletrodo de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) em solução aquosa sob luz forte, bolhas de gás oxigênio evoluíram para a superfície da solução. No outro eletrodo, foi relatado a geração de gás hidrogênio, concluindo assim que água foi decomposta em hidrogênio e oxigênio. (FUJISHIMA e HONDA, 1972 apud OLIVEIRA, 2011).

A fotocatalise é um Processo de Oxidação Avançado (figura 3) que vem sendo objeto de estudos relacionados à purificação do ar, apresentando resultados promissores em relação à quebra e degradação de poluentes. O  $\text{TiO}_2$  é considerado atualmente o melhor fotocatalisador na degradação de poluentes orgânicos no meio aquoso, devido sua elevada estabilidade e poder de oxidação (DOMENECH, 1993, apud CASAGRANDE, 2012).

Figura 3 - Representação esquemática do processo fotocatalítico



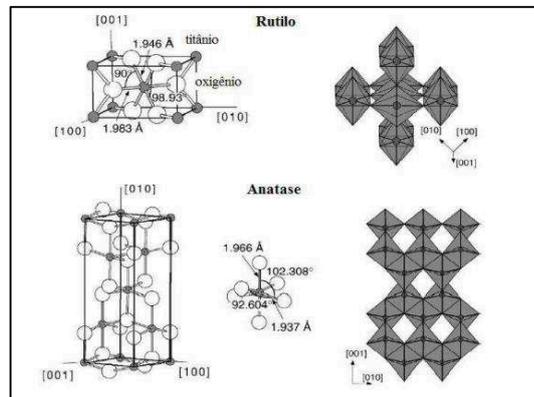
Fonte: (REGO, 2008, apud CASAGRANDE, 2012)

Os semicondutores apresentam potencial fotocatalisador devido as estruturas eletrônicas dos mesmos, que são caracterizados por duas bandas de energia. (OLIVEIRA, 2011). Os semicondutores são materiais cristalinos, como exemplo a anatásio.

### 2.3.3 Dióxido de titânio

O titânio é um elemento químico com grande afinidade com oxigênio, assim encontrado em maior parte como óxido. O dióxido de titânio é encontrado sob estruturas cristalinas, sendo elas a anatase, rutilo e Brookite. (MAIA, 2001 apud CASAGRANDE, 2012). A figura 4 representa as estruturas cristalinas da anatase e rutilo.

Figura 4 - Estruturas cristalinas da anatase e rutilo



Fonte: (BRANDÃO, 2008)

Segundo Berdahl e Akbari (2008, apud CASAGRANDE, 2012) o uso de  $\text{TiO}_2$  empregados em materiais com capacidade fotocatalítica é relacionada a diferentes vantagens, como: relativamente barato, seguro, atividade fotocatalítica alta, compatibilidade com outros materiais de construção.

### 2.3.3.1 Anatásio

A Anatásio é um dióxido de titânio encontrado sobre estrutura cristalina no sistema tetragonal, com cor e brilho variáveis. A Anatásio foi conhecida até pouco tempo, apenas no meio acadêmico, não comercial. Sua massa específica é de cerca de  $3,9 \text{ g/cm}^3$ , e sua dureza varia de 5,5 a 6,0 mohs (BALTAR et al., 2005 apud CASAGRANDE, 2012). A Anatásio é considerada a forma mais estável em escala nanométrica, sendo a fase mais estudada em aplicações utilizando nanotecnologia (BRANDÃO, 2008).

## 2.4 FIBRAS POLIMÉRICAS

As fibras (Fb) poliméricas tiveram seus primeiros estudos em 1965. Atualmente, as Fb mais comuns são produzidas a partir de polipropileno, nylon, poliéster,

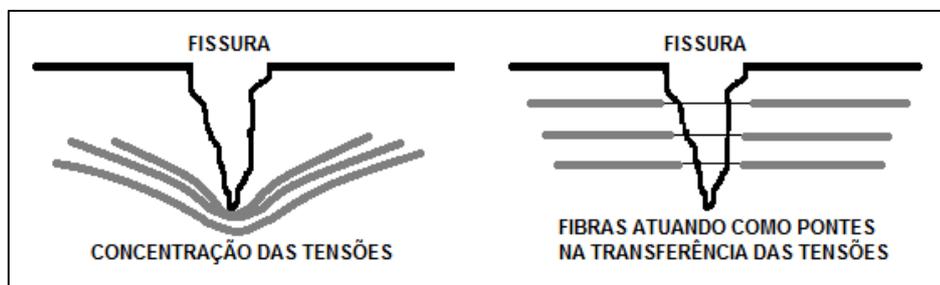
polietileno e celulose (TANESI e FIGUEIREDO, 1999). A sugestão do uso de Fb em misturas cimentícias está relacionada a melhorias de parâmetros físicos do material. Dependendo do material usado, e da concentração na mistura, as Fb podem influenciar em diferentes aspectos, como ductilidade, resistência à tração e compressão, absorção de energia, resistência à fissuração, entre outros. As propriedades e a eficiência das fibras são em função dos:

- Processos de transferência de carregamento entre matriz e fibras;
- Efeito “ponte” que as fibras provocam entre as fissuras, em estágios avançados.

Essas características são predominantes nos esforços de pós-fissuração, onde é necessária grande energia para arrancar as Fb, que se traduz em alta tenacidade desses materiais (BENTUR E MINDESS, 1990, apud TANESI e FIGUEIREDO, 1999).

A figura 5 demonstra o mecanismo com que a Fb atua como “ponte” através das fissuras.

Figura 5 - Mecanismos de atuação das Fbs nas fissuras



Fonte: (NUNES e AGOPYAN, 1998)

O efeito causado pela “ponte” de transferência promove, além de maiores esforços para o surgimento das primeiras fissuras, também maiores esforços até a ruptura do compósito. O efeito está relacionado ao fato das fibras continuarem suportando carregamento, durante o processo de descolamento e arrancamento das mesmas (TANESI E FIGUEIREDO, 1999). Segundo Bentur e Mindess (1990, apud TANESI e FIGUEIREDO, 1999), baixos teores de Fb, normalmente menores que

0,3%, atuam na redução de fissuras provocadas pela retração, problema comum em argamassas de revestimento.

#### **2.4.1 Fibra de polipropileno**

Os filamentos das Fb de polipropileno são extremamente finos, possuem baixo módulo de elasticidade, variando em torno de 8 Gpa, e sua resistência a tração é aproximadamente 400 MPa. Além disso, apresentam grande resistência ao ataque de substâncias químicas e álcalis (ONUKE E ASPARETTO, 2013).

As Fb de polipropileno adicionadas à matriz em baixos teores apresentam trabalhabilidade adequada para os usos convencionais e manipulação do concreto (TANESI e FIGUEIREDO, 1999).

A figura 6 representa as Fb de polipropileno.

Figura 6 - Fibras de polipropileno



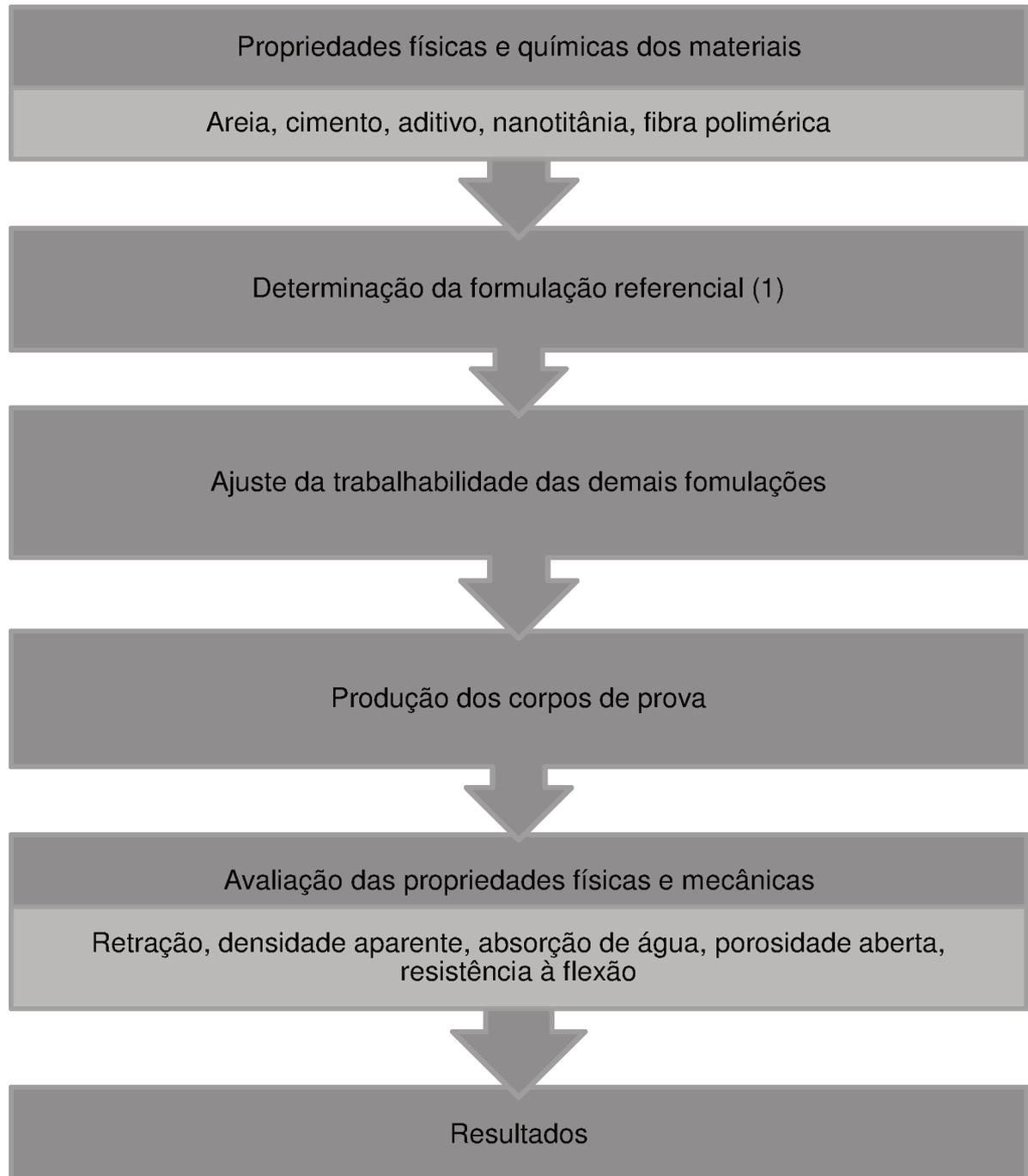
Fonte: Fibra para concreto

Disponível em: <<http://geofoco.com.br/produto/fibra-concreto>> Acesso em fev. 2014

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho seguiu uma série de etapas. Para melhor visualização da metodologia adotada, foi criado um fluxograma, apresentado na figura 7.

Figura 7 - Fluxograma das atividades



Fonte: Autor

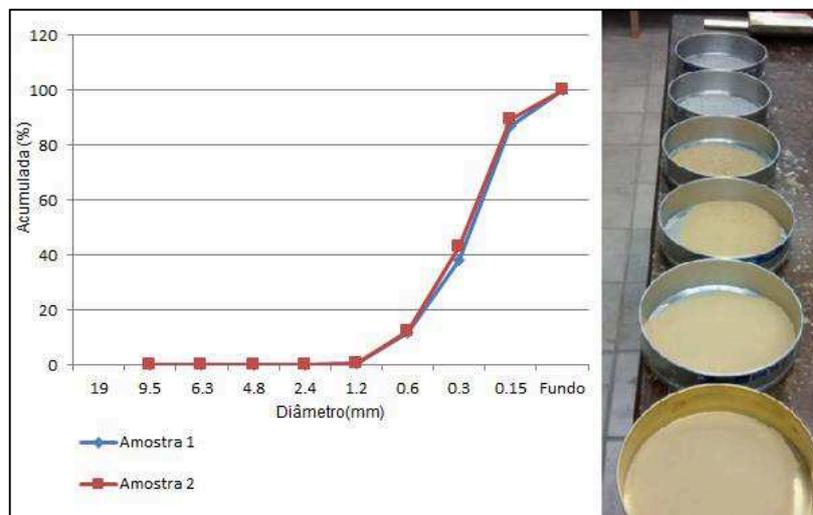
### 3.1 MATERIAIS

As matérias-primas e o traço utilizado na produção das argamassas foram escolhidos de acordo com aquelas empregadas pela empresa que trabalha com tijolos solo-cimento, exceto a nT e as Fb poliméricas.

#### 3.1.1 Areia

A areia foi classificada, de acordo com a empresa responsável pela sua comercialização, como areia fina, e confirmada através da distribuição granulométrica (NBR NM 248), (ver figura 8). A figura também ilustra a quantidade de areia retida em cada uma das peneiras do ensaio.

Figura 8 - Distribuição granulométrica da areia



Fonte: Autor

Segundo Bauer (2008), areia é classificada como fina quando os agregados estão na faixa 0,15 a 0,6 mm. De fato, a distribuição do tamanho dos grãos da areia mostra que a mesma se concentra nesta faixa, com a curva granulométrica se apresentando da forma contínua e uniforme.

### 3.1.2 Cimento

O cimento utilizado foi o Votoran CP II-Z-32 da Votorantim Cimentos. É um cimento comumente empregado em obras e possui de 76 a 94% de clínquer e gesso, além de 6 a 14% de pozolana. A composição química típica para esse tipo de cimento é dada na tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do cimento

Tipo do cimento	Composição (% em massa)				Norma brasileira
	Clinker + Gesso	Escória granulada	Material pozolâmico	Material cabonático	
Pozolâmico	85-45	-	15-50	0-5	NBR5736

Fonte: (Guia básico de utilização do cimento Portland, 2002)

### 3.1.3 Aditivo

O aditivo plastificante (figura 9) com nome comercial ALVENARIT (Empresa: VEDACIT IMPERMEABILIZANTES) foi utilizado na produção da argamassa. É um aditivo que proporciona melhora na trabalhabilidade em argamassas para reboco e assentamento. Influencia em propriedades como maior aderência, coesão, ausência de fissuras e menor exsudação. De coloração escura, sua composição química básica é de Resinato de Sódio, com densidade de 1,03 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 9 - Aditivo plastificante



Fonte: Autor

### 3.1.4 Nanotitânia

A nT utilizada foi a Aeroxide P25, Degussa (figura 10). Com elevado grau de pureza, é considerada um componente ativo para reações fotocatalíticas. Apresenta a proporção anatásio/rutilo/fase amorfa 78/14/8 % em peso, respectivamente. (OHTANI, 2010).

Figura 10 - Aeroxide P25



Fonte: Autor

O fabricante apresenta as principais propriedades do produto de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades e métodos de ensaio

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Área de superfície específica	m <sup>2</sup> /g	35 - 65
Valor de Ph em (4 % de dispersão )		3.5 - 4.5
Densidade	g/l	100 - 180
Dióxido de titânio	%	≥ 99.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	≤ 0.300
SiO <sub>2</sub>	%	≤ 0.200
Resíduo peneira 45µm	%	≤ 0.050

Fonte – (Product information AEROXIDE TiO<sub>2</sub> P25, 2015)

### 3.1.5 Fibra polimérica

A Fb polimérica (MAC 6, Macaferri) apresenta uma forma alongada típica, mostrada na figura 11. É produzida a partir de múltiplos filamentos, sendo indicada para o uso em concretos e argamassas, com o objetivo de gerar um composto homogêneo, controlando a fissuração por retração. As principais propriedades das Fb são mostradas na tabela 4.

Figura 11 - Fb MAC 6



Fonte : Autor

Tabela 4 - Propriedades físicas e mecânicas das Fb

<b>Diâmetro</b>	<b>µm</b>	<b>18</b>
<b>Seção</b>		circular
<b>Comprimento</b>	mm	6
<b>Alongamento</b>	%	80
<b>Matéria-prima</b>		polipropileno
<b>Peso Específico</b>	g/cm <sup>3</sup>	0,91
<b>Resistência a tração</b>	Mpa	300
<b>Módulo de Young</b>	Mpa	3.000
<b>Quantidade de fibras</b>	(kg <sup>-1</sup> )	600.000.000
<b>Área superficial específica</b>	m <sup>2</sup> /kg	225

Fonte : (FibroMac 6) Disponível em:<[http://lazarushn.com/wp-content/uploads/2012/07/fibromac\\_6.pdf](http://lazarushn.com/wp-content/uploads/2012/07/fibromac_6.pdf)> Acesso em abr, 2014.

## 3.2 MÉTODOS

Como requisito básico da investigação, a argamassa busca a trabalhabilidade exigida para o uso em tijolos solo-cimento. O tijolo solo-cimento é um material que absorve grande quantidade de água, necessitando de uma argamassa com maior fluidez. Por outro lado, a adição de nT e Fb tem como efeito a perda da trabalhabilidade. Com o objetivo de manter a trabalhabilidade constante, foram ajustados os teores de água adicionados na mistura.

Neste trabalho as Fb poliméricas foram adicionadas com o objetivo de verificar possíveis compensações dos efeitos causados pelo excesso da água. Com a intenção de estudar os efeitos causados pelas variações, estudos no estado fresco/endurecido foram realizados de acordo com as normas vigentes. O trabalho foi realizado no laboratório de materiais da UFSC campus Joinville, e contou com o apoio do laboratório de análise mecânica da UDESC campus Joinville.

A metodologia empregada neste trabalho foi desenvolvida para avaliar a influência da nT e Fb usados como adições em argamassa. Dada as características físicas distintas entre as adições, teores diferentes foram utilizados. A nT foi usada em teores de 0 a 1,0%, enquanto a Fb entre 0 a 0,1%, ambos em relação ao sólidos totais. Os teores escolhidos foram com base no artigo científico (OHTANI B, 2010). O cimento, areia, e plastificante mantiveram-se constantes.

Como estratégia de pesquisa, a trabalhabilidade ficou mantida constante. Por isso, dosagens distintas de água foram utilizadas. Formulações extras foram produzidas para avaliar o efeito da água sobre os resultados. Neste caso, amostras com teores de água igual à amostra referência (sem adições de Fb e nT) foram produzidas.

### 3.2.1 Determinação da composição de referência (1)

A formulação 1 deste trabalho foi definida de acordo com a aplicação no tijolo solo-cimento, observada em obra:

- 1/7 de areia em relação ao cimento;
- 1% do plastificante Alvenarit em relação ao cimento.

### 3.2.2 Determinação das demais formulações.

As formulações 2 a 6 (tabela 5) foram determinadas com base na formulação 1, porém com adição de nT e Fb:

- 0.0 e 1.0 % de nT em em relação aos sólidos totais;
- 0.0, 0.05, e 0.1 % de Fb em em relação aos sólidos totais.

Tabela 5 - Variação da % das formulações em função da nT e Fb

	<i>Fb</i>			
	%	0,000	0,050	0,100
<i>nT</i>	1,0	2	4	6
	0,0	1	3	5

### 3.2.3 Ajuste da trabalhabilidade das argamassas

O valor do diâmetro do espalhamento na mesa ( $260 \pm 5$  mm) para a amostra 1 foi baseado no traço empregado em obra. O ajuste da água para as demais formulações foi com base no mesmo valor de abertura. Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais de construção da UFSC/Joinville, de acordo com a NBR 13276 (2005).

A figura 12 mostra o equipamento utilizado para o respectivo ensaio.

Figura 12 - *Flow table*

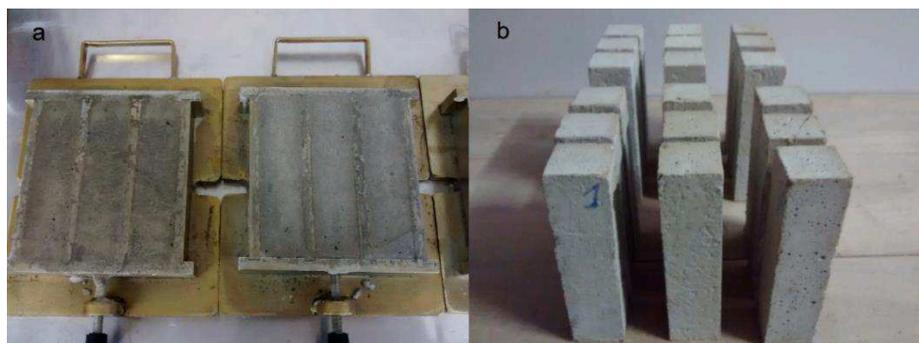
Fonte: Autor

### 3.2.4 Produção dos corpos de prova

#### 3.2.4.1 Corpos de prova para ensaios de resistência à flexão

A produção dos corpos de prova 4 x 4 x 16 cm foi realizada de acordo com a NBR 13279 (2005). Foram produzidos 3 corpos de prova para cada das formulações. Todos os equipamentos necessários foram disponibilizados pelo laboratório de materiais da UFSC/Joinville. A figura 13 (a) mostra os corpos de prova dentro dos moldes e a figura 13 (b) os mesmos após a desmoldagem.

Figura 13 – Corpos de prova



Fonte: Autor

Adicionalmente, foram produzidos 3 corpos de prova para as formulações 2, 5 e 6, com a relação a/c igual a formulação 1. A produção de corpos de prova com a relação a/c constante foi feita com a intenção de comparar resultados com os corpos de prova onde a relação a/c sofreu variações. Esse processo permite verificar o impacto que a adição de água traz aos resultados.

#### 3.2.4.2 Corpos de prova para ensaios de retração das argamassas

Devido a dificuldade no processo de desmoldagem, onde os corpos de prova se rompem facilmente, foram produzidos 2 corpos de prova para cada formulação, de 1 a 6, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm. A produção ocorreu no laboratório de materiais de construção da UFSC/Joinville, seguindo a NBR 15261 (2005). A figura 14 mostra os corpos de prova após a desmoldagem.

Figura 14 - Corpos de prova para ensaio de retração das argamassas



Fonte: Autor

#### 3.2.5 Densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta das argamassas

Para avaliar as propriedades físicas de densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta, foram necessários os valores das massas seca, superfície seca

e imersa. Todos os procedimentos (figura 15) foram realizados no laboratório de materiais de construção da UFSC/Joinville, seguindo a NBR 9778 (2006).

O procedimento (figura 15) seguiu a ordem:

1. Secagem das amostras em estufa, por 24 horas, em uma temperatura  $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
2. Pesagem das amostras secas;
3. As amostras são imersas em água por 72 horas;
4. A amostra é pesada imersa;
5. É realizada a secagem da superfície da amostra. Após é feita a pesagem da mesma.

Figura 15 - Procedimento para determinação das propriedades físicas das argamassas



Fonte: Autor

Para o cálculo das propriedades são utilizadas as fórmulas 1, 2 e 3 a seguir:

$$1 - \text{Densidade aparente} = \frac{m_s}{m_{ss} - m_i}$$

$$2 - \text{Absorção de água} = \frac{m_{sss} - m_s}{m_s} \cdot 100$$

$$3 - \text{Porosidade aberta} = \frac{m_{sss} - m_s}{m_{sss} - m_i} \cdot 100$$

Onde:

- Ms = massa seca;
- Mi = massa imersa;
- Msss = massa superfície saturada seca.

### 3.2.6 Retração das argamassas

O ensaio para medir a retração (figura 16) foi realizado no laboratório de materiais de construção da UFSC/Joinville, seguindo a NBR 15261 (2005). Os corpos de prova foram medidos em 1, 7 e 28 dias de cura.

Figura 16 - Equipamento para determinação de retração das argamassas



Fonte: Autor

Abaixo esta indicada a equação usada para o cálculo.

$$\text{Retração (et)} = \frac{Dl}{C} \cdot 100$$

Onde:

- $e_t$  = contração no tempo (%);
- $Dl$  = variação do comprimento (mm);
- $C$  = comprimento efetivo do provete (mm).

### 3.2.7 Resistência a flexão das argamassas

Os ensaios mecânicos de resistência à flexão (figura 17) foram realizados no laboratório de caracterização de materiais da UDESC/Joinville. A imagem a mostra a realização do ensaio, enquanto a figura b ilustra o corpo de prova após o ensaio. Os corpos de prova foram ensaiados com 28 dias de cura, seguindo a NBR 13279 (2005).

Figura 17 - Ensaio de tração na flexão



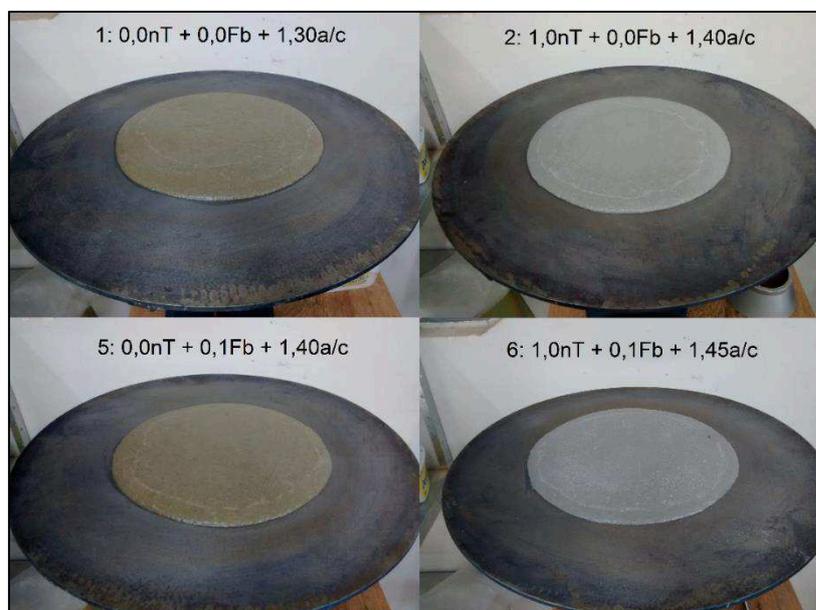
Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DEFINIÇÃO DA RELAÇÃO A/C DAS ARGAMASSAS

Como esperado, a adição de  $nT$  e  $Fb$  causou a perda de trabalhabilidade na argamassa. Com o objetivo de manter a trabalhabilidade invariável, foi adotado um valor com abertura padrão de  $260 \pm 5$  mm, variando apenas a relação a/c para as diferentes formulações. A figura 18 ilustra o resultado do ensaio.

Figura 18 - Ajuste da relação a/c das argamassas



Fonte: Autor

Os resultados do teores a/c são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Resultado do ajuste da consistência na mesa

		<b><i>Fb</i></b>		
		<b>0.000</b>	<b>0.050</b>	<b>0.100</b>
<b><i>nT</i></b>	<b>1.0</b>	2 = 1,4	4 = 1,43	6 = 1,45
	<b>0.0</b>	1 = 1,3	3 = 1,35	5 = 1,40

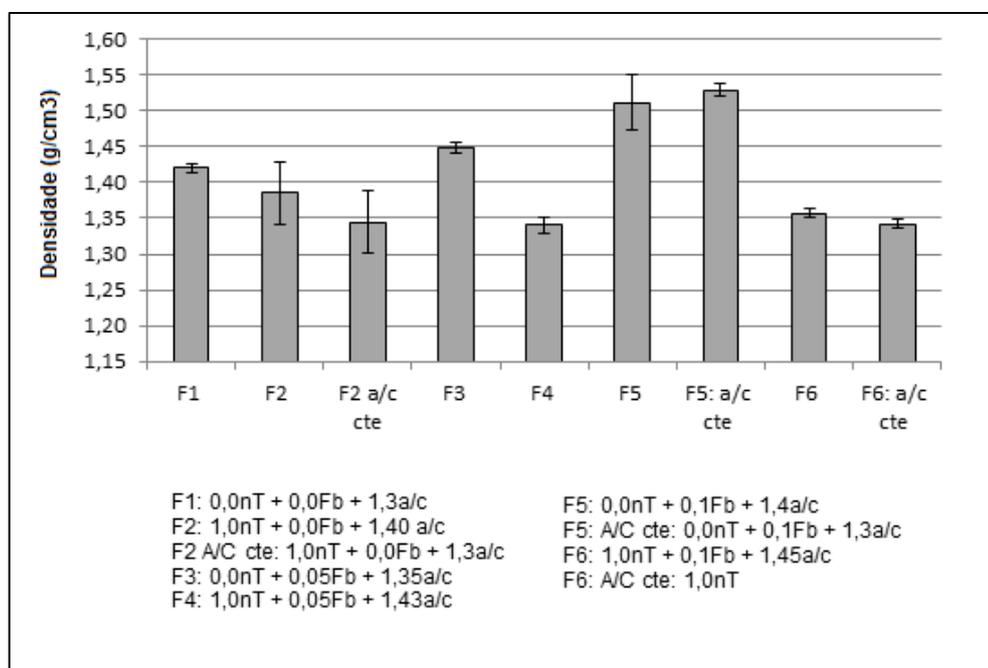
Fonte: Autor

## 4.2 DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE ABERTA

Os resultados obtidos das propriedades de densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta são informações úteis para estudar a retração e a resistência à tração.

A figura 19 apresenta os resultados obtidos da densidade aparente das argamassas após 28 dias de cura.

Figura 19 - Densidade aparente das argamassas com 28 dias de cura

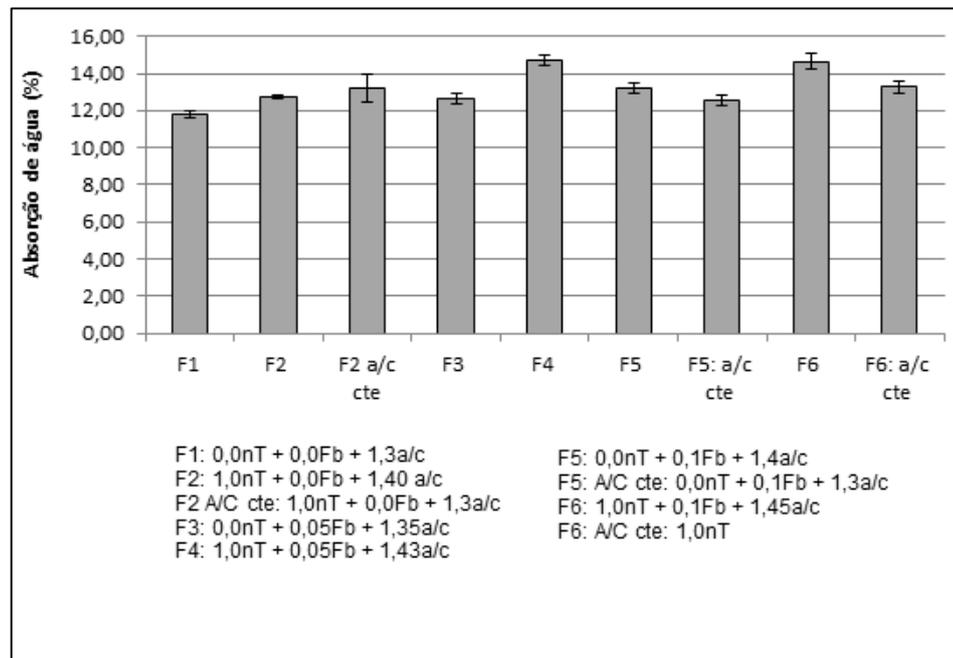


Fonte: Autor

Em geral, as amostras apresentaram comportamentos distintos em relação à densidade aparente. No caso das amostras com adição de nT, o resultado tendeu a densidades menores quando comparados as demais formulações. Esse resultado pode ser explicado pela baixa densidade da nT (0,1 a 0,18 g/cm<sup>3</sup>), quando comparada as demais matérias-primas. As formulações com adição de Fb apresentaram, em geral, um aumento na densidade. Entretanto, considerando o desvio-padrão, a variação é pequena.

Os resultados da absorção de água das argamassas com 28 dias de cura são mostrados na figura 20.

Figura 20 - Absorção de água das argamassas com 28 dias de cura



Fonte: Autor

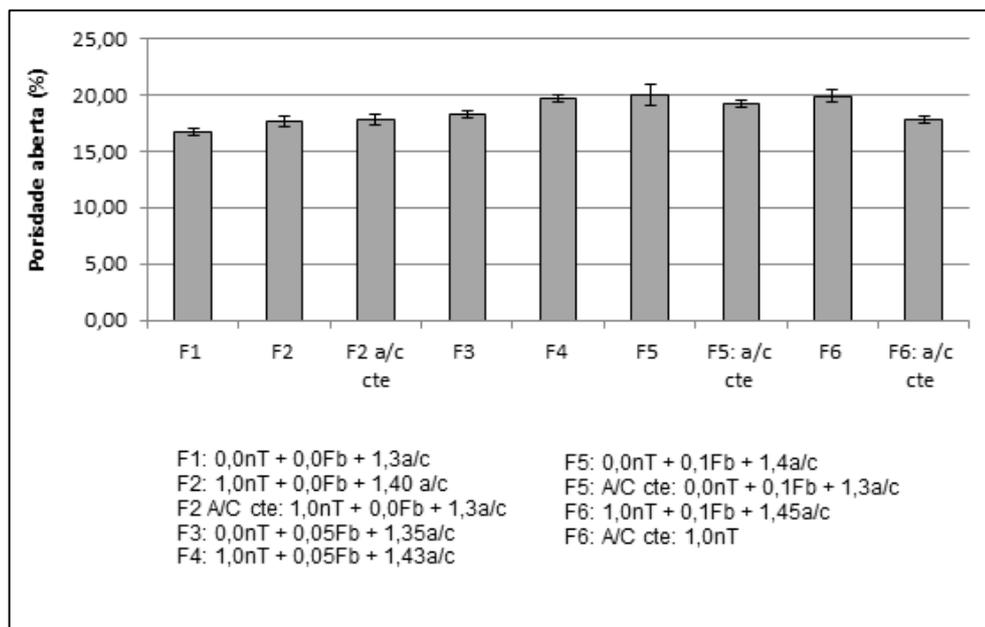
Na maioria dos casos os valores obtidos mostraram uma relação inversa à densidade. De fato, os resultados mostram isso, onde em geral as amostras com nT apresentaram os maiores valores. Entretanto isto pode ser entendido como uma tendência, visto a proximidade dos resultados entre todas as formulações. As formulações apenas com Fb não apresentaram variação considerável fora do desvio padrão, em relação a referência.

Os resultados da porosidade aberta das argamassas com 28 dias de cura são apresentados na figura 21.

Como a absorção de água, na maioria dos casos a porosidade também é uma propriedade inversa à densidade. Considerando que as variações (fora do desvio padrão) foram pequenas, os resultados mostram uma tendência a maiores valores da porosidade em argamassas com as adições de nT.

Com relação as argamassas com adição de Fb, os resultados da porosidade aberta também apresentaram maiores valores, tal como foi observado na absorção de água. Entretanto, a densidade aparente não mostrou claramente uma redução como seria esperado, quando o desvio-padrão é levado em consideração. Indicando, com isso, que a densidade aparente é menos influenciada pela presença da Fb quando comparada as duas propriedades mencionadas.

Figura 21 - Porosidade aberta das argamassas com 28 dias de cura



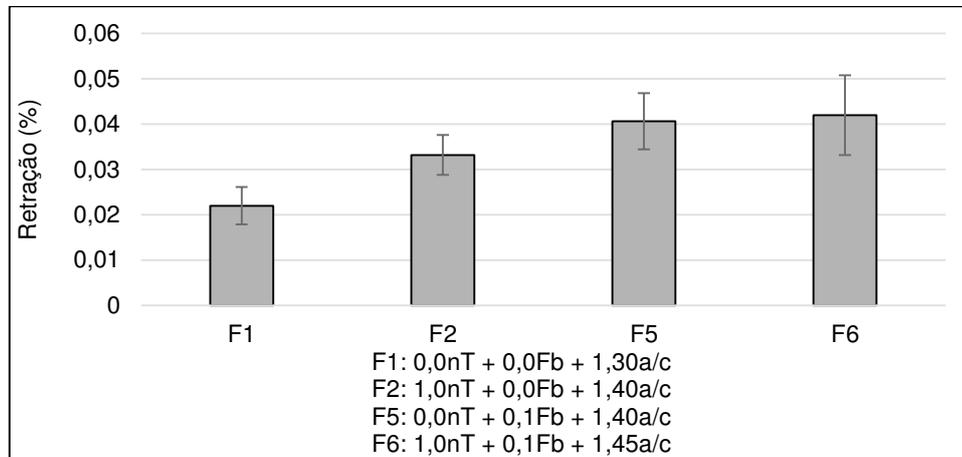
Fonte: Autor

### 4.3 RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A retração é uma propriedade diretamente proporcional à porosidade. Dados da retração em 7 dias (figura 22) e 28 dias (figura 23) foram verificados.

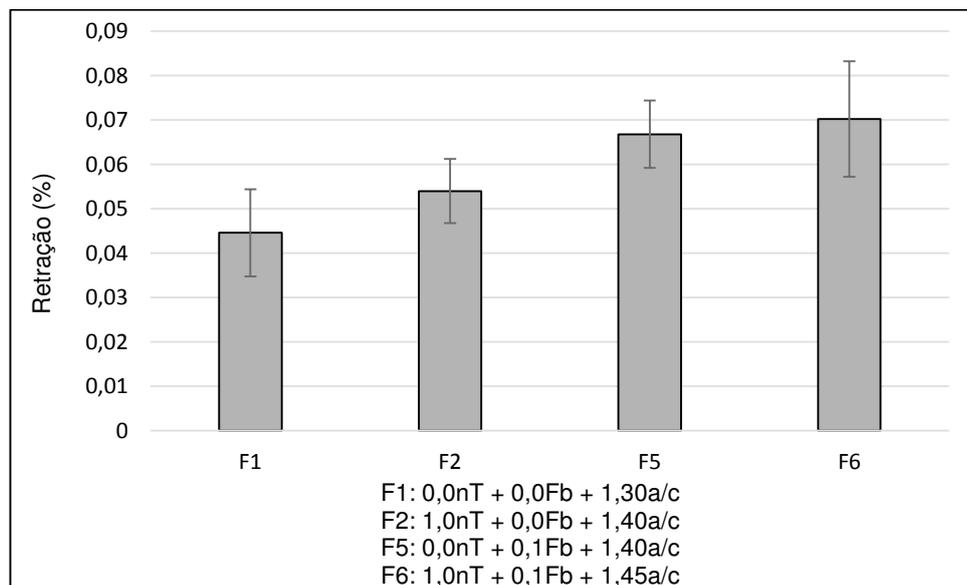
Os resultados da retração das argamassas mostram a tendência das argamassas com adições de nT e Fb retraírem mais que a referência. Os dados da retração podem ser explicados pelos resultados verificados na porosidade aberta das argamassas. A retração é diretamente proporcional a porosidade, onde, de fato, os resultados se comportaram dessa maneira.

Figura 22 - Retração das argamassas com 7 dias de cura



Fonte: Autor

Figura 23 - Retração das argamassas com 28 dias de cura



Fonte: Autor

Considerando o desvio padrão, os materiais com adição tenderam a maiores valores de retração que a referência, evidenciando a influência da nT e da Fb na propriedade física.

#### 4.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à flexão são apresentados nas figuras 24 a 32. Para cada formulação (F), foram ensaiados 3 corpos de prova, onde foram obtidos os dados de tensão/deformação com 28 dias de cura.

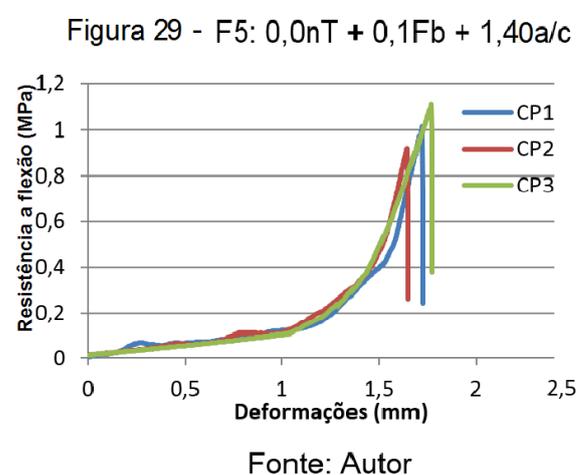
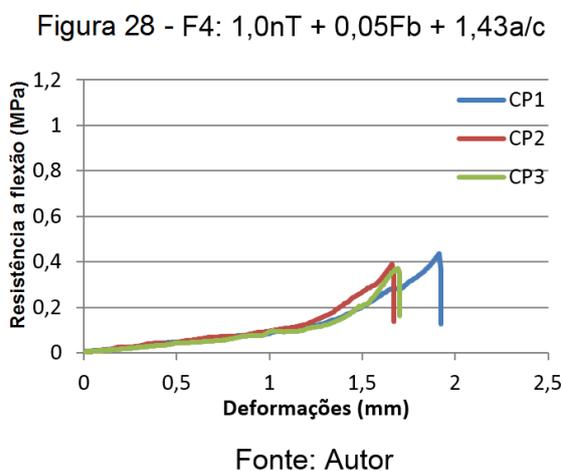
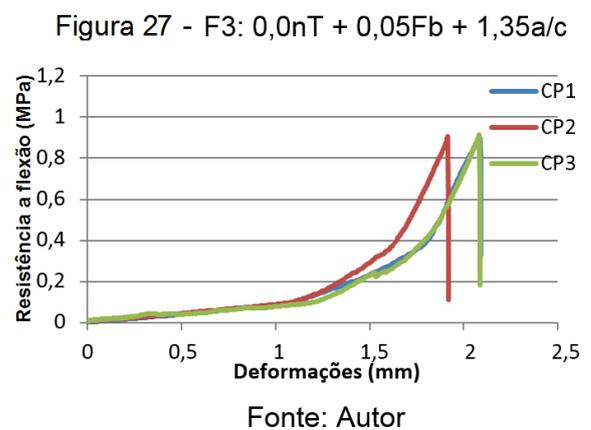
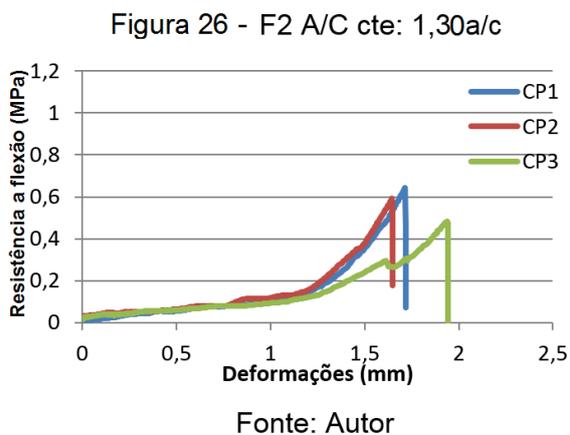
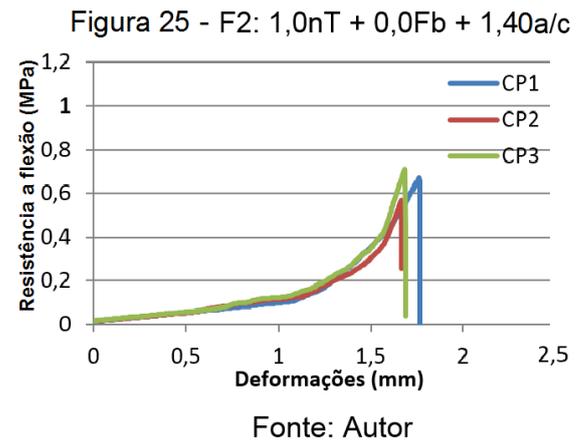
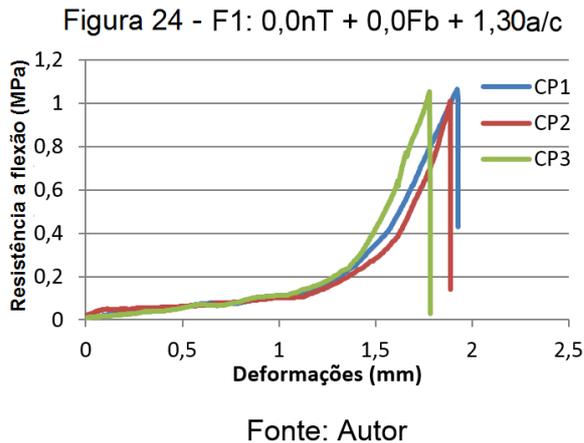
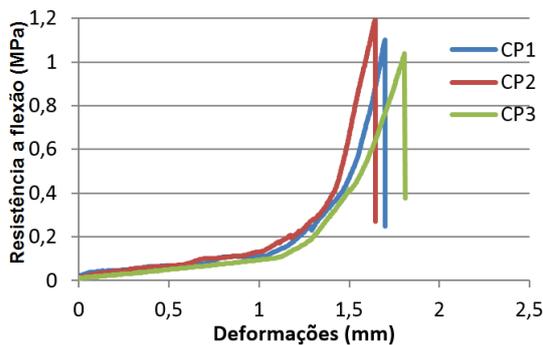
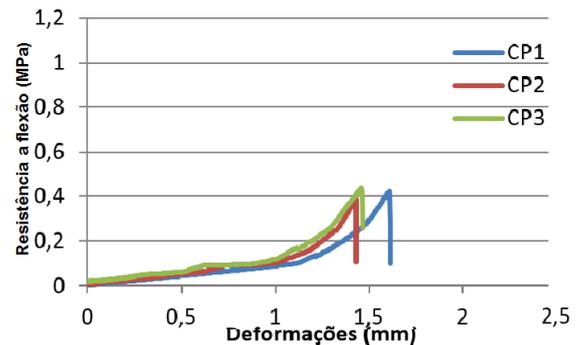


Figura 30 - F5 A/C cte: 1,30a/c



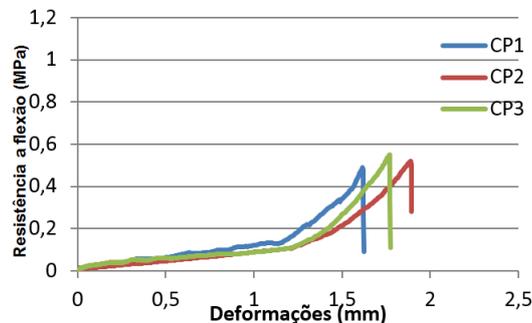
Fonte: Autor

Figura 31 - F6: 1,0nT + 0,1Fb + 1,45a/c



Fonte: Autor

Figura 32 - F6 A/C cte: 1,30a/c



Fonte: Autor

Os resultados de resistência à flexão das argamassas seguiram o comportamento esperado, sendo uma função direta da densidade. Os resultados evidenciam a tendência de perda de resistência nas formulações com a nT, podendo estar ligados a pequena densidade da nT (0,1 a 0,18 g/cm<sup>3</sup>), como também pela mesma ocupar parte do espaço que seria preenchido com cimento (material que fornece a resistência). Diferentemente da resistência, a deformação observada nas amostras com nT foi semelhante as demais formulações do estudo.

As formulações com adição da Fb não apresentaram melhora significativa na resistência a flexão ou deformação, quando comparada as demais formulações. Esses resultados mostram que a adição de Fb, em geral, não compensou as perdas na resistência a tração causados pela nT.

Um comportamento importante das fibras pode ser observado nas figuras (24 a 32), onde a resistência após a ruptura tendeu a ser mais alta do que as formulações

sem a adição. Este comportamento da Fb, que fornece alguma resistência após a ruptura (através do efeito “ponte”), pode ser fundamental para determinadas situações no uso do material, como durabilidade e diminuição da propagação da fissuração. A figura 33 ilustra a fissura em um corpo de prova após o ensaio de flexão. É possível verificar o “efeito ponte”, onde as fibras ainda fornecem alguma resistência ao material.

Figura 33 - Transferência das tensões no corpo de prova (efeito “ponte”)



Fonte: Autor

A figura 34 ilustra com maiores detalhes as Fb, logo após o rompimento do corpo de prova.

Figura 34 - Fb no corpo de prova



Fonte: Foto do Autor

## 5. CONCLUSÕES

A adição de nT e Fb afetaram as propriedades físicas e mecânicas das argamassas em diferentes níveis.

As argamassas com nT, em geral, apresentaram valores inferiores de densidade, e superiores de absorção de água, porosidade e retração, quando comparados com as demais formulações. Já as argamassas com adição de Fb mostraram valores superiores de densidade, absorção de água, porosidade e retração, em relação às demais formulações.

As formulações com a adição de nT apresentaram, em alguns casos, maiores perdas na resistência à flexão, todavia, sem perda significativa em termos de deformação. As argamassas com adição de Fb não apresentaram melhoras significativas, tanto na resistência à flexão quanto na deformação. Entretanto, foi verificado um efeito importante da adição da Fb, onde a argamassa manteve parcela da resistência, mesmo após a primeira fissura. O efeito “ponte” pode ser entendido como o diferencial da Fb neste trabalho, onde as fibras seguem transportando alguma quantidade de tensão, após o rompimento da matriz.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas questões e comportamentos não foram explorados. Esses assuntos podem ser de interesse para trabalhos futuros, como:

- Estudo das adições nT e Fb com outros traços areia/cimento;
- Ajuste de teor ótimo da adição de Fb buscando melhores resultados das propriedades mecânicas;
- Estudo do efeito fotocatalítico em argamassas que contenham além da nT a Fb;
- Estudo de argamassas que adicionem a nT e a Fb, sem o uso de aditivos;

## REFERÊNCIAS

Guia básico de utilização do cimento Portland. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf)> acesso em: 12 abr. 2015.

ALMEIDA L.C. **Concreto**. Notas de aula. UNICAMP. Campinas, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM NO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manuela de revestimentos de argamassa**. Manual. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica: requisitos. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7175**: cal hidratada para argamassa: requisitos. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7215**: cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos -Determinação da absorção de água porimersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2006. 3 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11172**: aglomerantes de origem mineral. Rio de Janeiro, 1990. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11578**: cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13281:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto: requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação a resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15261:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005. 6p.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado.** Notas de aula. UNESP. Bauru, 2006.

BAUER, E. Et al. **Revestimentos de argamassa: Características e peculiaridades.** UNB – Brasília. 2005.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção / Volume 1.** LTV – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A / Rio de Janeiro. 2008

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fiber reinforced cementitious composites.** London: Elsevier Applied Science. 1990.

BRADÃO, F.D. **Identificação, quantificação e controle de defeitos em monocristais e nanopartículas de TiO<sub>2</sub>.** Dissertação de mestrado. UFMG – Belo Horizonte, 2008.

CARVALHO, E.F.T. **Materiais de construção I – CIV237.** Apostila. UFOP. Escola de Minas, 2002.

CASAGRANDE, C.A. **Estudo da incorporação de partículas de titânia em argamassas fotocatalíticas.** Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis Vila Real, 2012.

FREITAS, L.E.A. Et al. **Cartilha para produção de tijolo solo-cimento**. Cartilha – FUNTAC – Rio Branco, 1999.

MAZALI, I.O. **Determinação da densidade de sólidos pelo método de Arquimedes**. Apostila. UNICAMP – Campinas, 2005.

MORETT, H.T. **A importância da inserção dos sistemas construtivos de solo-cimento no processo de industrialização da construção**. Dissertação de mestrado. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 2003

NEVES, C. **O uso do solo-cimento em edificações. A experiência do CEPED**. CEPED. São Vicente, 2002.

NOGUEIRA, R. **A fotocatalise heterogénea e sua aplicação ambiental**. Artigo científico. UNICAMP. Campinas, 1998.

NUNES, N. L ; AGOPYAN, V.; **A influência do fator de forma da fibra na tenacidade à flexão do concreto reforçado com fibras de aço**. Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1998.

OHTANI B, PRIETO-MAHANEY OO, Li D, Abe R. **What is Degussa (Evonik) P25? Crystalline composition analysis, reconstruction from isolated pure particles and photocatalytic activity test**. J Photochem Photobiol Chem ; 216:179–82, 2010.

OLIVEIRA, V.V. **Síntese de nanofitas de titanatos de sódio com potencial fotocatalítico bactericida**. Dissertação de mestrado. UFSC – Florianópolis, 2011.

ONUKEI, M.A.F. GASPARETTO, P.A. **Comparativo da propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de polipropileno**. Trabalho de conclusão de curso. UFPR– Curitiba, 2013.

PEREIRA, A.R.S. **Preparação e estudo da atividade fotocatalítica de titânia pura e dopada**. Dissertação de mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e AltoDouro. Vila Real, 2003.

QUARCIONI, V.A. Et al. **Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes**. Artigo científico. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Porto Alegre, 2009.

REGO, E.B.M. **Fotodegradação de soluções de laranja II e efluentes da indústria têxtil por camadas de TiO<sub>2</sub> e ZnO, serigrafadas em peças cerâmicas.** Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro. 2008.

RIBEIRO, M.S. **A industrialização como Requisito para aRacionalização da Construção.**Tese de mestrado. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 2002.

ROMANO, C.A. **Apostila de tecnologia do concreto.** Apostila. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2004.

SILVEIRA, R.E. **Plano de negócio para implantação da indústria Onda Verde tijolos ecológicos.** Trabalho de conclusão de estágio. UNIVALI – Biguaçu, 2011

SIQUEIRA, J.E.L. Utilização de fibras naturais e sintéticas em aramassa**Construções sustentáveis na engenharia civil.** Trabalho de conclusão de curso. UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI – São Paulo, 2007.

TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. **Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP).** Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

**VEDACIT.** Produto. Disponível em:<<http://www.vedacit.com.br/neu/produtos.php?9>  
Acesso em: 22 de abr. 2015.

VARELA, R.F. **Apostila de materiais de construção.** Apostila. IFRN - Natal, 2011.