

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

Julio César da Silva

**A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO E VERMICULITA
EXPANDIDA EM ARGAMASSAS COM NANOTITÂNIA**

Joinville, 2015

Julio César da Silva

**A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO E VERMICULITA
EXPANDIDA EM ARGAMASSAS COM NANOTITÂNIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Joinville.

Orientador: Dr. Eng. Luciano Senff

Joinville, 2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela conclusão de mais uma etapa e por se fazer presente em minha vida, me capacitando e tornando realidade os meus sonhos.

A minha mãe Sueli e meu pai Osvi, pelo amor incondicional, pelos sábios conselhos e ensinamentos, e pelo total incentivo e apoio durante toda essa trajetória.

Ao meu irmão André, amigo e companheiro que sempre me apoiou.

A minha namorada Josiane, que com muito carinho me apoiou, incentivou, estando presente em todos os momentos.

Ao professor Luciano Senff, que com muita paciência e dedicação me orientou tornando possível a realização deste trabalho.

Aos amigos Vinicius, Murilo, Iury, Juliano, Priscilla e Ana que fizeram parte dessa caminhada, através de estudos, trabalhos e momentos de descontração.

Aos integrantes da banca examinadora, pelo aceite do convite para participação.

E também a UFSC de Joinville e a todos os professores que através dos conhecimentos transmitidos, contribuíram para a minha formação acadêmica.

RESUMO

O desenvolvimento de argamassas com o uso de materiais não convencionais instiga os pesquisadores no mundo inteiro, pela busca por novas técnicas e aplicações que viabilize sua utilização, melhora do desempenho, redução das patologias e, conseqüentemente, o aumento da durabilidade. De fato, a incorporação de adições na mistura influencia diretamente nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas. O presente trabalho de pesquisa avaliou a influência das adições de vermiculita expandida (VER) de 0 a 8% (em massa) e fibras de polipropileno (Fb) de 0 a 0,2% (em massa), sobre as propriedades no estado fresco e endurecido (até 28 dias) de uma argamassa comercial com teor de nanotitânia (nT) constante em 0,8%. A trabalhabilidade definida pela mesa de consistência foi mantida constante, através de dosagens distintas de água na mistura. Densidade aparente, porosidade aberta, absorção de água, retração e resistência à flexão foram as principais propriedades avaliadas. A presença das adições influenciaram significativamente as referidas propriedades em diferentes níveis. Argamassas com VER apresentaram variações relevantes em todas as propriedades, em particular para o teor de 8%. A referida influência também está associada à quantidade de água necessária para a manutenção da trabalhabilidade constante. A presença da Fb apresentou pouca influência sobre as propriedades, sendo a mais importante à resistência residual após a ruptura da matriz, impedindo a ruptura total imediata do material após alcançar a resistência máxima, bem como a propagação de fissuras. Com base nos resultados obtidos observou-se que a formulação com 4% VER e 0,1% Fb foi aquela que melhor desempenho mostrou em termos gerais sem maiores impactos negativos nas propriedades estudadas nesse trabalho.

Palavras-chave: Argamassa. Nanotitânia. Vermiculita expandida. Fibras de polipropileno.

ABSTRACT

The development of mortars with the use of non-conventional materials instigates the researchers throughout the world, by the search for new techniques and applications that makes its use, performance improvement, reduction of pathologies and consequently increase the durability. In fact, the incorporation of additions in mixture influences directly in the physical and mechanical properties of the mortar. This research work evaluated the influence of additions of expanded vermiculite (VER) from 0 to 8% (mass) and polypropylene fibers (Fb) of 0 to 0.2% (mass), about the properties in the fresh state and hardened (up to 28 days) of a commercial mortar with nanotitânia content (nT) constant at 0.8%. The workability defined by the Bureau of consistency was kept constant, through different dosages of water in the mixture. The apparent density, porosity, water absorption, retract and flexural strength were the main properties evaluated. The presence of additions significantly influenced those properties in different levels. Mortars with VER showed variations relevant in all properties, in particular for the content of 8%. The referred to influence also this associated with the amount of water necessary for the maintenance of constant workability. The presence of Fb showed little influence on the properties, the most important being the residual strength after the rupture of the matrix, preventing the total rupture of the material after achieving immediate maximum resistance, as well as the propagation of cracks. Based on the obtained results it was observed that the formulation with 4% VER and 0.1% Fb was the one that showed better performance in general terms without major negative impacts in the properties studied in this work.

Keywords : Mortar. Nanotitânia. Expanded vermiculite. Polypropylene fibers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Camadas de revestimento, (A) Camada mista (Chapisco, Emboço, Reboco e Pintura), (B) Camada única (chapisco e pintura), (C) Revestimento decorativo monocamada (RDM).	16
Figura 2: Estrutura das fases de TiO ₂ : (a) Anatásio, (b) Rutilo e (c) Brookite.....	23
Figura 3: Minério de Anatásio.....	24
Figura 4: Fotocatálise heterogênea: Partícula do semicondutor	25
Figura 5: Fibras de polipropileno: (a) fibriladas; (b) monofilamentos.....	26
Figura 6: Esquema de concentração de tensões: (a) sem reforço de fibras; (b) com reforço de fibras	27
Figura 7: Fotografias de amostras de vermiculita (Santa Luzia, PB): (a) vermiculita natural; (b) vermiculita expandida	31
Figura 8: Plano experimental.....	35
Figura 9: Aeroxide P25.....	36
Figura 10: Fibras de polipropileno FibroMac 6	37
Figura 11: Vermiculita Expandida Terra Mater	38
Figura 12: Curva granulométrica da VER.....	39
Figura 13: (a) Mesa para determinação da consistência; (b) Cone, soquete e régua	41
Figura 14: Corpos de prova para ensaios de propriedades físicas	41
Figura 15: Secagem na estufa	42
Figura 16: Pesagem de massa seca	42
Figura 17: Amostras imersas em água.....	42
Figura 18: Pesagem de massa imersa.....	42
Figura 19: Pesagem massa saturada de superfície seca.....	43
Figura 20: Corpos de prova para ensaio de retração	44
Figura 21: Comparador de expansibilidade.....	45
Figura 22: Corpos de prova para ensaio de flexão.....	46
Figura 23: Ensaio de flexão da argamassa de referência	46
Figura 24: Ajuste da trabalhabilidade das argamassas	48
Figura 25: Densidade Aparente das argamassas aos 28 dias de cura	49
Figura 26: Porosidade Aberta das argamassas aos 28 dias de cura	50
Figura 27: Absorção de água das argamassas aos 28 dias de cura.....	51

Figura 28: Retração das argamassas com 7, 14, 21 e 28 dias de cura	52
Figura 29: Resistência à flexão das argamassas com 28 dias de cura.....	54
Figura 30: Efeito ponte gerado pela Fb na matriz	55
Figura 31: Acúmulo de Fb no interior das argamassas	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química das vermiculitas nas principais jazidas brasileiras ..	33
Tabela 2: Ficha técnica da argamassa Euromax	36
Tabela 3: Propriedades físicas da nanotitânia.....	37
Tabela 4: Características técnicas das fibras de polipropileno.....	38
Tabela 5: Características técnicas da Vermiculita Expandida.....	39
Tabela 6: Variação dos teores de fibra de polipropileno e vermiculita nas argamassas.....	40
Tabela 7: Relação entre água e sólidos totais.....	47
Tabela 8: Fator de ajuste da trabalhabilidade das argamassas	47

LISTA DE ABREVIACÕES

Fb	Fibra
nT	Nanotitânia
PE	Polietileno
PET	Politereftalato de etileno
POA	Processos oxidativos avançados
PP	Polipropileno
REF	Referência
TiO ₂	Dióxido de Titânia
VER	Vermiculita

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. ARGAMASSAS	14
2.1.1. Definição e Aplicações	14
2.1.2. Propriedades das argamassas no estado fresco	17
2.1.3. Propriedades das argamassas no estado endurecido	19
2.1.3.1. <i>Resistência mecânica</i>	19
2.1.3.2. <i>Retração</i>	20
2.1.3.3. <i>Absorção de água</i>	21
2.1.3.4. <i>Porosidade Aberta</i>	21
2.2. DIÓXIDO DE TITÂNIA	22
2.2.1. Anatásio	23
2.2.2. Fotocatálise heterogênea com TiO₂	24
2.3. FIBRAS DE POLIPROPILENO	25
2.3.1. Aplicações	26
2.3.2. Propriedades físicas, químicas e mecânicas	28
2.3.3. Vantagens e limitações de uso	29
2.4. VERMICULITA EXPANDIDA	30
2.4.1. Definição e Aplicações	30
2.4.2. Propriedades físicas, químicas e mecânicas	31
2.4.3. Vantagens e limitações de uso	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	36
3.1.1. Argamassa	36
3.1.2. Nanotitânia (nT)	36
3.1.3. Fibra de Polipropileno (PP)	37
3.1.4. Vermiculita Expandida (VER)	38
3.2. PREPARO DAS ARGAMASSAS	40
3.2.1. Determinação das formulações	40
3.3. ENSAIO NOS ESTADOS FRESCOS E ENDURECIDOS	40
3.3.1. Índice de Consistência	40

3.3.2. Determinação de propriedades físicas	41
3.3.3. Ensaio de retração.....	44
3.3.4. Ensaio de flexão	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1. TRABALHABILIDADE	47
4.2. DENSIDADE APARENTE	49
4.3. POROSIDADE ABERTA.....	50
4.4. ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	51
4.5. RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS	52
4.6. RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO	53
5. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

As argamassas são utilizadas em grande quantidade para as mais diversas aplicações em todo o mundo. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o consumo de cimento em 2014, um dos principais aglomerantes das argamassas, ultrapassou os 70 milhões de toneladas no Brasil. Por isso, investigações sobre esses materiais com intuito de torná-los sustentáveis, duráveis e eficientes são recorrentes entre os pesquisadores. Um dos métodos para alterar as propriedades das argamassas é a incorporação de adições em pequenas proporções, que também tem o objetivo de reduzir ou eliminar patologias.

Neste contexto, a incorporação em pequenas proporções de nanocomposto a base de dióxido de titânia (TiO_2) é uma alternativa promissora no que diz respeito à redução de uma série de contaminantes atmosféricos e produtos químicos, pois materiais fotocatalíticos possuem a capacidade de purificação do ambiente (BOONEN e BEELDENS, 2014).

Assim como a titânia, o uso de agregados leves apresenta boa aplicabilidade no âmbito da construção civil, apresentando características alternativas para as argamassas. Silva et al. (2010, p.19) afirma que “O uso de agregados leves em formulações de cimento ou argamassa é justificada pela melhoria do desempenho de isolamento térmico e acústico, além da óbvia redução de peso das estruturas.”

De fato, no mercado podem ser encontrados diversos tipos de agregados leves, sendo os mais comuns aqueles baseados em argila expandida, perlita, cinza industrial, vidro expandido e vermiculita expandida. Paula (2014) afirma que o Brasil se configura como o 3º maior produtor mundial de vermiculita, totalizando 15,6 % da produção, motivando a utilização deste mineral como adição.

Com relação á vantagens do uso da vermiculita, Paula (2014, p.123) relata:

A aplicação da vermiculita está intimamente ligada às suas propriedades físicas, decorrentes de sua estrutura cristalina. Quando expandido, o produto resultante apresenta baixa densidade e alta capacidade de isolamento térmico, acústico e elétrico. Não se decompõe ou deteriora, sendo inodoro, não prejudicial à saúde e também lubrificante, bem como pode absorver normalmente até cinco vezes seu peso em água.

A vermiculita também é um material com boa capacidade de absorção de água como comprovou recentemente Gonçalves et al. (2014a) ao avaliar a influência dos agregados leves nas argamassas para modular as estruturas dos poros, controlando a umidade no interior de residências, com o objetivo de reduzir a formação de mofo nas paredes e de melhorar os impactos a saúde dos usuários.

Entretanto, o uso da vermiculita expandida pode também apresentar efeito negativo, especialmente em relação à fragilização ou à diminuição da resistência mecânica, módulo de elasticidade e aumento da retração em consequência do aumento da quantidade de ar introduzida (RIBEIRO et al., 2005).

Por conseguinte, melhorar a fragilidade das argamassas leves é o ponto chave para torná-las adequadas quanto as suas propriedades físicas e mecânicas. Com esse objetivo, o uso de fibras pode apresentar uma solução viável de reforço dessa matriz. Para Cánovas (1997) apud Cortez (1999):

Os principais benefícios da incorporação de fibras são: o importante incremento da tenacidade, a ligeira melhora do comportamento à tração, o aumento da resistência à ruptura; o forte incremento da resistência ao impacto ou choque; a grande resistência às cargas cíclicas; a resistência elevada a variações de temperatura, o controle da fissuração e o aumento da durabilidade.

Há diversos tipos de fibras disponíveis no mercado para uso em argamassas, como o sisal, vidro, aço, carbono, polipropileno (PP), polietileno (PE) e politereftalato de etileno (PET), sendo a fibra de PP uma das mais estudadas.

Entretanto a eficiência das fibras depende principalmente dos teores utilizados e do seu tamanho. Tanesi (1999) sugere que as fibras de PP devem ser “[...] normalmente entre 0,1 e 0,3% em volume e seu emprego visa principalmente o controle da fissuração nas primeiras horas após o lançamento do concreto ou argamassa.”. Entretanto, o teor otimizado das fibras vai depender também dos teores de sólidos e condições de misturas.

Diante disso, a interatividade entre as fibras de PP e a vermiculita expandida é ainda pouco estudada, devido às características intrínsecas de cada uma delas. Quando aplicadas simultaneamente, podem apresentar resultados distintos daqueles observados com o uso individual. Trabalhos que avaliam o efeito individual e interativo dessas adições são pouco explorados, o que reforça a necessidade de estudos nessa área.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento das argamassas de nanotitânia com a adição de fibra de polipropileno e vermiculita nas propriedades físicas e mecânicas até 28 dias de cura.

Para tal, objetivos específicos serão estabelecidos:

- Produzir argamassas de nanotitânia com adição da fibra de polipropileno e vermiculita expandida, ajustando a trabalhabilidade através do ensaio da mesa de consistência;
- Analisar a influência da fibra de polipropileno e vermiculita nas propriedades no estado fresco (mesa de consistência), e endurecido (absorção de água, porosidade aberta, densidade aparente, resistência à tração na flexão e retração);
- Determinar o teor otimizado das adições e estabelecer correlações entre as propriedades estudadas.

O desenvolvimento deste trabalho iniciou-se mediante pesquisas em teses, normas regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e periódicos nacionais e internacionais.

Por meio desta revisão bibliográfica, haverá um levantamento de informações básicas e necessárias para o estudo laboratorial e, através dos resultados encontrados, será verificada a influência das fibras e da vermiculita em argamassas, reproduzida em corpos de prova.

O presente trabalho estrutura-se em seis capítulos. O **primeiro capítulo** é relativo à introdução, contendo a importância do estudo, os objetivos, a justificativa e a metodologia do trabalho. No **segundo capítulo**, é apresentada a revisão bibliográfica referente aos materiais analisados, que são argamassas, fibras de polipropileno e vermiculita. O **terceiro capítulo** abordará o estudo experimental, apresentando toda a metodologia utilizada e desenvolvida na pesquisa. No **capítulo quatro**, serão descritos os resultados das análises e dos ensaios, bem como uma discussão sobre os resultados encontrados. E no **capítulo cinco**, serão apresentadas as considerações finais deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os principais aspectos sobre os materiais que fazem parte do estudo em questão, baseado em informações literárias e normas brasileiras. Assim sendo, inicialmente será feita uma abordagem sobre as argamassas, referenciando suas características físicas e mecânicas, bem como definições e aplicações deste material. Em seguida, uma apresentação sobre as adições que são incorporadas à argamassa, que são vermiculita expandida e fibras de polipropileno. Serão discutidas as suas características e suas limitações de uso, além de relatar as vantagens e suas propriedades físicas, químicas e mecânicas.

2.1. ARGAMASSAS

Desde a pré-história há relatos, segundo Coutinho et al (2013), do uso de argamassas a base de cal e areia como material de construção. No Brasil, Motta (2004) relata que as edificações indígenas eram construídas com madeira e palha, sem uso de terra. Com a vinda dos portugueses, vieram também novas tecnologias construtivas e os revestimentos começaram a ser feitos com misturas de barro, esterco animal, areia, óleo de baleia e cal.

Tempos depois, com a criação e desenvolvimento do cimento Portland, surgiram as argamassas industrializadas no século XIX na Europa e Estados Unidos (CARASEK, 2010 apud TRISTÃO, 2013).

2.1.1. Definição e Aplicações

Argamassas são misturas homogêneas de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, sendo dosada em obra ou industrialmente (NBR 7200, 1998).

Segundo Fioroto (2009), as misturas são constituídas de areia natural lavada, e os aglomerantes são em geral o cimento Portland e cal hidratada, podendo conter apenas um dos aglomerantes citados, bem como adições e aditivos, para modificar alguma propriedade das argamassas.

As argamassas de cimento, por apresentar maior resistência e condição favorável de endurecimento, são utilizadas em alvenaria de alicerces, além de

chapiscos e em revestimentos impermeáveis, como no interior de reservatórios de água. Por outro lado, as argamassas de cal são usadas para emboço e reboco, devido suas propriedades de elasticidade, plasticidade, além de garantir um acabamento plano e regular (FIOROTO, 2009).

A NBR 13281 (2005) classifica as argamassas através da sua aplicação, ou seja, argamassas de assentamento e argamassas de revestimento. As de assentamento são utilizadas na ligação de blocos e tijolos com função de vedação ou estrutural, enquanto que as de revestimento são indicadas para cobertura de emboço, revestimento de fachadas, revestimento interno como camada de regularização, bem como acabamentos com fins decorativos.

O revestimento é classificado em camadas, sendo elas: Chapisco; Emboço; Reboco; Camada única e Revestimento decorativo monocamada. Conforme Carasek (2007), podem ser conceituados como:

Chapisco tem o objetivo de preparar a superfície quanto à absorção e aumentar a adesão do revestimento (grifo do autor).

Emboço é considerado uma camada de revestimento, que permite receber outra, como o reboco ou de revestimento decorativo, além de regularizar a base (grifo do autor).

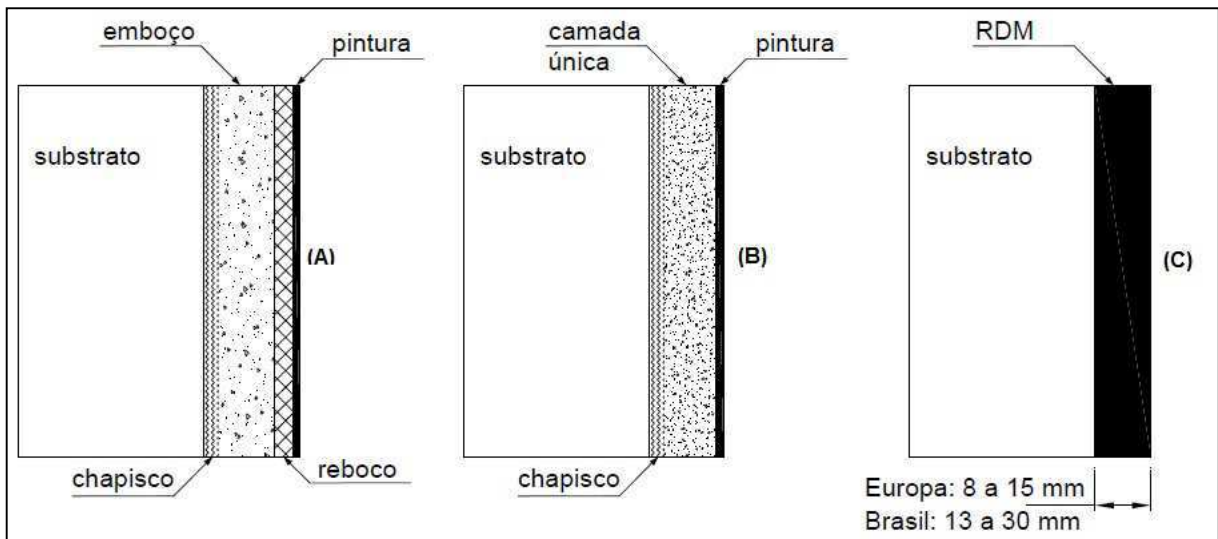
Reboco é a camada de cobertura do emboço, preparando a superfície para receber o revestimento decorativo (grifo do autor).

Camada única é a mais utilizada em todo o Brasil. Trata-se de uma única camada de argamassa empregada na base, permitindo a aplicação da camada decorativa, como pintura (grifo do autor).

Revestimento decorativo monocamada (RDM) é um produto industrializado, muito utilizado na Europa, conhecida popularmente como monocapa, realiza a função de regularização e decoração em uma única camada (grifo do autor).

A figura 1 representa diferentes camadas para argamassas de revestimento, segundo sua aplicação:

Figura 1: Camadas de revestimento, (A) Camada mista (Chapisco, Emboço, Reboco e Pintura), (B) Camada única (chapisco e pintura), (C) Revestimento decorativo monocamada (RDM).



Fonte: Carasek 2007, com adaptação do autor, 2015.

As funções das argamassas derivam da classificação estabelecida por norma segundo a sua aplicação. Paulo (2006) listou as funções das argamassas de assentamento como sendo:

- Unir com solidez os elementos de alvenaria, resistir a esforços horizontais, como flexão e cisalhamento provocados pelo vento;
- Absorver deformações que a alvenaria ou juntas sofrem naturalmente;
- Selar as juntas contra a infiltração de água;
- Colar materiais de revestimento;

Para Carasek (2007) as funções das argamassas de revestimento são:

- Proteger a alvenaria e a estrutura dos revestimentos externos contra a ação de intempéries;
- Constituir o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com isolamento térmico, isolamento acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais.

Entretanto Carasek (2007) ainda relata que as argamassas podem ser classificadas com relação a vários outros critérios:

- Quanto à natureza do aglomerante (Argamassa aérea e hidráulica);
- Quanto ao tipo de aglomerante (Argamassa de cal; Argamassa de cimento; Argamassa de cimento e cal; Argamassa de gesso e de cal e gesso);
- Quanto ao número de aglomerantes (Argamassa simples e mista);
- Quanto à consistência da argamassa (Argamassa seca; Argamassa plástica e Argamassa fluida);
- Quanto à plasticidade da argamassa (Argamassa pobre ou magra, Argamassa média ou cheia e Argamassa rica ou gorda)
- Quanto à densidade de massa da argamassa (Argamassa leve; Argamassa normal e Argamassa pesada);
- Quanto à forma de preparo ou fornecimento (Argamassa preparada em obra, Misturas semipronta para argamassa, Argamassa industrializada e Argamassa dosada em central).

2.1.2. Propriedades das argamassas no estado fresco

A caracterização do comportamento das argamassas é conhecida através da análise das suas propriedades no estado fresco. Segundo Bauer (2005) essa caracterização deve ser realizada de modo a relacionar parâmetros como consistência e plasticidade, na qual determinam trabalhabilidade das argamassas.

Contudo, propriedades como retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado também são essenciais para garantir a trabalhabilidade da argamassa.

O conceito de trabalhabilidade, por ser aplicável em misturas ainda no estado fresco é considerado por Bauer (2005) uma das mais importantes propriedades das argamassas. Carasek (2007) define a trabalhabilidade das argamassas como “[...] a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea.”.

Segundo Bauer (2005) e Carasek (2007) a trabalhabilidade está associada à conjunção de diversas outras propriedades como coesão, plasticidade, consistência, retenção de água, exsudação, adesão inicial, entre outros. Estas propriedades são de difícil mensuração e são analisados pela reologia.

No entanto, Recena (2011) entende que a trabalhabilidade é uma propriedade extremamente variável, pois está diretamente ligada à tarefa a ser executada, ou seja, suas características dependem das funções a serem desempenhadas. Portanto, uma mesma argamassa pode ter trabalhabilidade diferente quando utilizadas em revestimento ou assentamento.

É notório que a trabalhabilidade provém de uma análise puramente intuitiva e visual, difícil de ser avaliada. Sua alteração está intimamente ligada à quantidade de água utilizada, quando se tem em vista a consistência da mistura.

A consistência é definida por Carasek (2007) como uma propriedade pela qual a argamassa tenha uma maior ou menor facilidade de deformar-se sob ação das cargas impostas.

Para que a água modifique a trabalhabilidade da mistura, Recena (2011) relata que deve existir uma quantidade suficiente de aglomerante, para que seja possível reter a água adicionada, estabilizar o volume e garantir a coesão mínima na aderência do material, evitando assim, segregação dos constituintes.

Todavia, o excesso de água pode ser prejudicial, não somente na trabalhabilidade e na redução da coesão, mas na redução da resistência final.

Nesse contexto, outro meio de ajustar a trabalhabilidade das argamassas é alterando o teor de cal, tendo em vista a plasticidade da mistura, que segundo Bauer (2005), é fundamental para que a argamassa apresente boa aderência, ou seja, que ao ser aplicada uma energia de lançamento, a argamassa penetre pelas reentrâncias e saliências do substrato.

A plasticidade não depende somente da quantidade de cal, mas também pode ser modificada através do teor de ar, da natureza e quantidade dos agregados, da intensidade da mistura e da presença de aditivos (CARASEK, 2007).

Outra propriedade no estado fresco é a retenção de água, a qual capacita a argamassa a manter sua trabalhabilidade sem alterar seu comportamento reológico mesmo em situações propícias à perda de água. Segundo Bauer (2005) “[...] auxilia no desenvolvimento da hidratação em fases mais avançadas, evitando possíveis problemas de fissuração ocasionados por retração, fatores estes com implicância direta no desempenho dos sistemas de revestimento.”.

A retenção de água influencia diretamente na trabalhabilidade fornecendo coesão, plasticidade e consistência necessária para manter a argamassa aderida ao substrato após lançamento (DO Ó, 2004).

Este mesmo autor descreve que a retenção de água pode ser aumentada pela argamassa se utilizado algumas técnicas, seja aditivos retentores de água ou até mesmo aumentando os materiais constituintes com maior área específica, como a utilização de saibro e cal.

Cintra, Paiva e Baldo (2014) também citam como propriedade importante no estado fresco a densidade da massa aparente, que é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume. Segundo os autores essa relação pode ser absoluta ou relativa. Na absoluta não são considerados os vazios contidos no volume da argamassa, enquanto na relativa, os vazios são considerados.

A NBR 13278 (2005) propõe o método para determinação da densidade de massa no estado fresco para as argamassas de assentamento e revestimento, na qual o valor encontrado representa a razão entre a massa de argamassa no estado fresco necessária ao preenchimento de dado recipiente com volume conhecido.

Com a quantificação da densidade de massa, é possível ter indicações do teor de ar incorporado no compósito, pois sua densidade é menor e ocupa uma fração da sua massa (CINCOTTO e NAKAKURA, 2004).

2.1.3. Propriedades das argamassas no estado endurecido

Para que as argamassas possam cumprir suas funções, algumas propriedades no estado endurecido devem ser conhecidas, como: resistência mecânica, retração, absorção de água e porosidade aberta.

2.1.3.1. Resistência mecânica

A resistência mecânica pode ser definida como a propriedade que determina a capacidade da argamassa em resistir esforços de tração, compressão ou cisalhamento, geradas a partir de cargas solicitantes, ou das condições ambientais (CINCOTTO e NAKAKURA, 2004).

As argamassas sempre serão sujeitas a algum tipo de esforços mecânicos após o seu endurecimento. Cincotto e Nakakura (2004) descrevem que para argamassas de revestimento, a maior solicitação é relativa a esforços de tração e cisalhamento. Já os esforços de compressão, estão mais presentes em argamassas de assentamento, pela forma à qual esta é solicitada no sistema de vedação.

Segundo os autores “A resistência à compressão é a característica mais comumente determinada tanto para argamassas de assentamento como para argamassas de revestimento.”.

Todavia Oliveira (2001) também citou em seu estudo que as argamassas de revestimento sofrem também outros esforços, como abrasão superficial, impacto e variações térmicas/higrométricas. “Contudo, misturas ricas em cimento provocam o aumento da retração hidráulica, além da redução da capacidade do material absorver pequenas deformações sem que ocorra fissuração”.

Segundo Bauer (2005), o principal responsável pelo desenvolvimento e alteração das propriedades mecânicas das argamassas é o cimento, na qual o tipo e o teor de cimento modificam significativamente esta propriedade.

2.1.3.2. *Retração*

A retração corresponde a uma contração volumétrica da argamassa no estado endurecido oriunda da perda de água da pasta de cimento, quando seca em contato com o ar. Bastos (2001) define que a perda de água pode ser causada por evaporação através de agentes atmosféricos, como: radiação solar, temperatura, água de chuva ou água presente em vapor no ar e vento. O autor ainda comprova que quanto maior é a perda de água, maior é a retração sofrida pela argamassa.

A perda de água é a principal causa de retração. Entretanto outros fenômenos também podem ser causadores de retração, como a retração por carbonatação, na qual ocorre uma reação do dióxido de carbono do ar com compósitos da pasta de cimento hidratada, a retração por hidratação do cimento e a retração autógena (BASTOS, 2001). Segundo este autor, a retração que ocorre no estado endurecido é denominada de retração por secagem, e o fenômeno depende do tamanho dos vazios presentes na mistura. A retração influencia significativamente na estanqueidade e durabilidade dos revestimentos (OLIVEIRA, 2001).

A sucção do substrato também pode ser considerada um fator determinante na intensidade da retração, devido à porosidade da superfície que também absorve água. Muitas vezes um traço rico em cimento pode ocasionar retração, além de fissuração e deslocamento do revestimento (CARASEK, 2007).

2.1.3.3. *Absorção de água*

A absorção de água é considerada importante quando se faz análise de incidências de patologias nos revestimentos, causada por umidade (DIAS e CARASEK, 2003).

Segundo Rato (2006) a absorção da água é consequência da ação da capilaridade, quer isoladamente, quer em conjunto com outras ações, como a pressão exercida pelo vento em situações de chuva. Entretanto, sabe-se que a absorção de água possui ligação direta com o tamanho e quantidade de poros do material.

Dias e Carasek (2003) mostraram que a absorção de água diminui dos 7 dias aos 2 meses, uma vez que ocorrem alterações na microestrutura das argamassas devido à hidratação do cimento e à carbonatação da cal e do cimento, reduzindo a porosidade, conseqüentemente, a absorção.

Rato (2006) também descreve que traços com alto índice de absorção de água representam perdas tanto em durabilidade, quanto em impermeabilidade e resistência mecânica da argamassa.

2.1.3.4. *Porosidade Aberta*

A água utilizada para o amassamento, garantindo uma boa consistência da argamassa, muitas vezes não é consumida em sua totalidade no processo de hidratação do cimento, e ao evaporar, dá origem a porosidade da argamassa endurecida.

A porosidade de um revestimento em argamassa está intrinsecamente ligada a sua composição, ao seu procedimento de aplicação e ao processo de cura adotado, bem como à porosidade e à textura da superfície sobre a qual é aplicada (QUARCIONI et al. 2009, p.176)

Silva (2011) destaca que a água de amassamento forma uma película ao redor do agregado, tornando essa região com uma alta relação água/cimento, conseqüentemente, uma estrutura porosa.

A porosidade desempenha funções importantes tanto nas propriedades mecânicas, quanto em características físicas, como absorção de água, ou seja, a

resistência mecânica, capacidade de suportar carga, e a resistência ao ataque corrosivo crescem com a redução da porosidade, ou seja, há uma relação inversa entre porosidade e resistência mecânica (SILVA et al., 2010).

Bauer (2005) também cita que argamassas porosas podem sofrer uma diminuição na resistência de aderência.

Para Quarcioni et al. (2009), a porosidade interfere na durabilidade do revestimento, além de acumular umidade e facilitar o crescimento de fungos. “Submetida a argamassa a ciclos de molhagem e secagem, os sais dissolvidos cristalizam provocando expansão e fissuração do revestimento”.

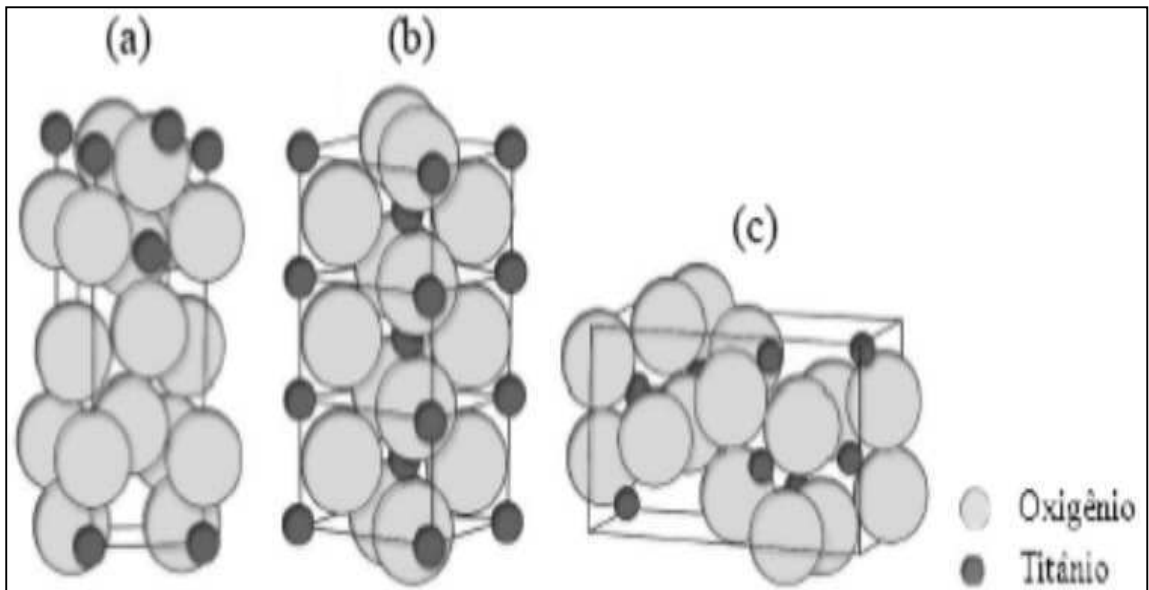
Atualmente, o método para caracterização de porosidade mais utilizado é a porosimetria por intrusão de mercúrio, que consiste em determinar o espectro de dimensões de poros, injetando mercúrio sob pressão na amostra seca (SILVA, 2011).

2.2. DIÓXIDO DE TITÂNIA

O Dióxido de Titânia (TiO_2) é um semicondutor sensível à luz, o qual absorve radiação eletromagnética de regiões UV. Atualmente é o fotocatalisador mais utilizado para o processo de degradação de moléculas orgânicas durante a purificação da água (OCHOA, ORTEGÓN e PÁEZ, 2009). O titânio, nono elemento mais abundante na terra, é considerado litófilo.

Sua comercialização no estado sólido é dada em três formas quanto à estrutura cristalina, como mostra a figura 2, sendo elas: rutilo, anatásio e raramente brookite. As principais diferenças estruturais entre os três elementos é o número de octaedros partilhados, sendo dois em rutilo, três em brookite e quatro em anatásio (LICCIULLI et al, 2008).

Figura 2: Estrutura das fases de TiO₂: (a) Anatásio, (b) Rutilo e (c) Brookite.



Fonte: SUWA et al., 1984 apud CASAGRANDE, 2012

O dióxido de titânio, quando usado em pequenas dimensões em nível nanométrico, apresenta a característica de fotocatalisador no processo de oxidação fotocatalítica. Além disso, a anatásio é também utilizada no processo de degradação fotocatalítica, pois é quimicamente estável, inofensivo e, em comparação com outros óxidos metálicos semicondutores, é relativamente barato (HUSKEN, FOME e BROUWERS, 2009).

2.2.1. Anatásio

A anatásio, também denominada de octaedrita, é um óxido de titânio trimorfo, ou seja, um dos três polimorfos do TiO₂. É gerada a partir de alterações do rutilo e da brookite, contendo entre 98,4 a 99,8% de TiO₂ (figura 3). Sua massa específica é de 3,9 g/cm³, com dureza que varia entre 5,5 a 6,0 na escala mohs (MAIA, 2001).

Figura 3: Minério de Anatásio



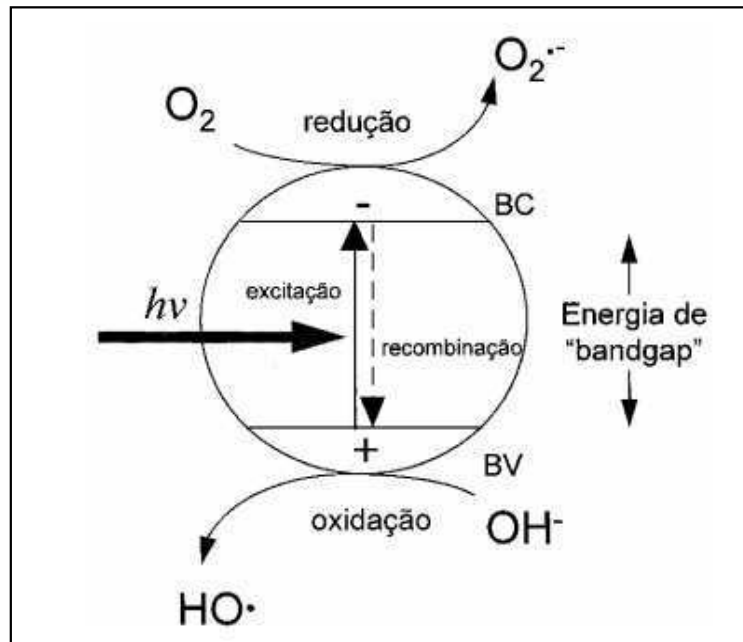
Fonte: LICCIULLI, 2008

O TiO_2 na forma de anatásio é o mais utilizado pelo fato de apresentar maior eficiência fotocatalítica que os outros tipos de TiO_2 (MGUIG, CALATAYUD e MINOT, 2004). Além disso, sua utilização se dá por suas propriedades óticas e eletrônicas, baixo custo, estabilidade química e principalmente pela sua baixa toxicidade (BEVILACQUIA, 2004 apud OCHOA, ORTEGÓN e PÁEZ, 2010).

2.2.2. Fotocatálise heterogênea com TiO_2

Processos oxidativos avançados (POA) são processos de descontaminação de ambientes que atraem interesse por serem sustentáveis. Esses processos são baseados na formação de agentes altamente oxidantes, como radicais hidroxilas (OH) que promovem mineralização total para CO_2 e água quando reagidos com diversas classes de compostos. POA podem ser divididos em homogêneas e heterogêneas, de acordo com a geração de hidroxilas com ou sem irradiação ultravioleta. Para o sistema heterogêneo, podem-se citar os semicondutores como dióxido de titânio, denominada fotocatalise heterogênea (RAQUEL, NOGUEIRA e JARDIM, 1998). Segundos estes autores, o processo envolve a ativação de um semicondutor caracterizado por bandas de valência e bandas de condução, por meio de luz solar ou artificial (figura 4).

Figura 4: Fotocatálise heterogênea: Partícula do semiconductor



Fonte: (LACEY e SCHIRMER, 2008; HANAOR, 2011 apud CASAGRANDE, 2012)

A região entre as bandas de valência e condução é conhecida como *bandgap*. Com a absorção de fótons com energia superior à energia de *bandgap*, o elétron da banda de valência é promovido para a banda de condução com geração de uma lacuna na banda de valência que mostram potenciais suficientemente positivos para gerar radicais hidroxilas através de moléculas de água adsorvidas na superfície do semiconductor (CASAGRANDE, 2012).

2.3. FIBRAS DE POLIPROPILENO

Segundo Siqueira (2006), “o processo de produção das fibras sintéticas inicia-se com a transformação da nafta petroquímica, um derivado do petróleo, em benzeno, eteno, p-xileno e propeno”.

A produção das fibras de polipropileno se deu em 1966, pela empresa Shell, que patenteou o processo. Na época as fibras tinham a forma de filmes fibrilados picotados, e a adição máxima possível para a utilização em concreto com a tecnologia aplicada era de 1%, em volume (ZONSVELD, 1983 apud TANESI e FIGUEIREDO, 1999).

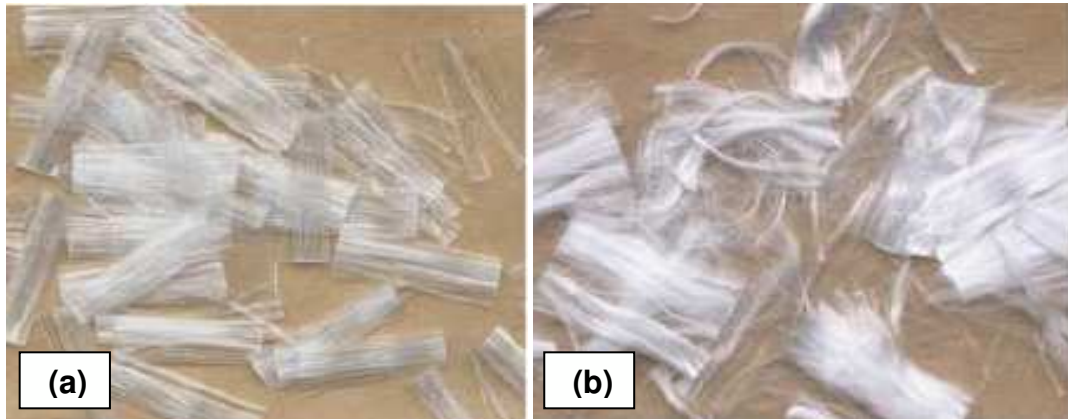
As fibras de polipropileno são obtidas pela polimerização do propeno (C_3H_6). A produção ocorre pelo processo de extrusão que consiste em pressionar a resina, em forma pastosa, por pequenos furos em peças denominadas fieiras. A forma final

das fibras acontece por estiramento durante o processo de solidificação (SIQUEIRA, 2006).

Existem duas formas básicas em que as fibras de polipropileno são fornecidas: Microfibras e Macrofibras (FIGUEIREDO, 2011).

Segundo Bentur e Mindess (2007), o processo de estiramento é necessário para atingir um elevado grau de orientação das fibras, que é fundamental para obter boas propriedades. As microfibras podem ser de monofilamentos ou fibriladas (figura 5). As fibras de monofilamento são produzidas por extrusão, através de moldes de seção transversal circular, na qual os filamentos são produzidos de uma só vez e são então cortados em comprimentos adequados.

Figura 5: Fibras de polipropileno: (a) fibriladas; (b) monofilamentos



Fonte: FIGUEIREDO, 2005a apud FIGUEIREDO, 2011, adaptado pelo autor, 2015.

As fibras de polipropileno fibriladas também são oriundas do processo de extrusão, porém em moldes com seção transversal retangular, na qual folhas de polipropileno são cortadas longitudinalmente em fitas de largura igual (ACI COMMITTEE 544, 2002).

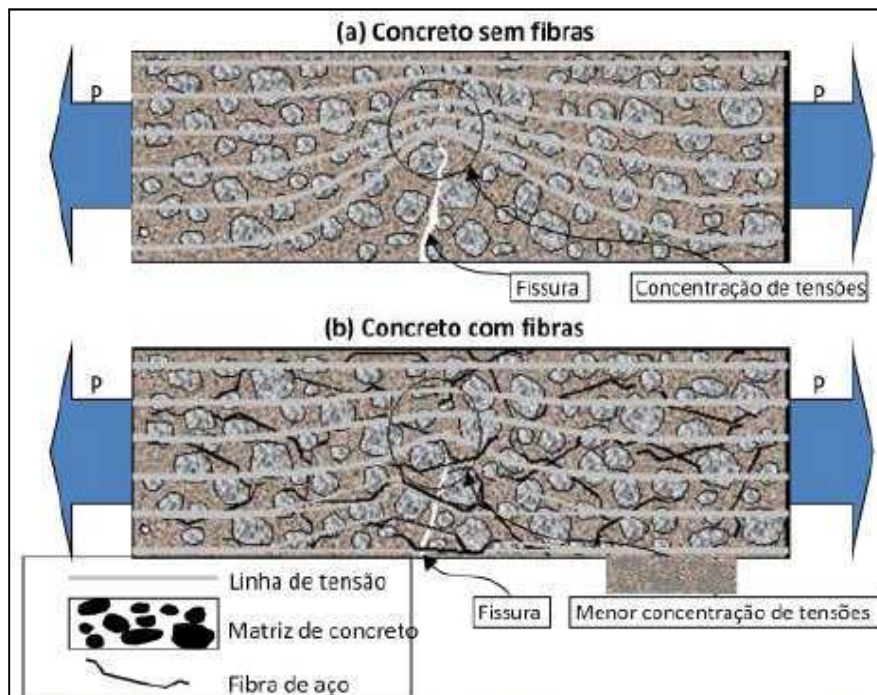
2.3.1. Aplicações

Segundo Bentur e Mindess (2007), as fibras de polipropileno podem ser utilizadas de várias formas no reforço da matriz de cimento. Segundo os autores, teores baixos, inferiores a 0,5% em massa, agem como reforço secundário no controle de fissuras devido aos efeitos do ambiente, como a temperatura e as

variações de umidade. Além disso, os autores citam que teores baixos de fibras são recomendados para controle da retração plástica no concreto fresco.

Segundo Figueiredo (2011), a utilização de fibras de polipropileno também auxilia na capacidade de resistência residual na tração do concreto fissurado. Conforme figura 6, a fibra com módulo de elasticidade e resistência em teores adequados serve como pontes de transferência de tensões das fissuras, minimizando a concentração de tensões. Isso não ocorre em concreto sem fibras, na qual as tensões geradas pelas fissuras podem ocasionar ruptura brusca, pelo fato de não apresentarem resistência residual. Este autor ainda descreve o teor e a geometria das fibras como um dos principais definidores do comportamento do compósito no reforço pós-fissuração do concreto, na qual o autor entende que quanto maior o teor de fibras, maior o número de fibras que atuam como ponte de transferência de tensões. E quanto maior a resistência da fibra, maior será a capacidade de resistência residual.

Figura 6: Esquema de concentração de tensões: (a) sem reforço de fibras; (b) com reforço de fibras



Fonte: FIGUEIREDO, 2000 apud FIGUEIREDO 2011, adaptado pelo autor, 2015.

As fibras de polipropileno são também muito usadas para aumentar a coesão do material, quando é necessário ou desejado, pois reduz os riscos de

deslocamentos e garante a estabilidade do concreto recém desformado (FIGUEIREDO, 2011).

2.3.2. Propriedades físicas, químicas e mecânicas

Para Silva (2011), as propriedades físicas e mecânicas, o teor e o volume de fibras são características fundamentais no momento da produção do compósito, para que o produto final desempenhe adequadamente suas funções, pois a eficiência das fibras como reforço da matriz cimentícia está associada á aspectos tecnológicos da fibra, além da matriz e do preparo da mistura.

Bentur e Mindess (1990) apud Siqueira (2006) apresentaram algumas características físicas e mecânicas de diversos tipos de fibras. Para os autores, as fibras de polipropileno apresentam as seguintes propriedades:

- Diâmetro: 20 a 200 μ m;
- Densidade: 0,9 g/cm³;
- Módulo de elasticidade: 5 a 77 GPa;
- Resistência à tração: 0,5 a 0,75 GPa;
- Deformação na ruptura: 8,0%.

Bentur e Mindess (2007) também citam o alto ponto de fusão das fibras de polipropileno, que se encontra próximo dos 165°C.

Segundo Figueiredo (2011), “as fibras de polipropileno são consideradas fibras de baixo módulo, uma vez que o módulo de elasticidade é inferior ao do concreto endurecido.”.

As fibras apresentam superfície hidrófuga, ou seja, não absorvem a água utilizada durante a produção dos compósitos, como ocorre com outros tipos de fibras, que após absorverem a água, aumentam o volume, e tempos depois, com a evaporação ou pelo processo de hidratação do cimento, altera o desempenho do compósito com o surgimento de vazios na interface da matriz (OLIVEIRA, 2001).

Outra propriedade importante é a capacidade das fibras de polipropileno em aumentar a tenacidade das argamassas (SILVA, 2011).

Segre *et al.* (1998) apud Siqueira (2006) reiteram que o polipropileno é moderadamente resistente a agentes químicos como ácidos, álcalis e sais. Entretanto, a exposição ao meio ambiente, torna todos os polímeros vulneráveis a deterioração.

2.3.3. Vantagens e limitações de uso

As principais vantagens das fibras de polipropileno são a resistência ao meio alcalino, não comprometendo a vida útil do compósito, ponto de fusão considerado alto e o baixo preço do material (BENTUR e MINDESS, 2007).

Para Oliveira (2001), as fibras podem proporcionar uma melhor interação entre o agregado e a pasta de aglomerante, aumentando a coesão nas argamassas. O aumento na coesão pode gerar melhorias relativas à qualidade e produtividade das alvenarias, além de influenciar na redução de perdas das argamassas.

As fibras se distribuem aleatoriamente no compósito durante a preparação, reforçando todo o material, não somente em determinada posição, como ocorre com as armaduras (FIGUEIREDO, 2011).

A resistência à compressão pode ser considerada independente do teor de fibra, pois as alterações nessa propriedade são mínimas com a incorporação de fibras (SALVADOR e FIGUEIREDO, 2013).

Contudo, as fibras também apresentam limitações. Segundo Oliveira, Gleize e Roman (2003), as fibras de polipropileno não tornam a mistura não trabalhável, mas causam reduções do índice de consistência.

Segundo Figueiredo (2011), a alteração da consistência ocorre uma vez que a área superficial das fibras necessita de água de molhagem. Essa alteração depende do teor e da geometria das fibras.

Siqueira (2006) também comprovou que o teor de fibra afeta algumas propriedades do compósito. Com teor superior a 0,5%, o autor observou que a resistência à aderência das argamassas foi prejudicada, bem como o aumento da permeabilidade, facilitando a entrada de CO₂, aumentando a carbonatação.

Bertur e Mindess (2007), citam a baixa resistência ao fogo e a sensibilidade à luz solar que as fibras de polipropileno possuem, entretanto, com o envolvimento da matriz sobre as fibras essa sensibilidade é minimizada.

Contudo, os efeitos das altas temperaturas e o efeito dos raios ultravioletas podem causar oxidações das fibras, comprometendo a vida útil dos compósitos (TANESI e AGOYAN, 1997 apud OLIVEIRA, 2001).

Oliveira (2001) entende que a produção das fibras deve ser controlada, pois caso contrário, terão seu desempenho prejudicado. As variações das propriedades físicas e mecânicas das fibras influenciaram diretamente na eficiência do reforço, medido pela resistência, tenacidade e módulo de fratura do compósito.

2.4. VERMICULITA EXPANDIDA

O termo vermiculita já foi muito mal definido alguns anos atrás, na qual todo mineral micáceo lamelar que obtivesse a capacidade de expandir quando aquecido era considerado vermiculita. Após estudos químicos, foram comprovados que diversos minerais classificados como vermiculitas, eram apenas camadas interestratificadas de mica-vermiculita e clorita-vermiculita. Além disso, existem misturas laterais de vermiculita e clorita dentro da mesma camada estrutural, ou seja, as estruturas cristalinas das vermiculitas apresentam uma vasta variabilidade dentro de uma mesma jazida, tornando difícil sua caracterização mineralógica (SANTOS, 1989 apud ARAÚJO FILHO, 2012).

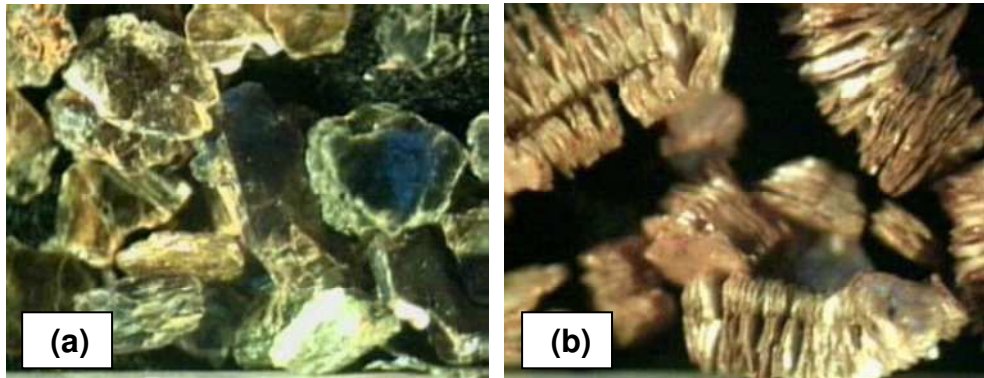
2.4.1. Definição e Aplicações

Segundo Paula (2014) a vermiculita é um mineral que se forma naturalmente como um mineral do grupo das micas, que apresenta a seguinte fórmula química: $[(Mg, Fe^{+2}, Al)_3 (Al, Si)_4 O_{10} (OH)_2 \cdot 4H_2O]$, ou seja, sua composição apresenta silicato de alumínio, magnésio e ferro.

Vermiculita é gerado a partir da alteração das micas, mais comumente a biotita. Os minerais são: biotita, hidrobiotita, apatita, anfibólio, flogopita, diopsídio, clorita, amianto, talco e minerais argilosos. Tem sua gênese por intemperismo, em baixa temperatura de piroxenitos, peridotitos, dunitos, carbonatitos e anfibolitos (PAULA, 2014).

Gerard (2003) apud Koksall, Genceli e Kaya (2015) define que a formação da vermiculita expandida acontece em temperaturas entre 650 a 1000°C, na qual sofre um aumento de 8 a 30 vezes do seu tamanho original, como mostra a figura 7.

Figura 7: Fotografias de amostras de vermiculita (Santa Luzia, PB): (a) vermiculita natural; (b) vermiculita expandida



Fonte: UGARTE et al., 2004 apud UGARTE, SAMPAIO E FRANÇA, 2008, adaptado pelo autor, 2015

Segundo Ugarte, Sampaio e França (2008) o processo de expansão acontece com a remoção da água estrutural associada ao mineral, em um curto intervalo de tempo, por meio de fornos especiais. A vermiculita em seu estado lamelar possui pouca aplicação, porém no seu estado expandido, apresenta propriedades físicas que a tornam apreciáveis para a aplicação na Engenharia Civil e para o uso na indústria em geral.

Os autores ainda descreve que a aplicação da vermiculita depende da sua granulometria e pureza. Vermiculitas com granulometria mais fina são comumente utilizadas na construção civil, além de serem usadas na produção de fertilizantes e de alimentação para animais. Já as vermiculitas com granulometria mais grossa são utilizadas na horticultura, cultivo e germinação de sementes, dentre outros.

A principal aplicação da vermiculita na construção civil, é na elaboração de revestimento com argamassas que operam como isolante térmico e acústico. Isso se deve a baixa condutividade térmica que o material possui, e da pequena propagação sonora. Além dessas aplicações, a vermiculita nas formas natural e expandida apresentam propriedades catalíticas que quando modificada quimicamente, são utilizadas na remoção de resíduos nucleares, purificação de água, tratamento de esgotos tóxicos, etc (UGARTE, SAMPAIO E FRANÇA, 2008).

2.4.2. Propriedades físicas, químicas e mecânicas

Inúmeras propriedades tornam amplo o uso da vermiculita expandida na construção civil, na agricultura, indústrias químicas, entre outros.

A vermiculita expandida, ou esfoliada, apresenta baixo peso específico, é compressível, possui alta capacidade de isolamento acústico e é altamente absorvente. Sua aplicação pode ser feita no intervalo de -240 a 1100°C, uma vez que apresenta elevada resistência ao fogo, devido a seu alto ponto de sinterização, que varia de 1150 a 1250°C (SILVA, 2006b).

Segundo Ugarte, Sampaio e França (2008), a vermiculita apresenta em sua composição principalmente ferro, magnésio, potássio e alumina. As propriedades físicas são as mesmas das micas, quanto à clivagem típica, separando-se em finas lamelas, sem elasticidade. A dureza da vermiculita varia entre 2,1 a 2,8, na escala Mohs.

Nascimento (2008), em seu estudo, também lista e quantifica algumas propriedades físicas sobre as vermiculitas, sendo essas:

- Condutividade térmica máxima: 0,070W/m.k;
- Baixa condutividade acústica;
- Possui ponto de fusão em 1315°C (praticamente incombustível);
- Não tóxica;
- Temperatura de amolecimento 1300°C;
- Umidade máxima de 7%;
- Massa específica aparente que varia entre 80 a 100 kg/m³;
- Não abrasivo.

Segundo os autores Koksai, Gencel e Kaya (2015), a composição química das vermiculitas é formada por uma série de elementos, na qual os principais são: dióxido de silício, óxido de alumínio, óxido de potássio, sulfeto de sódio, óxido de cálcio, óxido de magnésio, óxido de ferro e dióxido de titânio.

Ugarte, Sampaio e França (2008) compararam a composição química das vermiculitas nas principais jazidas brasileiras, como mostra a tabela 1.

Tabela 1: Composição química das vermiculitas nas principais jazidas brasileiras

Composto	Santa Luzia (PB)	Sancrelândia (GO)	Massapé (PI)
SiO ₂	42,8	40,4	45,10
MgO	19,9	18,3	23,60
Al ₂ O ₃	6,8	13,0	10,20
Fe ₂ O ₃	6,7	8,5	5,80
K ₂ O	4,6	3,7	0,50
Na ₂ O	1,0	2,5	0,10
CaO	0,56	1,4	3,60
MnO	0,11	0,12	-
TiO ₂	0,86	1,0	0,70
NiO	0,29	0,21	-
BaO	-	-	0,20
Cr ₂ O ₃	0,45	0,31	-
H ₂ O (total)	15,80	10,40	10,20
Total	99,87	100,00	100,00

Fonte: Santa Luzia (PB) (França e Luz, 2002), Sancrelândia (GO) (Ugarte et al., 2004), Massapé (PI) (Hindman, 1994) apud (Ugarte, Sampaio e França, 2008)

A tabela 1 evidencia que a composição química da vermiculita é a mesma para todas as jazidas, apesar da variação nos percentuais da composição.

2.4.3. Vantagens e limitações de uso

A vermiculita expandida apresenta inúmeras vantagens quando utilizadas de forma adequada, em quantidades controladas. Diferentes autores relatam vantagens e benefícios do uso desse mineral em seus estudos.

Segundo Nascimento (2008), o baixo peso específico da vermiculita depende diretamente da granulometria do mineral. Esta característica torna possível sua utilização com vantagens de preço, peso e qualidade. Além disso, o autor relata que a incorporação de vermiculita nas argamassas pode gerar uma redução superior a 60% dos ruídos.

Koksal, Gencil e Kaya (2015) concluíram que, quando as argamassas são submetidas a elevadas temperaturas, apresentam um bom desempenho em termos de preservação da resistência mecânica é observado, até a temperatura de 900°C.

Araújo Filho (2012) escreve que o produto expandido da vermiculita, além de ser resistente ao fogo e possuir baixa densidade, é também inodoro, não irrita a pele nem os pulmões, não são condutores de eletricidade, resistência à decomposição, não atrai inseto e pode absorver água até cinco vezes o seu peso.

Contudo, o uso de vermiculita expandida na composição da argamassa apresenta limitações. Teores excessivos do mineral podem gerar diversas patologias no estado endurecido das argamassas.

Gregório e Lintz (2009), concluíram que o teor do mineral deve ser controlado, pois a perda de resistência à compressão e tração é afetada significativamente pela incorporação da vermiculita. Os autores mostraram que até 6,5% de vermiculita como substituição dos agregados naturais não há grandes reduções na resistência da argamassa, entretanto teores superiores causaram uma queda brusca na resistência, tanto à compressão, quanto à tração.

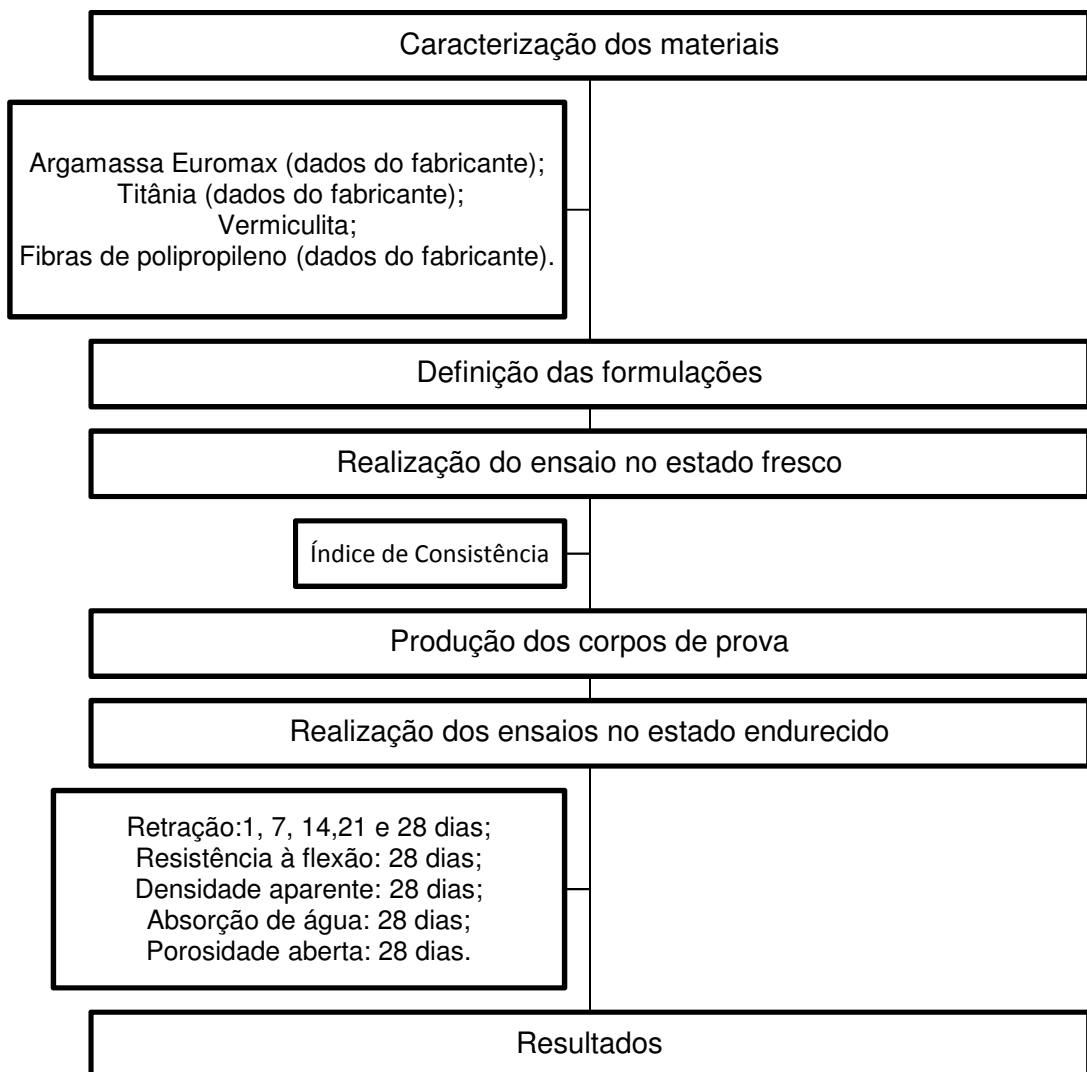
Nesse contexto, o percentual de água para garantir a consistência da argamassa também está diretamente relacionado ao percentual de vermiculita, bem como o aumento de retenção de água (CINTRA, PAIVA E BALDO, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é descrito o planejamento experimental, os materiais utilizados, o preparo e dosagem das argamassas, além dos ensaios realizados no estado fresco e endurecido.

A parte experimental do trabalho foi desenvolvida em diversas etapas. O preparo das argamassas e todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFSC/Joinville, exceto o ensaio de flexão simples que foi realizado em parceria com o Laboratório de Análise Mecânica da UDESC/Joinville. O fluxograma da figura 8 resume as etapas do planejamento experimental executado.

Figura 8: Plano experimental



Fonte: Autor, 2015.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1. Argamassa

Na produção de todas as composições foi utilizada uma argamassa comercial de revestimento, da marca Euromax, normalmente utilizada para acabamentos internos e externos. Segundo o fabricante, contém porcentagens não informadas de cimento, cal e areia. A tabela 2 apresenta as informações fornecidas pela empresa.

Tabela 2: Ficha técnica da argamassa Euromax

Embalagem	20kg
Validade	12 meses
Consumo	14kg/m² com espessura de 1cm
Resistência à compressão aos 28 dias	56kgf/cm²
Resistência ao arrancamento aos 28 dias	5kgf/cm²

Fonte: Argamassas Euromax. Disponível em: <<http://www.argamassaseuromax.com.br/2015/reboco>>. Acesso em Setembro, 2015. Adaptado pelo autor, 2015.

3.1.2. Nanotitânia (nT)

A nT utilizada é do tipo TiO₂ Aeroxide P25, que é um dióxido de titânio com alto grau de pureza fabricado pela Evonik (figura 9).

Figura 9: Aeroxide P25



Fonte: Autor, 2015

Sua principal utilização em argamassas, segundo o fabricante é apresentar reações fotocatalíticas. As principais características fornecidas pelo fabricante estão listadas na tabela 3.

Tabela 3: Propriedades físicas da nanotitânia

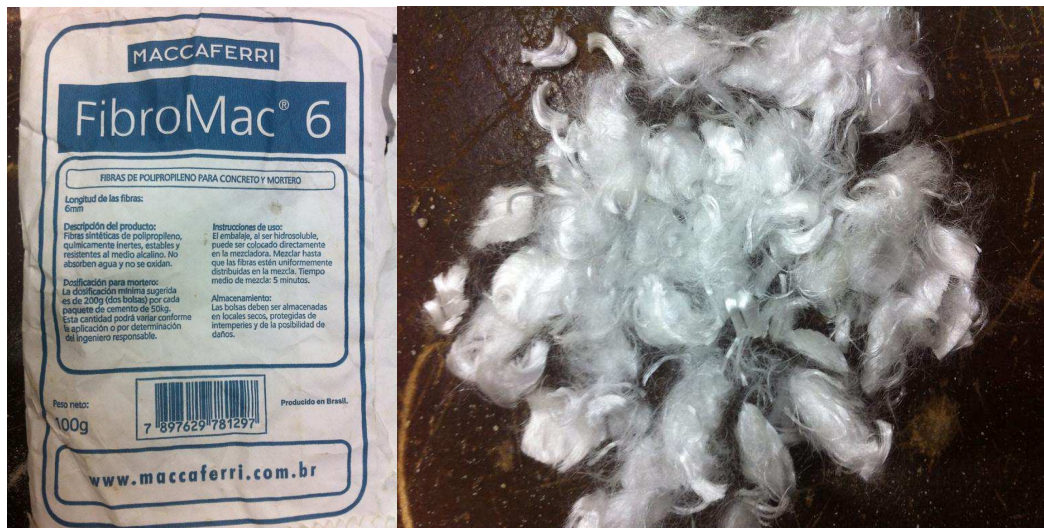
Área superficial específica	35 – 65 m².g⁻¹
Densidade	100 – 180 g/l
Dióxido de titânio	≥99,50%
Al₂O₃	≤0,3%
SiO₂	≤0,2%
Fe₂O₃	≤0,1%
Resíduo retido peneira 45µm	≤0,05%

Fonte: Aerosil. Disponível em: <<https://www.aerosil.com/www2/uploads/productfinder/AEROXIDE-TiO2-P-25-EN.pdf>> Acesso em Setembro, 2015. Adaptado pelo Autor, 2015.

3.1.3. Fibra de Polipropileno (PP)

A fibra de polipropileno (Fb) usada na argamassa é da FibroMac 6 (figura 10), produzida especialmente para reforço de concretos e argamassas a partir de multifilamentos. Segundo o fabricante, a fibra tem a finalidade de tornar o material homogêneo e controlar a fissuração causada pela retração. Algumas propriedades físicas e mecânicas fornecidas pelo fabricante são indicadas na tabela 4.

Figura 10: Fibras de polipropileno FibroMac 6



Fonte: Autor, 2015

Tabela 4: Características técnicas das fibras de polipropileno

Diâmetro	18 μ m
Seção	Circular
Comprimento	6mm
Alongamento	80%
Peso específico	0,91 g/cm ³
Resistência à tração	300 MPa
Módulo de Young	3000 MPa

Fonte: <<http://www.maccaferri.com/br/products/fibromac/>> Acesso em Setembro, 2015. Adaptado pelo autor, 2015.

3.1.4. Vermiculita Expandida (VER)

A vermiculita expandida (VER) utilizada como agregado leve na composição da mistura foi adquirida junto à empresa TERRA MATER Saving Energy (figura 11), indicada pelo fabricante como um bom isolante termo acústico para lajes e paredes, proteção do impermeabilizante em lajes de cobertura e rebocos isolantes. Dentre as principais características citadas sobre o produto, estão: alívio de carga nas estruturas, boa resistência mecânica e baixo peso específico, estabilidade física, inerte, não perde características térmicas com o tempo, entre outros.

Figura 11: Vermiculita Expandida Terra Mater



Fonte: Autor, 2015

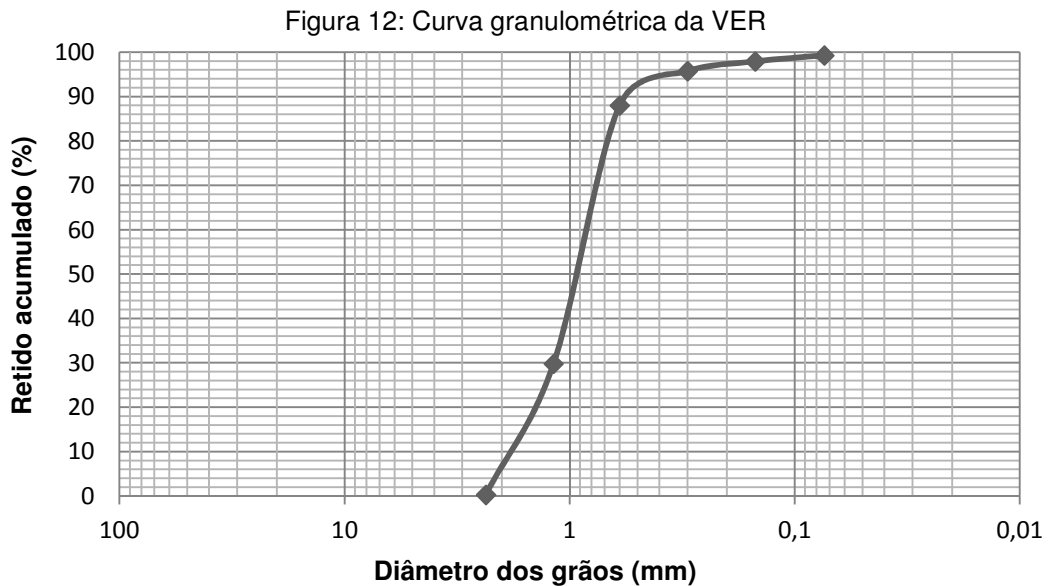
Algumas propriedades fornecidas pelo fabricante são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5: Características técnicas da Vermiculita Expandida

Granulometria	Super fina
Massa específica aparente	80-150 kg/m ³
Condutividade térmica	0,070 W/m.K
Temperatura de amolecimento	1260°C inicial / 1350°C final
Umidade máxima	7,0%

Fonte: <<http://terramaterbrasil.com/produtos/isomater-vermiculita-expandida/>> Acesso em Novembro, 2015. Adaptado pelo autor

A VER foi classificada pelo fabricante como super fina. De acordo com NBR 11355:2015 foi verificada a sua granulometria. A distribuição granulométrica é mostrada na figura 12.



Fonte: Autor, 2015

A distribuição granulométrica mostra que grande parte do material apresenta grãos na faixa de 1,2mm (29,5%) a 0,6 mm (58,2%). Os percentuais retidos estão de acordo com o informado pelo fabricante, que define 10 a 45% retido na peneira 1,2mm e 70 a 95% retido na 0,6mm para a granulometria super fina.

3.2. PREPARO DAS ARGAMASSAS

Neste trabalho, a metodologia empregada permitiu estudar a influência da adição da fibra de polipropileno (Fb) e vermiculita (VER) em argamassas com nanotitânia (nT). Para tanto, as adições usadas como substituição de sólidos, foram empregadas em diferentes teores buscando o teor ótimo das mesmas. Com isso, a Fb foi utilizada em teores de 0 a 0,2%, a VER entre 0 a 8%, e a nT foi mantida constante em 0,8% em todas as amostras, inclusive na amostra de referência. Além disso, a trabalhabilidade foi mantida constante pelo espalhamento na mesa, sendo possível analisar o efeito combinado das adições com a água.

3.2.1. Determinação das formulações

As amostras de referência (REF) foram definidas para que mantivessem a composição original da argamassa utilizada. A nT, com teor de 0,8% em relação a quantidade de sólidos totais esteve presente em todas as formulações.

Na sequência, foram determinadas as demais formulações, adicionando Fb e VER, apresentados na tabela 6, sendo F1 a amostra de referência.

Tabela 6: Variação dos teores de fibra de polipropileno e vermiculita nas argamassas

		VER			
		%	0,0	4,0	8,0
Fb	0,2	F4	F8	F12	
	0,1	F3	F7	F11	
	0,05	F2	F6	F10	
	0,0	F1	F5	F9	

Fonte: Autor, 2015

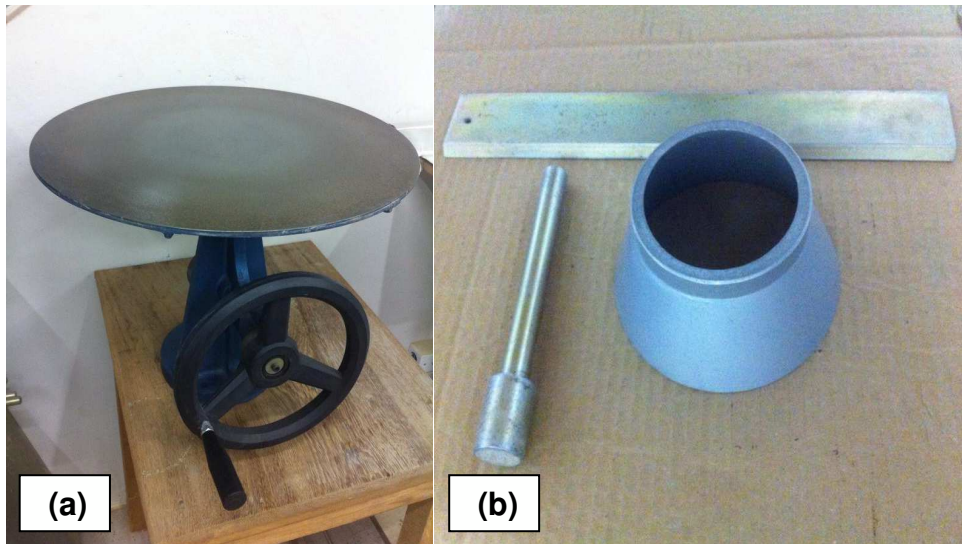
3.3. ENSAIO NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO

3.3.1. Índice de Consistência

A trabalhabilidade da mistura é caracterizada pelo ensaio da mesa de consistência (figura 13), que é normatizado pela NBR 13276:2005, quantificando o espalhamento horizontal da argamassa sobre a mesa no estado fresco.

Com base na plasticidade observada visualmente através do espalhamento na mesa, o índice de consistência foi fixado em 220 ± 10 mm para todas as formulações. Conseqüentemente, foi necessário variar a quantidade de água, pois a presença das adições influencia negativamente no nível de trabalhabilidade.

Figura 13: (a) Mesa para determinação da consistência; (b) Cone, soquete e régua



Fonte: Autor, 2015

3.3.2. Determinação de propriedades físicas

De acordo com a norma NBR 9778:2006, foram determinadas algumas propriedades físicas das argamassas, como densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta com base nos valores de massa seca, submersa e saturada. Para isso, foram selecionadas 4 amostras para cada formulação (figura 14).

Figura 14: Corpos de prova para ensaios de propriedades físicas



Fonte: Autor, 2015

Aos 28 dias de cura, os corpos de prova foram deixados em estufa (figura 15) durante 24 horas a uma temperatura de 100°C, para realizar a pesagem de massa seca (figura 16).

Figura 15: Secagem na estufa



Fonte: Autor, 2015

Figura 16: Pesagem de massa seca



Fonte: Autor, 2015

Logo após, as amostras secas foram imersas por 72 horas em água (figura 17), e então, realizada a pesagem de massa imersa (figura 18).

Figura 17: Amostras imersas em água



Fonte: Autor, 2015

Figura 18: Pesagem de massa imersa



Fonte: Autor, 2015

A última medição foi a massa saturada de superfície seca, pesando as amostras após retirar o excesso de água da superfície (figura 19).

Figura 19: Pesagem de massa saturada de superfície



Fonte: Autor, 2015

Com os resultados das pesagens, e com as equações apresentadas em norma (NBR 9778:2006), foi possível determinar as propriedades desejadas, empregando as equações 1, 2 e 3 a seguir.

(a) Densidade Aparente (D) em g/cm³:

$$D = \frac{M_S}{M_{SAT} - M_I} \quad (\text{Eq. 1})$$

(b) Absorção de Água (A) em %:

$$A = \frac{M_{SAT} - M_S}{M_S} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

(c) Porosidade Aberta (P) em %:

$$P = \frac{M_{SAT} - M_S}{M_{SAT} - M_I} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo que:

- M_S = Massa Seca (g)
- M_{SAT} = Massa saturada de superfície seca (g)
- M_I = Massa Imersa (g)

3.3.3. Ensaio de retração

O preparo das argamassas, moldagem e os testes foram feitos de acordo com NBR 15261:2005. Foram produzidos 3 corpos de prova para cada formulação, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm (figura 20). Após 24 horas de cura, os corpos de prova foram retirados das formas, e armazenados em local adequado.

Figura 20: Corpos de prova para ensaio de retração



Fonte: Autor, 2015

A execução do ensaio de retração foi feito com o auxílio de um comparador de expansibilidade que mede a variação dimensional dos corpos de prova com precisão de 0,001 mm como mostra a figura 21. As leituras de retração foram executadas nas idades de 1, 7, 14, 21 e 28 dias de cura, após a data de moldagem, com os corpos de prova sempre na mesma posição.

Figura 21: Comparador de expansibilidade



Fonte: Autor, 2015

Após as leituras, e as variações encontradas durante as idades mencionadas, foram realizados os cálculos que determinam a contração no tempo, expressa em percentual. O cálculo é feito com a equação a seguir:

$$et = \frac{DI}{C} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo que:

- et = Contração no tempo (%)
- DI = Variação do comprimento (mm)
- C = Comprimento efetivo do provete (mm)

3.3.4. Ensaio de flexão

Corpos de prova com dimensões de 4 x 4 x 16 cm (figura 22) foram produzidos com base na norma NBR 13279:2005, assim como a armazenagem e execução dos ensaios. A desmoldagem ocorreu após 24 horas de cura, colocados em local adequado até os 28 dias.

Figura 22: Corpos de prova para ensaio de flexão



Fonte: Autor, 2015

A execução do ensaio de flexão ocorreu após 28 dias de cura. Os testes foram realizados a partir da aplicação de uma carga pontual, centrada nos corpos de prova colocados sobre apoios distanciados em 10 cm (figura 23), impondo uma velocidade de carregamento de 0,5mm/min até atingir um deslocamento vertical de 0,7 mm.

Figura 23: Ensaio de flexão da argamassa de referência



Fonte: Autor, 2015

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados dos ensaios realizados no estado fresco e endurecido das argamassas, bem como as análises sobre os mesmos, visando justificá-los com base no comportamento das adições utilizadas e com literaturas existentes.

4.1. TRABALHABILIDADE

Com a incorporação das adições de fibra de polipropileno (Fb) e vermiculita (VER), observou-se uma perda na trabalhabilidade verificada através da redução do diâmetro de espalhamento. Para compensar esse efeito, teores distintos de água (tabela 7) foram adicionados de modo a obter um diâmetro constante de 220 ± 10 mm (figura 24). O fator de ajuste de água é mostrado na tabela 8.

Tabela 7: Relação entre água e sólidos totais

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Relação água/sólidos totais (%)	17,1	17,5	17,9	18,3	23,3	24,2	24,6	25,0	30,0	30,4	30,8	31,3

Fonte: Autor, 2015

Tabela 8: Fator de ajuste da trabalhabilidade das argamassas

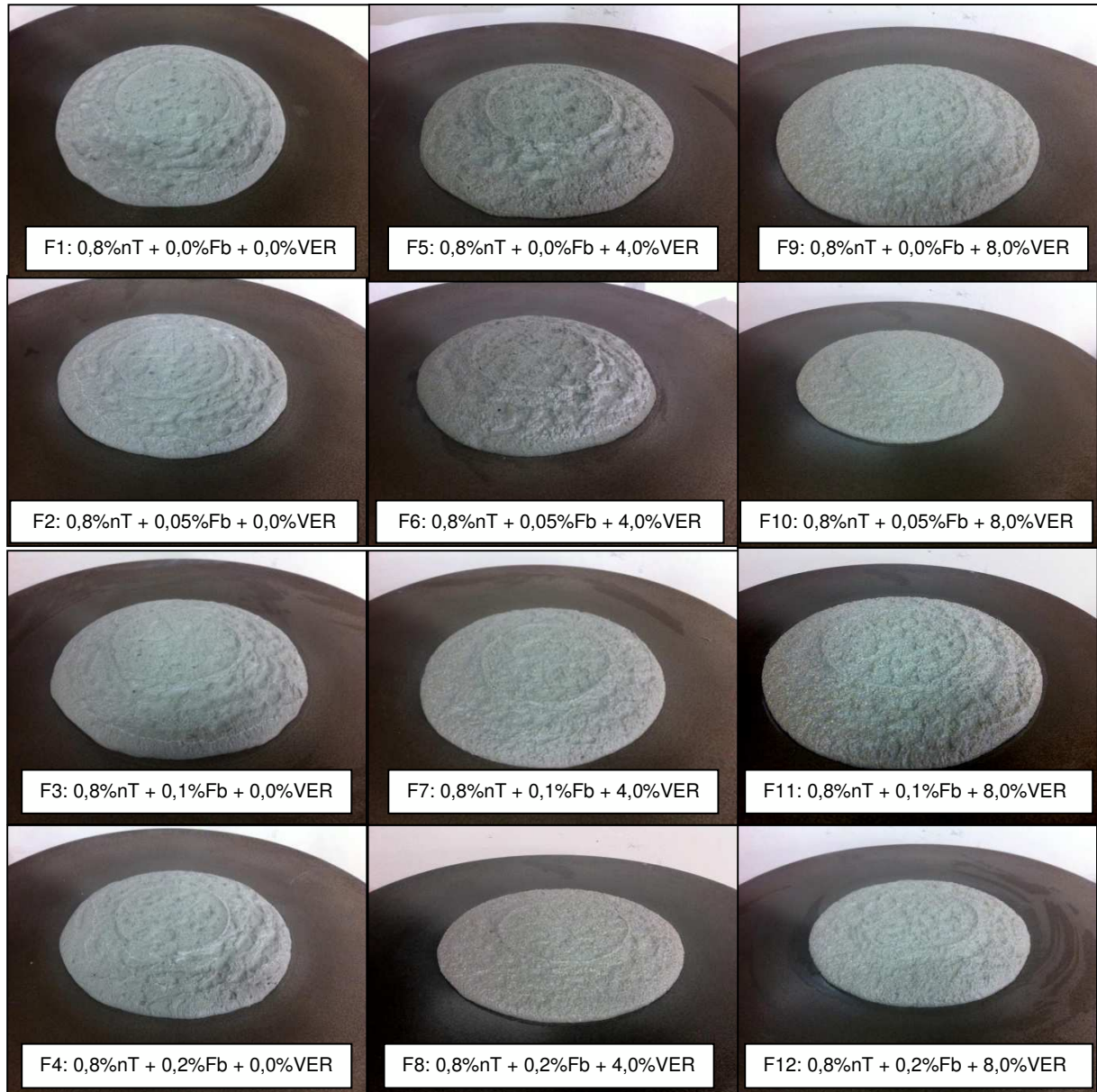
		VER			
		%	0,0	4,0	8,0
Fb	0,2		F4 = 1,07	F8 = 1,46	F12 = 1,83
	0,1		F3 = 1,05	F7 = 1,44	F11 = 1,80
	0,05		F2 = 1,02	F6 = 1,41	F10 = 1,78
	0,0		F1 = 1,00	F5 = 1,37	F9 = 1,76

Fonte: Autor, 2015

A tabela 8 mostra que a VER é adição de maior impacto na trabalhabilidade, na qual necessitou um acréscimo médio de 38%, para cada teor de VER. Com relação à adição de Fb, a influência na trabalhabilidade foi pequena, com um acréscimo médio de 2,5% de água para cada 0,05% de Fb incorporada na mistura.

Considerando a interação entre as adições, a formulação F12, que apresenta os maiores teores de adições, mostrou um acréscimo de 83% de água, com relação à amostra REF. Portanto, o efeito da água não pode ser desconsiderado sobre as propriedades da argamassa.

Figura 24: Ajuste da trabalhabilidade das argamassas

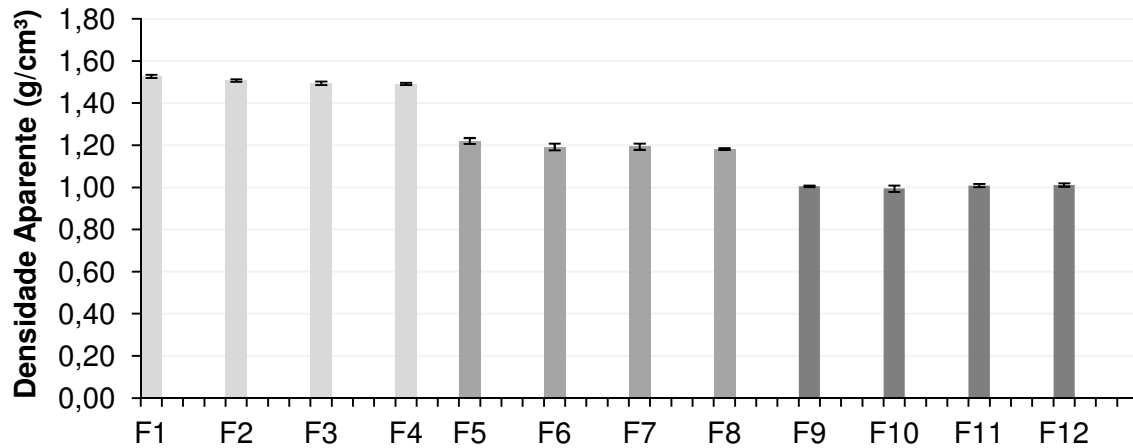


Fonte: Autor, 2015

4.2. DENSIDADE APARENTE

Os resultados de densidade aparente para as formulações aos 28 dias de cura são mostrados na figura 25.

Figura 25: Densidade Aparente das argamassas aos 28 dias de cura



	nT	Fb	VER		nT	Fb	VER		nT	Fb	VER
F1	0,8	0,00	0	F5	0,8	0,00	4	F9	0,8	0,00	8
F2	0,8	0,05	0	F6	0,8	0,05	4	F10	0,8	0,05	8
F3	0,8	0,10	0	F7	0,8	0,10	4	F11	0,8	0,10	8
F4	0,8	0,20	0	F8	0,8	0,20	4	F12	0,8	0,20	8

Fonte: Autor, 2015

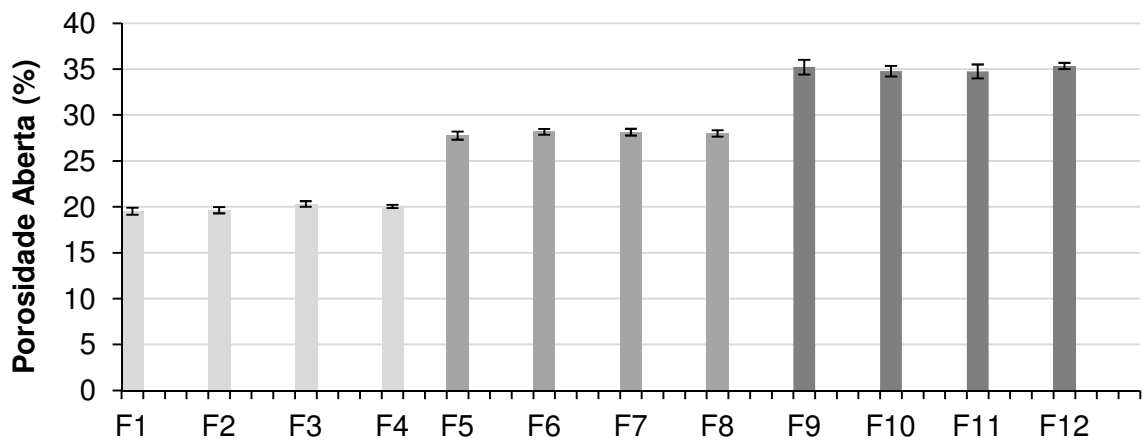
Em geral, a densidade aparente foi influenciada principalmente pelo teor de VER adicionado em cada formulação. Quanto maior o teor de VER, menor à densidade aparente resultante. Isso já era esperado pela baixa densidade da VER (0,91 g/cm³) combinado com a quantidade adicional de água utilizada na mistura. Quanto maior a quantidade de água requerida para o ajuste do traço, menor foi a densidade aparente, uma vez que após a evaporação da água, os espaços que inicialmente estavam preenchidos por água tornam-se vazios, o que consequentemente aumenta a porosidade, a ser discutida na seção 4.3.

A presença da Fb não foi relevante na densidade aparente, uma vez que permaneceu constante para todos os teores utilizados nesse trabalho. Com isso, as formulações com 0% VER apresentaram densidade média de 1,51 g/cm³, com 4% de VER, densidade média de 1,19 g/cm³, e com 8% de VER, 1,01 g/cm³.

4.3. POROSIDADE ABERTA

A figura 26 apresenta os resultados da porosidade aberta para as argamassas com 28 dias de cura. A porosidade aberta, como esperado, se mostrou inversamente proporcional à densidade aparente, ou seja, os maiores percentuais foram encontrados nas amostras com menor densidade aparente.

Figura 26: Porosidade Aberta das argamassas aos 28 dias de cura



	nT	Fb	VER		nT	Fb	VER		nT	Fb	VER
F1	0,8	0,00	0	F5	0,8	0,00	4	F9	0,8	0,00	8
F2	0,8	0,05	0	F6	0,8	0,05	4	F10	0,8	0,05	8
F3	0,8	0,10	0	F7	0,8	0,10	4	F11	0,8	0,10	8
F4	0,8	0,20	0	F8	0,8	0,20	4	F12	0,8	0,20	8

Fonte: Autor, 2015

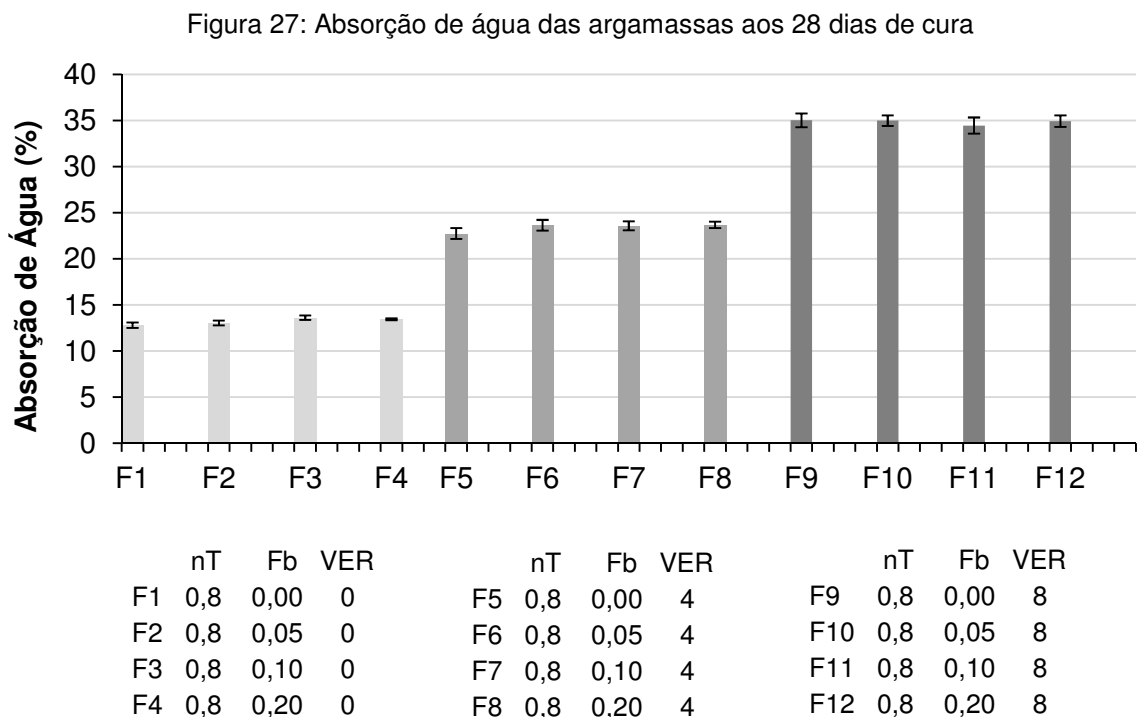
Assim como na densidade, os parâmetros que demonstraram maior impacto na porosidade foram os teores de VER e de água utilizado. Koksal, Gelceli e Kaya (2015) confirmam esta hipótese, pois relatam que a porosidade e a absorção de água aumentam proporcionalmente com o aumento do teor de VER.

Com 8% de VER houve um aumento na porosidade aberta de 87% em relação à amostra REF. Isso ocorre, devido a VER ter a capacidade de absorver grande quantidade de água, e durante o processo de cura, eliminar a água por evaporação, tornando a matriz porosa pela maior quantidade de vazios e também simplesmente pela presença da VER que é uma adição porosa e ocupa um espaço na matriz que antes era ocupado por outra matéria prima com maior densidade (areia, cimento, etc.)

A Fb também não apresentou diferenças significativas nos resultados, portanto pode-se dizer que a adição de até 0,2% de Fb, não influencia na porosidade aberta das argamassas.

4.4. ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados da absorção de água para as formulações aos 28 dias de cura são apresentados na figura 27.



Fonte: Autor, 2015

A absorção de água apresentou comportamento inversamente proporcional à densidade aparente e relação direta com a porosidade aberta. A associação entre essas propriedades é justificada por Rato (2006), na qual relata que materiais porosos terão maior absorção de água por capilaridade, além de aumentar proporcionalmente com o acréscimo de porosidade aberta.

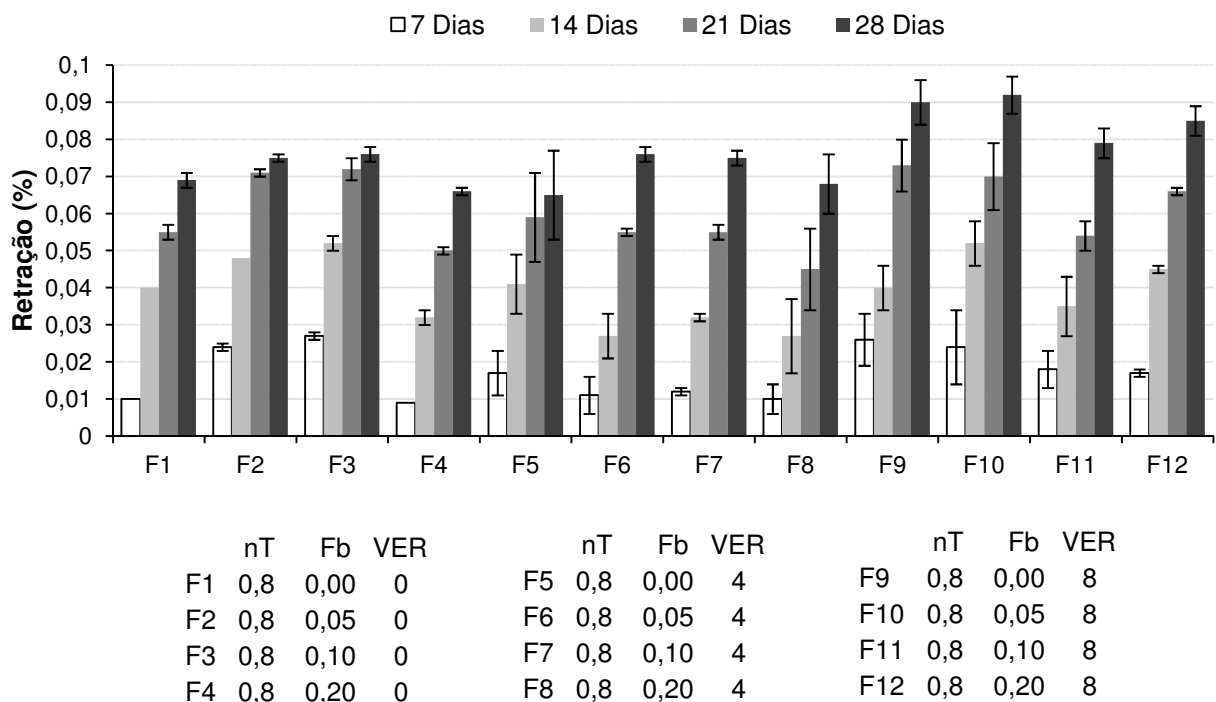
Os resultados mais relevantes foram observados pela presença da VER. Com 4% VER apresentou um aumento de 80%, enquanto que 8% VER, um acréscimo de 170% em relação a amostra REF. Já a Fb não demonstrou impactos na absorção de água.

4.5. RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS

O gráfico indicado na figura 28 mostra os resultados da retração de todas as formulações para as idades de 7, 14, 21 e 28 dias de cura.

A retração apresentou resultados distintos em função da variação da quantidade de água e dos teores das adições utilizadas. Para Oliveira (2001) “os fatores que afetam a retração das argamassas são o teor de aglomerante, o volume de água, a granulometria dos agregados e as condições ambientais.”.

Figura 28: Retração das argamassas com 7, 14, 21 e 28 dias de cura



Fonte: Autor, 2015

As maiores variações foram encontradas nas formulações contendo 8% VER, certamente causado pela maior quantidade de água na mistura, que influencia na porosidade interna do material.

Para as formulações com 4% VER, os valores de retração não apresentaram variações relevantes aos 28 dias quando comparado com a amostra REF, apesar do aumento de 37% na quantidade de água.

Quanto ao uso da Fb, nota-se que sua influência é menos relevante que a VER, porém para todos os percentuais de VER, observou-se um pequeno

decréscimo da retração com o aumento do percentual de Fb. Segundo Figueiredo, Tanesi e Nince (2002) apud Figueiredo (2011) as fibras de polipropileno possuem a característica de redução à taxa de exsudação, diminuindo a retração do material devido à dificuldade de movimentação da água no interior do material. Para as formulações com 0% e 4% de VER, as maiores reduções foram com 0,2% Fb, e para 8% VER, a maior queda foi para 0,1% Fb. Esse comportamento se observou constante para todas as idades.

4.6. RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados obtidos através do ensaio de resistência a flexão aos 28 dias de cura, analisando a influência da Fb e da VER nas formulações com nT, são mostrados na figura 29.

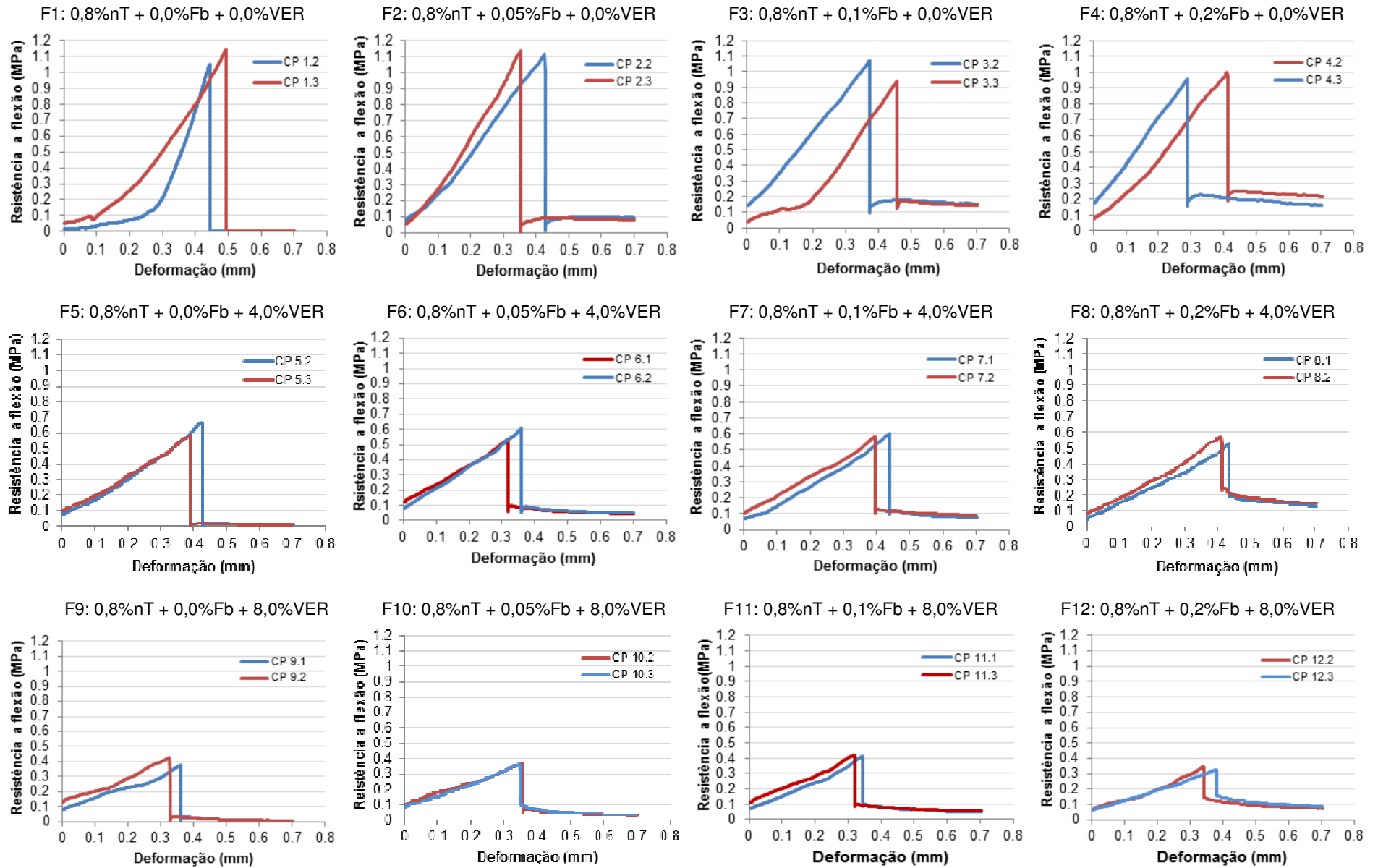
Como era esperado, os gráficos mostram que a resistência à flexão depende do teor de VER, assim como a resistência residual, pós-ruptura, depende do teor de Fb adicionado.

Nitidamente, a formulação com 0,8nT + 0,0Fb + 4VER apresentou uma queda de aproximadamente 40% da resistência máxima da formulação REF. Assim como a formulação com 0,8nT + 0,0Fb + 8VER que reduziu a resistência em aproximadamente 60%. Essa queda pode ser justificada pelo fato de que a VER substituiu parte da matriz cimentícia, reduzindo a densidade e aumentando a porosidade da matriz. Essas propriedades são inversamente proporcionais à resistência a flexão das argamassas.

Além disso, outro parâmetro que pode ter influenciado na perda de resistência é a quantidade de água utilizada nas amostras 4% e 8% de VER. Segundo Bauer (2005), geralmente com o intuito de melhorar a trabalhabilidade da mistura, o excesso de água acarreta em perda de resistência mecânica, causando fissurações ao revestimento.

O maior impacto foi sofrido pela formulação com 0,8nT + 0,2Fb + 8VER, que apresentou uma perda na resistência máxima à flexão na ordem de 70% em relação a amostra REF.

Figura 29: Resistência à flexão das argamassas com 28 dias de cura



Fonte: Autor, 2015

Além da resistência máxima, outro parâmetro analisado foi a resistência residual, gerada pela presença da Fb. Nota-se que nas formulações 0,8nT + 0,0Fb + 0VER, 0,8nT + 0,0Fb + 4VER e 0,8nT + 0,0Fb + 8VER, por não apresentarem Fb na sua composição, a tensão após a ruptura é imediatamente nula. Entretanto as demais formulações, após a ruptura, apresentaram ainda resistências à flexão, que apesar de pequenas, impedem o rompimento total da amostra.

Segundo Figueiredo (2011), há redução da velocidade da propagação das fissuras e o compósito deixa de apresentar caráter frágil, tornando-se pseudo-ductil.

De fato, quanto maior o percentual de Fb, maior é a tensão residual. Isso é observado para todas as formulações. O efeito ponte da Fb é ilustrado na figura 30.

Figura 30: Efeito ponte gerado pela Fb na matriz



Fonte: Autor, 2015

Durante a tensão residual, foi observado que existe um comportamento elástico da Fb, ou seja, após a ruptura, a tensão reduz, em alguns casos, próximo a zero, e aumenta em função do deslocamento até o ponto que se mantém constante.

Esse comportamento é mais evidente nas amostras sem VER, mas ocorre também nas demais em menores proporções.

Nas formulações com 0,2 Fb pode ser observada uma pequena redução da tensão máxima. Apesar de que nesse trabalho a redução foi relativamente pequena, esse fato pode ser justificado pelo mau espalhamento das fibras durante a mistura, formando grumos (figura 31).

Figura 31: Acúmulo de Fb no interior das argamassas



Fonte: Autor, 2015

Os grumos, que são acúmulos de Fb, podem ocasionar pontos de fragilidade na matriz, afetando diretamente a resistência das argamassas, principalmente à tração.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste trabalho de pesquisa, foi possível concluir que a vermiculita (VER) e a fibra de polipropileno (Fb) influenciaram as propriedades físicas e mecânicas das argamassas com nanotitânia (nT), em diferentes níveis, dependendo do teor utilizado.

A adição de VER em até 4% causou menores impactos, mas acima deste valor, as argamassas apresentaram alterações significativas. Por exemplo, com 8% VER ocorreu um aumento de até 87% (porosidade aberta), o que acarretou em efeitos negativos na resistência a flexão (68%), aumento da retração (28%) e absorção de água (170%). Como esperado, a densidade aparente das argamassas sofreu reduções gradativas de até 33% quando comparado à argamassa de referência, confirmando a capacidade de reduzir o peso das estruturas.

A presença da Fb em até 0,05% não apresentou grandes alterações nas propriedades das argamassas estudadas. Porém, as formulações com 0,1% Fb apresentaram uma melhora significativa. Além disso, todas as amostras com 0,2% Fb diminuíram a retração para todas as idades, indicando a importância do ajuste da dosagem da referida adição. Em termos de resistência a flexão, o seu efeito foi observado principalmente após o rompimento da matriz, onde as fibras atuaram como pontes de transferência, inibindo o aumento da fissuração e, portanto, impediram a ruptura total imediata do material após alcançar a resistência máxima. Tais benefícios foram observados em diferentes níveis à medida que a quantidade de Fb foi incorporada a mistura.

Apesar das adições VER e Fb serem os principais elementos analisados nesta pesquisa, a influência da água não pode ser desconsiderada. De fato, o aumento da quantidade de VER requereu acréscimos gradativos de água de modo a manter a trabalhabilidade constante, influenciando, portanto, as propriedades das argamassas. A quantidade adicional de água foi também responsável pelo aumento da porosidade aberta, que conseqüentemente aumentou a absorção de água e fragilizou as argamassas em termos de resistência a flexão.

De qualquer modo, conclui-se que o uso de até 4% VER foi um percentual que viabilizou a sua utilização sem grandes impactos nas propriedades, assim como 0,1% Fb, que também apresenta resultados satisfatórios, sendo estes, portanto, os

teores mais adequados, levando em conta as propriedades estudadas nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

Araújo Junior, R. G. S., **Desenvolvimento de sistemas de pastas leves para aplicação em cimentação de poços petrolíferos com baixo gradiente de fratura**. 133p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7200: **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por imersão-índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 11355: Vermiculita expandida – Análise granulométrica – Método de ensaio. 2015

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

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

_____. NBR 13279: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. NBR 15261: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)**. Rio de Janeiro, 2005.

ACI Committee 544, **State of Art report on Fiber Reinforced Concrete**, 2002.

Bagherzadeh, R., Pakravan, H. R., Sadeghi, A., Latifi, M., Merati, A. A., **An Investigation on adding Polypropylene Fibers to Reinforce Lightweight Cement Composites (LWC)**. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. v. 7, Issue 4, 2012.

Bastos, P. K. X., **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 2001. 190p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

Bentur, A., Mindess, S., **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. 2nd ed., Taylor & Francis, 2007

Bauer, E. **Revestimento de argamassa – Características e peculiaridades**. 1. ed. B Brasília: LEM-UnB – SINDUSCON/DF. 2005

Carasek, H., **Notas de aula – Argamassas**, cap. 26, Universidade Federal de Goiás, 2007. Disponível em: <http://aquarius.ime.ub.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf>. Acesso em 20 de Abril de 2015.

Casagrande, C. A. **Estudo da incorporação de partículas de titânica em argamassas fotocatalíticas**. Universidade Federal de Santa Catarina - Dissertação (Mestrado). Florianópolis. 2012.

Cincotto, M. A.; Nakakura, E. H. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: EPUSP, 2004. 20p. (Série Boletim Técnico BT/PCC/359).

Cintra, C. L. D., Paiva, A. E. M., Baldo, J. B., **Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus – Propriedades relevantes**. Cerâmicas. v. 60. p. 69-76. 2014.

Cortez, I.M.M. **Contribuição ao estudo dos sistemas de revestimento à base de argamassas com incorporação de fibras sintéticas**. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília – Dissertação (mestrado). Brasília, 219p, 1999.

Coutinho, S. M., Pretti, S. M., Tristão, F. A., **Argamassa preparada em obra x argamassa industrializada para assentamento de blocos de vedação: Análise do uso em Vitória-ES**. Teoria Prática na Engenharia Civil. v. 21. p. 41-48. 2013.

Dias, L. A.; Carasek, H., **Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo**. V simpósio brasileiro de tecnologia. p. 543-555, 2003.

Do Ó, S. W., **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. 2004. 173p. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) – Faculdade de tecnologia – Distrito Federal, Brasília.

Boonen, E., Beeldens, A., **Recent Photocatalytic Applications or Air Purification in Belgium**. Coatings. v.14, p. 553-573, 2014.

Figueiredo, A. D., **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 247p. Dissertação (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Fioroto, A. J. S. I., **Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução**, 2ªEd, Editora Pini Ltda, São Paulo, 2009.

- Gonçalves, H., Gonçalves, B., Silva, L., Vieira, N., Raupp-Pereira, F., Senff, L., Labrincha, J. A., **The influence of porogene additives on the properties of mortars used to control the ambient moisture.** Energy and Buildings, v. 74, p. 61-68, 2014a.
- Gonçalves, H., Gonçalves, B., Silva, L., Raupp-Pereira, F., Senff, L., Labrincha, J. A. **Development of porogene-containing mortars for levelling the indoor ambient moisture.** Ceramics International, v. 40, p. 15489-15495, 2014b.
- Gregório, J. C. V., Lintz, R. C. C., **Estudo da influência da incorporação de vermiculita nas propriedades mecânicas de argamassas.** Anais do XIV encontro de iniciação científica da PUC-Campinas. 2009
- Husken, G., Fome, M., Brouwers, H. J. H., **Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification.** Building and Environment. v.44, p. 2463-2474, 2009.
- Johannesson, B., Utgenannt, P., **Microstructural changes caused by carbonation of cement mortar.** Cement and Concrete, v.31, p. 925-931, 2001.
- Koksal, F., Gencil, O., Kaya, M., **Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures.** Construction and Building Materials. v. 88, p. 175-187, 2015.
- Libre, A. N., Shekarchi, M., Mahoutian, M., Sorouschian, P. **Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice.** Construction and Building Materials, v. 25. p. 2458-2464, 2011.
- Licciulli, A, Rocca, A., Leopardi, A. **I Materiali Fotocatalitici.** Scienza e Tecnologia Dei Materiali Ceramici. Itally, 2008.
- Maia, A. Titânio. **Balanço Mineral Brasileiro.** Brasília, 2001.
- Mguing, B. Calatayud, M. Minot, C. CO oxidation over anatase TiO₂-(001). Journal of Molecular Structure (Theochem). v. 709. p. 73-78, 2004
- Nascimento, M. C. B., **Argamassa térmica produzido com resíduos da exploração e processamento mineral de caulim e vermiculita expandida.** 2008. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Ochoa, Y., Ortegón, Y., Páez, J. E. R., **Síntesis de TiO₂, fase anatasa, por el método sol-gel: estudio del efecto de la presencia de AcacH en el sistema.** Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia. v.52, p. 29-40. 2010
- Oliveira, M. L. L., **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas.** 2001. 171p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Oliveira, V.V. Síntese de nanofitas de titanatos de sódio com potencial fotocatalítico bacteri

Oliveira, M. L. L., Gleiza, P. J. P., Roman, H. R., **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas**. V SBTA Simpósio brasileiro de tecnologia argamassas, p. 479-491, São Paulo, 2003.

Paula, R. F., **Vermiculita**. Sumário Mineral, v. 34, p. 122-123, 2014.

Paulo, R. S. V. M. N. **Caracterização de Argamassas Industriais**. 2006. p. 179. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade de Aveiro, Aveiro.

Quarcioni, V. A., Chotoli, F. F., Ângulo, S. C., Guilge, M. S., Cavani, G. R., Castro, A. L., Cincotto, M. A., **Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes**. Ambiente Construído, v.9, n.4, p. 175-187, 2009.

Raquel, F., Nogueira, P., Jardim, W. F., **A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental**. Química Nova, v. 21, p. 69-72, 1998.

Rato, V. N. P. M., **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. 294p. Dissertação (Doutorado em engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Lisboa.

Recena, F. A. P., **Conhecendo Argamassa**, 2ªed, Editora EDIPURS, Rio Grande do sul, 2011.

Ribeiro, R. A., Silva, L. M., Ferreira, V. M., Labrincha, J. A., **Estudo da influência de cargas leves nas propriedades de uma argamassa bastarda**. APFAC – Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de Construção, 1º Congresso de Argamassas de Construção, 2005.

Salvador, R. P., Figueiredo, A. D. **Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço**. Revista Matéria. v. 18, p. 1273-1285, 2013.

Silva, H. H. A. B., **Caracterização Mineralógica e Filiação da Vermiculita da Mina Cerrado III – Sanclerlândia – GO**. 2006b, 127p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília.

Silva, F. G. S., **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassas**, 2006c. 239p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção civil) –Universidade de Brasília, Distrito Federal.

Silva, L. M., Ribeiro, R. A., Labrincha, J. A., Ferreira, V. M., **Role of lightweight fillers on the properties of a mixed-binder mortar**. Cement & Concrete Composites, v.32, p. 19-24, 2010

Silva, C. R., **Avaliação de diferentes tratamentos de base aplicados sobre alvenaria de bloco cerâmico na aderência da argamassa: Estudo de caso**. 2011. 150. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/numeros/numeros.asp?path=ProducaoRegional2014.gif>>. Acesso em 29 de Novembro de 2015.

Siqueira, J. E. L., **Utilização de fibras naturais e sintéticas em argamassas de revestimento de alvenaria: Estudo comparativo de desempenho**. 2006. 217p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Tanesi, J. **A influência das fibras de polipropileno no controle da fissuração por retração**. 1999. 132p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo

Tanesi, J., Figueiredo, A. D. Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP). Boleim técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

Ugarte, J. F. O., Sampaio, J. A., França, S. C. A., **Vermiculita**, CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia. p. 865 – 887, 2008