Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ADIÇÃO DE DIÓXIDO DE TITÂNIO EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS: UMA REVISÃO DE MÉTODOS PARA EVITAR A FORMAÇÃO DE MANCHAS EM FACHADAS PREDIAIS

C. THOMÉ
Estudante
Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC
Rio Grande do Sul; Brasil
camilathome@mx2.unisc.br

G. AUSTRIA
Docente
Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC
Rio Grande do Sul; Brasil
gabiaustria@gmail.com

RESUMO

A poluição ambiental proveniente da indústria ou de fatores urbanos vem aumentando constantemente, causando problemas relacionados à estética e à durabilidade em edificações, principalmente em suas fachadas. Uma maneira para evitar manifestações patológicas provenientes da poluição ambiental é o fenômeno de autolimpeza, o qual é realizado a partir de dois componentes, atividade fotocatalítica (degradação de poluentes absorvidos na superfície) e atividade super-hidrofílica (que permite que a superfície seja facilmente limpa com a chuva). A fim de diminuir estas manifestações, substâncias com atividade fotocatalítica como o TiO_2 (dióxido de titânio) são empregadas, as quais vem sendo muito estudadas em laboratório e indústrias. O presente trabalho oferece uma revisão bibliográfica sobre a adição de TiO_2 em materiais cimentícios através de comparações quanto a forma que esta substância pode ser melhor utilizada em fachadas prediais (misturas com argamassa, pasta de cimento, concreto, película de TiO_2 para encobrir a fachada), e uma análise da possibilidade de potencialização da atividade fotocatalítica do TiO_2. A partir dos dados obtidos, foi concluído que a melhor maneira do material ser utilizado em fachadas prediais é a película de TiO_2 para encobri-la.
Palavras chaves: Dióxido de titânio, autolimpeza, estética e durabilidade, materiais cimentícios, manifestações patológicas.

ABSTRACT

Environmental pollution from industry or urban issues is increasing constantly, leading to problems related to aesthetics and durability in buildings, mainly in their facades. One way to avoid pathological manifestations from environmental pollution is the self-cleaning phenomenon, which happens from two components, photocatalytic activity (pollutant degradation absorbed on the surface) and super-hydrophilic activity (which allows the surface to be easily cleaned in the rain). In order to reduce these manifestations, substances with photocatalytic activity such as TiO2 (titanium dioxide) are used, which has been much studied in laboratory and industry. This paper provides a literature review on the addition of TiO2 in cementitious materials through comparisons about the way that this substance can be best used in building facades (mixtures with mortar, cement paste, concrete, TiO2 layer to cover the facade), and an analysis on the possibility of enhancement of photocatalytic activity of TiO2. From the data obtained, it was concluded that the best way the material is used in building facades is the TiO2 layer to cover the facade.
Key words: titanium dioxide, self-cleaning, aesthetics and durability, cementitious materials, pathological manifestations.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O dióxido de titânio (TiO_2) é um dos fotocatalisadores mais eficientes e utilizados atualmente, essa substância existe, em sua maioria, na forma cristalográfica de rutilo e anatásio [1], sendo a última mais utilizada em teste com materiais cimentícios e portanto será referido neste trabalho. O fenômeno da fotocatálise é um fenômeno em que um composto recebe luz, e com isso acelera a velocidade de uma reação química sem ser consumido [1].

A aplicação deste composto em materiais de construção começou ao final da década de 1980. Até então, dois importantes aspectos deste componente tinham sido descobertos, em primeiro lugar, a ação de autolimpeza, que é ativada a partir da incidência de luz solar (raios U.V.) sobre a superfície fotocatalítica. Em segundo lugar, descobriu-se a ação hidrofílica da superfície catalítica, o que melhora o fenômeno de autolimpeza. Este fenômeno consiste na facilidade com que químicos inorgânicos, que causam sujeira e manchas na superfície, podem ser removidos com a água da chuva, esta passando entre a substância absorvida e a superfície de TiO_2 (fig. 1) [1,3,5,9]. Sendo assim, uma das principais vantagens com uso do TiO_2 é que os únicos requisitos para sua ação são água, oxigênio e luz solar [9].

Esta substância é principalmente utilizada em revestimentos construtivos externos, revestimentos internos, construção de estradas, entre outros. Porém seu efeito é potencializado quando utilizado em ambientes externos, [1,3,5] a baixa energia fornecida pela luz visível em ambientes internos é insuficiente para induzir a fotocatálise do TiO_2 [5]. A figura 1 representa o processo de decomposição de poluentes, demonstrando como o lençol de água formado pela super-hidroficilidade do TiO_2 facilita a limpeza de compostos das fachadas prediais [1].

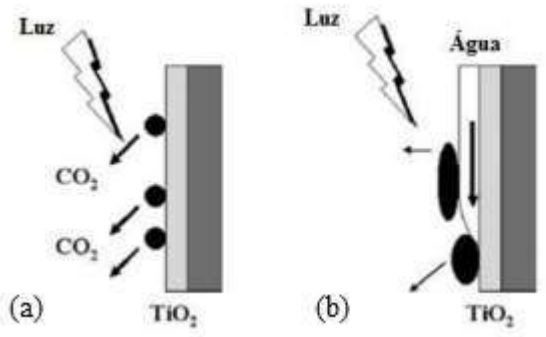

Figura 1: (a) CO_2 como produto de reação de decomposição de poluentes; (b) lençol de água formado pela super-hidrofilicidade do dióxido de titânio, lavando os produtos das reações de decomposição [1].

A principal razão pela qual o TiO_2 começou a ser utilizado foi devido a poluição ambiental proveniente da indústria ou de fatores urbanos, que estão aumentando constantemente, causando problemas de estética e durabilidade para estruturas urbanas expostas na atmosfera [4,9], fato que causa um aumento em custos de manutenção, principalmente de fachadas de edifícios. Além dos benefícios já citados, o TiO_2 também decompõe poluentes atmosféricos, como o CO_2 e NOx [1].

Existem várias maneiras de utilizar o TiO_2 para evitar a formação de manchas na fachada de edificações, dentre eles podemos destacar: o uso na pasta de cimento [1,2,4], na argamassa [2,3,4], no concreto [5] ou com uma película de TiO_2 sob a fachada finalizada [3,4]. Para poder fazer deste um produto mais comercial, é preciso a utilização de pigmentos, pois a cor original do composto é branca. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar em qual material cimentício, dos citados acima, o TiO_2 teria melhor desempenho, custo-benefício, como também, maneiras de potencializar seu uso.

Foram reunidas informações de diferentes autores acerca de estudos sobre as distintas aplicações do TiO_2 em materiais cimentícios. Através das informações obtidas foi feita uma comparação entre os resultados encontrados por cada autor, os quais foram discutidos. Finalizando com a conclusão de qual material cimentício possui o melhor desempenho e custo-benefício para aplicações de fachadas, objetivando a autolimpeza das mesmas e garantindo menos custos em manutenções.

3. CARACTERÍSTICAS DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS PRODUZIDOS COM TiO_2

3.1 Fluidez da argamassa

Uma das carências ao introduzir o TiO_2 em materiais cimentícios é a redução da sua trabalhabilidade, devido sua grande área de contato. A fluidez da argamassa cimentícia diminui consideravelmente em função da adição de TiO_2, fazendo com que a quantidade de TiO_2 seja inversamente proporcional a fluidez do material [6]. A diminuição na trabalhabilidade da argamassa pode ser uma característica prejudicial à sua aplicação, visto que esta diminui o tempo em aberto da mesma, dificultando a ancoragem da argamassa e causando possíveis problemas em relação à aderência. Este fato pode ser superado utilizando uma equipe de aplicação preparada para esta característica, que produza o material em menor quantidade e o aplique mais rapidamente.

O aumento na necessidade de água quando a partícula for adicionada deve-se ao fato do seu pequeno tamanho e elevada área superficial, que por sua vez, absorve mais água na superfície [6]. A adição de mais água aumenta a relação a/c, o que consequentemente deveria diminuir a resistência à compressão do material, porém isso não acontece, devido a aceleração da hidratação e diminuição dos poros, fatos que serão melhor explicados posteriormente.

3.2 Calor de hidratação

A influência do TiO_2 no processo de endurecimento das pastas de cimento foram avaliadas medindo seu tempo de pega. Resultados mostraram que o TiO_2 tinha como efeito a aceleração da hidratação nos materiais cimentícios [6] fato que consequentemente diminui o tempo de pega.

O rápido endurecimento pode ser uma característica positiva para agilizar o andamento da obra, e também faz com que seja alcançada maior resistência na ‘primeira idade’ do material cimentício.

3.3 Distribuição de poros

Devido à argamassa ser um material poroso, a distribuição dos diferentes tamanhos de poros influencia significantemente nas propriedades dos materiais a base de cimento [6].

Os efeitos da adição de TiO_2 na distribuição dos poros de cimentos endurecidos foram analisados, sendo possível avaliar que houve diminuição dos poros. A tendência à diminuição dos poros acumulados é percebida quando maior a porcentagem de adição de TiO_2 [6].

A adição de TiO_2 diminui os ângulos de contato dos materiais a base de cimento, como também a refinação dos poros, efeitos que contribuem para redução de perda de água durante o tempo de secagem [6] causando uma molhabilidade mais duradoura na pasta cimentícia. O que deveria fazer com que o material mantivesse a sua trabalhabilidade por mais tempo, porém, como já dito, este fato não acontece pela grande área superficial causado pelos pequenos diâmetros do TiO_2.

Porém, isto não ocorre somente pelos efeitos da aceleração da hidratação, como descrito acima, a diminuição dos poros [6] também possui um grande papel neste melhoramento. Isso acontece devido ao TiO_2 ser um material fino, o que faz com que ele feche alguns poros da argamassa, o que consequentemente melhora a resistência à compressão e normalmente à tração também. Pois poros que seriam pontos fracos para um rompimento já não existem mais pela adição do material fino.

3.4 Retração por secagem

A retração por secagem do material cimentício com a adição de TiO_2 é minimizada pela redução de água perdida pelo efeito de refinação de poros e pelo aumento da molhabilidade da pasta [6]. Isso faz com que o material varie menos de volume depois da perda de água, ou seja, quando estiver endurecido, o que resulta em menos material a ser utilizado para obter o mesmo resultado.

As afirmativas do tópico 2.1 se referem a nano partículas de TiO_2 [6], este tipo de partícula também auxilia no efeito da atividade fotocatalítica, tendo em vista que diâmetros largos e pouca área de contato prejudicam este efeito devido à pouca absorção de reagentes [7]. No entanto, no caso de substâncias que não são absorvidas, a partícula de TiO_2 com

melhor desempenho é aquela que tem o maior diâmetro, alta cristalinidade e elevado teor de TiO_2 na forma de anatásio [7].

4. UTILIZAÇÃO E DESEMPENHO DO TIO_2 EM DIFERENTES MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Tabela 1: Comparação de autores

Artigos	Principais abordagens	Material cimentício utilizado	Porcentagens de TiO_2 utilizado
[3] Diamanti *et al* (2008)	Ação de autolimpeza e porcentagem de TiO_2 com melhor custo-benefício	Película de TiO_2 e argamassa	2%, 3%, 5% e 10%
[2] Bertrand Ruot *et al* (2009)	Ação de autolimpeza e comparação de desempenho entre os diferentes materiais cimentícios	Pasta de cimento e argamassa	1%, 3% e 5%
[8] Weigup Shen *et al* (2015)	Ação de autolimpeza e modificação na aspereza da superfície	Concreto	2,5%, 5% e 7,5%
[4] Diamante *et al* (2013)	Ação de autolimpeza em material cimentício com pigmento	Argamassa	5%

4.1 Comparação na adição de TiO_2 em argamassa e película de revestimento

Diamanti et al (2008), no estudo entitulado "Caracterização de propriedades fotocatalíticas e superhidroficilidade de argamassas contendo dióxido de titânio" avaliaram o comportamento de argamassas com película de TiO2, por meio de testes de exposição atmosférica durante 4 meses, sendo que nos primeiros 70 dias, as argamassas foram expostas ao ambiente urbano; e nos 50 dias posteriores foram mantidas dentro de uma câmara provida com lâmpadas que simulam a luz solar. O segundo período foi formulado para entender se uma irradiação artificial poderia realmente promover o processo de autolimpeza. Os autores obtiveram as seguintes conclusões:

a) Os testes de exposição atmosférica, evidenciaram a atividade de autolimpeza das argamassas analisadas.

b) A película de TiO_2 não contém nenhuma partícula deste material em massa, o elemento fotoativo foi apresentado em uma camada sobre a superfície, como uma tinta no material da fachada.

c) Nos testes iniciais de fotoatividade, a amostra de cobertura de superfície foi a que obteve o melhor desempenho, entretanto, no teste de autolimpeza, obteve o pior resultado entre as amostras. Seu baixo resultado na atividade de autolimpeza, se deve ao fato de problemas na fixação da película de TiO_2 sob as condições climáticas e ambientais, isto é, chuva e vento. O que torna esse produto, atualmente, pouco atrativo comercialmente.

d) A atividade das amostras apresentam resultados diferentes contendo a mesma porcentagem de anatásio. O exemplo disso foi amostra com 5% de TiO_2 em suspensão e amostra com 2,5% em suspensão e 2,5% em pó o que mostra que a diferença dentre os resultados é devido a diferentes granulometrias, causando diferente interação com a matriz cimentícia, e não pela porcentagem contida de TiO_2

e) Comprovou-se que a mistura de duas formas de anatásio levou a efeitos sinérgicos, ou seja, o uso de diferentes granulometrias de TiO_2 favorece a ação fotocatalítica. Fato que é promissor e interessante para aplicações industriais reais

Além dos testes descritos acima, Diamanti *et al* (2008) também realizou testes em relação as propriedade hidrofílicas que o TiO_2 proporciona as amostras, tal propriedade auxilia na autolimpeza e faz com que a água da chuva limpe facilmente qualquer princípio de mancha. Segundo os autores:

a) O ângulo de contato formado pela água nas amostras sob a sua superfície foi mensurado (fig. 2), tal ação foi feita para descobrir como a molhabilidade das amostras se modificam após a incidência aos raios U.V. Estes

testes têm a intenção de avaliar se é possível alcançar um estado de superhidrofilicidade, atribuído à superfície de fotoatividade.

b) Algumas amostras mostram uma considerável diminuição do ângulo de contato, mas como nos outros resultados, a que obteve o melhor resultado foi a da película de TiO_2. A amostra com 10% de anatásio não mostrou uma grande diminuição no ângulo de contato depois da irradiação solar.

c) A excelente fotoatividade da película de TiO_2 foi comprovada em todos os testes, entretanto este tipo de revestimento ainda necessita de estudos mais afundo quanto a sua fixação para poder ser considerado comercialmente. A amostra com maior teor de anatásio (10%) se tornou imprópria por motivos econômicos, quanto maior a porcentagem de TiO_2 maior o preço desta argamassa.

d) Dentre os motivos descritos acima, e pelos resutados obtido foi contatado que o revestimento mais apropriado seria a argamassa de 3% de anatásio em pó e de 2% em suspenção, com um total de 5% de TiO_2. Essa amostra conseguiu bons resultados em ambos aspectos, atividade fotocatalítica e notável variação na interação da água com a superfície, que se tornou superhidrofílica depois da exposição aos raios U.V, facilitando a limpeza da superfície.

A figura 2 demonstra como foi analisado o ângulo de contato da água em relação a superfícies das amostras.

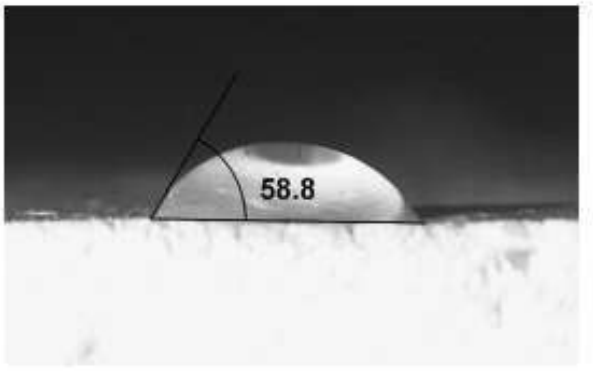

Figura 2: A medição do ângulo de contato da água na superfície das amostras, através do software de análises de imagens [3].

4.2 Comparação de desempenho entre argamassa e pasta de cimento com adição de TiO_2

Ruot *et al* (2009), no estudo intitulado "Pastas de cimento e argamassas contendo TiO_2: As medições da eficiência fotocatalítica utilizando um teste colorimétrico com rodamina B", compararam as atividades fotocataliticas e de autolimpeza em argamassas e pastas de cimento. Eles foram mensurados quanto a degradação de um pigmento orgânico, neste caso a rhodamina B (RhB), sendo que quanto maior a degradação do pigmento na sua superfície, maior a ação das atividades fotocatalíticas e autolimpantes. Com intuito de analisar qual seria a melhor quantidade de TiO_2 a ser adicionada ao material cimentício, foram utilizadas nos experimentos 1%, 3% e 5% de adição de TiO_2. Foi considerado que, quanto maior atividade, maior a quantidade de partículas de TiO_2 haviam ficado na superfície do material cimentício. Os autores obtiveram as seguintes conclusões:

a) Algumas amostras mostram uma considerável diminuição do ângulo de contato, mas como nos outros resultados, a que obteve o melhor resultado foi a da película de TiO_2. A amostra com 10% de anatásio não mostrou uma grande diminuição no ângulo de contato depois da irradiação.

b) A relação de TiO_2 na superfície da pasta de cimento foi considerada proporcional à quantidade de TiO_2 colocado na mistura. Enquanto na argamassa, essa mesma relação foi considerada não proporcional, com 1% de TiO_2 foram obtidos resultados extremamente baixos, para 3% extremamente altos e para 5% um pouco à baixo que em 3%.

c) Tais resultados indicam que algumas partículas de TiO_2 se depositam nos poros largos na superfície da argamassa, resultantes da presença de areia, que por consequência, não são completamente atingidos pelos raios U.V.

d) A atividade fotocatalítica da argamassa não aumentou significativamente com a porcentagem de TiO_2; de 0 a 1% apresentou uma diferença considerável, mas de 1 a 5% permaneceu quase constante. Indicando que não é relevante adicionar mais de 1% de TiO_2 em argamassas.

e) Enquanto isso, a atividade fotocatalítica da pasta de cimento aumentou quase que proporcional à quantidade de TiO_2, tendo menor atividade que a argamassa até aproximadamente 1%, e depois disso tendo uma grande diferença. Chegando a aproximadamente 0,65 de atividade fotocatalítica em 5%, enquanto a argamassa não passou de 0,25.

As figuras 4 e 5 mostram as variações na relação entre colorimétrica (a*) e o tempo, para pasta de cimento e argamassas tendo diferentes quantidades de TiO_2. Para pasta de cimento, a taxa de descoloração nas primeiras 3 horas de exposição parecem ser as mais importantes quanto ao crescimento da porcentagem de TiO_2. Com 5% de TiO_2 adicionado, a coloração inicial quase desapareceu ao fim do teste. A mesma tendência não foi tão visível para argamassas, devido as colorações iniciais serem distintas. Entretanto, o efeito do TiO_2 na descoloração da rhodamine B ficou evidente.

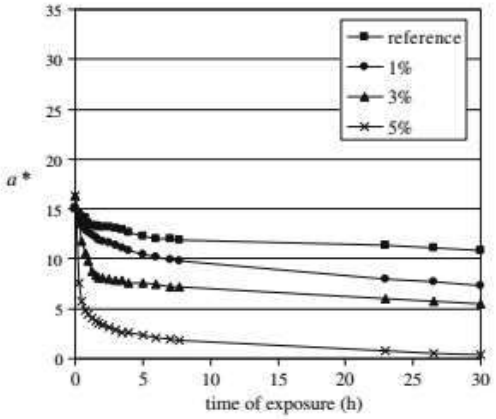

Figura 4: Variação, ao longo do tempo, da RhB aplicada na pasta de cimento; influência do TiO_2 no material cimentício [2].

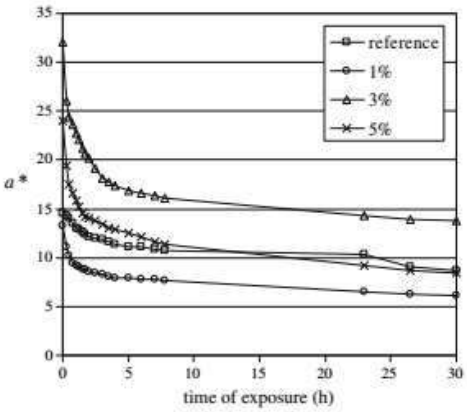

Figura 5: Variação, ao longo do tempo, da RhB aplicada na pasta de cimento; influência do TiO_2 no material cimentício [2].

4.3 Concreto autolimpante

Weiguo Shen *et al* (2014), no estudo intitulado "Preparação de concreto autolimpante com nanopartículas de dióxido de titânio fotocatalítico modificado" criaram um concreto autolimpante, algo considerado impossível de ser feito devido a sua superfície áspera. Tal característica impediria os raios U.V de ativarem as partículas de TiO_2 além de impedir a formação do lençol de água o que facilita a limpeza da superfície pela água da chuva, este novo tipo de concreto tem como promessa ser usado como material de acabamento autolimpante em zonas urbanas. Para produzir a superfície superlisa, foi utilizado o C-S-H. Com o objetivo de comprovar a ação de autolimpeza do concreto, foram realizados testes através da capacidade de degradação do pigmento 'MB blue', sendo este de base orgânica. Entendendo que, quanto mais o pigmento fosse degradado maior seria a ação do TiO_2 sob a superfície do concreto. As porcentagens de TiO_2 utilizadas nos testes foram de 2,5%, 5% e 7,5%. Os autores obtiveram as seguintes conclusões:

a) Algumas amostras mostram uma considerável diminuição do ângulo de contato, mas como nos outros resultados, a que obteve o melhor resultado foi a da película de TiO_2. A amostra com 10% de anatásio não mostrou uma grande diminuição no ângulo de contato depois da irradiação.

b) O concreto tem a aparência de um vidro, o que indica que a aspereza do concreto é menor do que o comprimento das ondas U.V. (380-780 nm) (fig. 6).

c) Ocorreram alguns defeitos na superfície, onde em alguns pontos se notou a formação de manchas, tal acontecimento se deve ao fato da superfície não ter sido completamente coberta com o C-S-H e o TiO_2.

d) Inicialmente, o concreto com 7,5% de TiO_2 obteve uma degradação muito maior do que as de menor porcentagem, mas com o maior tempo de exposição essa diferença se tornou menos notável. As partículas de TiO_2 foram usadas somente na superfície do concreto, para que ele se tornasse mais econômico.

A figura 6 apresenta a superfície do concreto superliso através dos resultados obtidos pelo equipamento SPM (Sonda de Imagem Microscópica), demostrando que irregularidades em sua superfície só são notadas com uma aproximação extremamente grande.

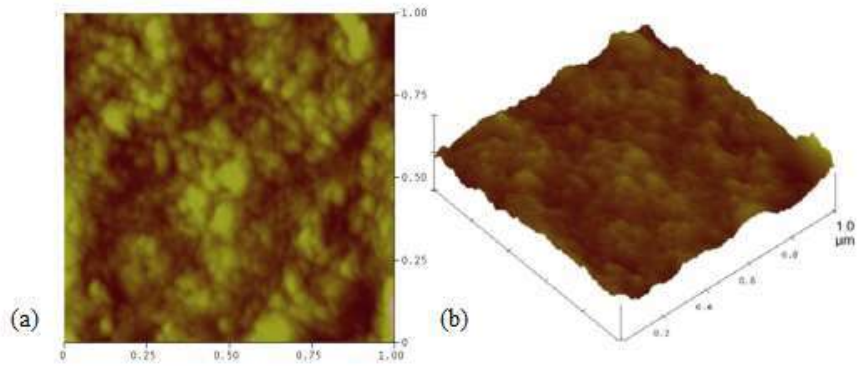

Figura 6: (a) Imagem vista de cima de 1 µm x 1 µm de área do concreto super liso;
(b) imagem topográfica da mesma área [8].

4.4 Maria Vittoria Diamanti (2013): Adição de pigmento em argamassa fotocatalítica

Diamanti *et al* (2013), no estudo intitulado "Atividade fotocatalítica e auto-limpeza de argamassas coloridas contendo TiO_2" avaliaram o comportamento da autolimpeza em argamassas pigmentadas, contendo a porcentagem total de TiO_2 de 5%, sendo 3% em pó e 2% em suspensão. A adição de pigmentos na argamassa fotocatalítica foi feita com diferentes tipos de óxido de ferro, como: Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeOOH ou a mistura dos três, produzindo pigmentos vermelho, cinza, amarelo e marrom. A coloração natural, branca, também foi utilizada, seu principal uso sendo como referência para definir se houve ou não influências do pigmento nas propriedades autolimpantes do material. Para fazer essa comparação foi utilizado o teste de rhodamina B (RhB), o teste é medido em quanto a atividade fotocatalítica do material é capaz de degradar a tinta. Para garantir que todas as amostras teriam a mesma quantidade de tinta de RhB,

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

elas foram submersas em sua solução aquosa e mantida ali por 14 horas. Após esse período, foram retirados e secados em um ambiente fechado em 25 ºC, com umidade relativa do ar em 60%, por 24 horas. A coloração da superfície foi medida e suas variações monitoradas sob os raios U.V durante 24 horas seguidas. Os autores obtiveram as seguintes conclusões:

a) Algumas amostras mostram uma considerável diminuição do ângulo de contato, mas a que obteve o melhor resultado foi a da película de TiO_2.

b) A amostra com 10% de anatásio não mostrou uma grande diminuição no ângulo de contato depois da irradiação.

c) Em todos os casos, argamassas brancas causaram 50% de decomposição da tinta à base orgânica, em média durante 23 horas, enquanto que as com pigmentação apresentaram uma eficiência menor, de 30%. Independentemente do tipo de pigmento, tintas à base de ferro inibem a eficiência da atividade fotocatalítica.

d) O mecanismo detalhado causando a redução da fotoatividade em argamassas coloridas, como também, a diferença observada entre os três pigmentos, estão necessariamente ligados a uma interferência entre fotoativação do TiO_2 e pigmentos a base de ferro, como a única fonte de heterogeneidade entre as amostras testadas.

e) Diferentemente do que aconteceu no teste de fotoatividade, no teste de autolimpeza houve algumas diferenças de comportamento entre os óxidos de ferro. Enquanto que as colorações cinza, marrom e vermelha foram claramente afetadas pela presença do TiO_2, fato percebido pelo maior brilho obtido nas amostras, as argamassas amarelas mostraram não ter ativação da autolimpeza.

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Em testes realizados foi comprovada a habilidade fotocatalítica do TiO_2, porém, sua eficácia não parece estar associada com a porcentagem de TiO_2 utilizada, como poderia ser deduzido, mas sim com o tamanho do cristal utilizado do material [2]. Outra característica importante a ser analisada são as primeiras 7 horas de iluminação, onde o efeito fotocatalítico é mais eficaz do que com o passar das horas. Esse fator não parece ser influenciado pela quantidade de TiO_2, ou se é utilizado em diferentes materiais cimentícios [2], sendo assim uma característica própria do elemento. Abaixo, podemos observar a diferença de desempenho do TiO_2 em materiais cimentícios distintos, como também, sua reação quando em contato com pigmentos:

(a) Argamassa: Existem diferenças da atividade fotocatalítica da argamassa para a atividade na pasta de cimento, tal diferença se deve ao fato da adição de areia na argamassa, que resultam em poros largos, onde as partículas de TiO_2 acabam se depositando, e não são totalmente atingida pelos raios U.V [2]. Como também, a porcentagem de TiO_2 adicionados na argamassa, entre 1 e 5% não afeta a atividade fotocatalítica, que permanece praticamente constante [2]. O fato da baixa atividade fotocatalítica relatada, pode estar relacionada também ao uso de um único estado de anatásio. Pois a utilização deste material em pó juntamente com uma porcentagem em suspenção provou ter resultados sinérgicos [3], o que potencializa a ação fotocatalítica e de autolimpeza.

(b) Película de TiO_2: O revestimento com TiO_2 explora melhor os componentes fotocatalíticos, já que somente a superfície pode ser ativada com os raios U.V. Enquanto o TiO_2 adicionado à massa cimentícia acaba desperdiçando o potencial do material [4]. O aspecto mais desafiador do revestimento de TiO_2 está relacionado a durabilidade, pois pode degradar pela erosão causada por agentes ambientais, ao contrário da grande estabilidade da mistura na massa [4]. Além disso, também podemos citar um problema de fixação da película na fachada predial, que devido aos fatores citados acima, acaba por se desprender [3]. Entretanto, seu potencial fotocatalítico, de autolimpeza e de diminuição de custo em TiO_2 bem superiores aos demais materiais, o que leva a importância de ter mais estudos envolvendo a fixação deste material.

(c) Pasta de cimento: A pasta de cimento com baixa porcentagem de TiO_2 possui, além das propriedades fotocatalíticas para manter a estética, agrega a resistência da estrutura [1], fato que a diferencia da película de TiO_2. A porcentagem de TiO_2 neste tipo de material tem influência na sua atividade fotocatalítica, mostrando em testes feitos por Bertrand Ruot et al (2009), um aumento proporcional a quantidade de TiO_2 utilizado [2].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

(d) Concreto: O concreto é uma das mais importantes partes do ambiente urbano, ganhando cada vez mais espaço nas construções prediais [8,9], por isso a importância de métodos que alcancem a autolimpeza neste material. A grande dificuldade para este fenômeno acontecer no concreto, é devido a sua superfície áspera [8]. Tal fato faz com que o 'lençol' de água formado pela hidroficilidade, para separar os poluentes da fachada, não se forme, pois ele só acontece em superfícies lisas [8].

Então, para a autolimpeza acontecer, é necessário fazer com que a superfície do concreto seja lisa, tal característica pode ser alcançada pela adição de Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H) no material. O C-S-H consegue este resultado através de suas nano partículas entre não cristalina e semi-cristalina, como também, ele é o principal produto para hidratação dos cimentos Portland [8]. Este novo produto é um grande avanço para o uso de concretos em construções, que atualmente já vem crescendo, fazendo com que seu custo de manutenção se torne menor e o tornando mais atrativo esteticamente.

(e) Pigmentação: Várias pesquisas sugerem que tintas com base orgânica na presença de TiO_2 não são indicadas, pois elas poderiam ser afetadas pela habilidade de fotodegradação, o que além de liberar carbono [4] também causaria manchas nas pinturas de fachadas. Por isso, as tintas à base de inorgânicos (cimento e argamassa) e misturas com adição (pigmentos como óxidos de ferro) devem sempre ser preferíveis ao invés dos ligantes orgânicos [4].
Teoricamente, as tintas à base de hidróxido também seriam uma boa opção, e até poderiam auxiliar na formação do 'lençol' de água, assim, colaborando para a autolimpeza. Entretanto não é isso que acontece, o contato do hidróxido com a água da chuva faz com que o lençol de água não aconteça, e assim a ineficácia da autolimpeza [4]. Os pigmentos tem uma grande importância comercial, tendo em vista, que a partir deles os consumidores terão mais opções para o uso de materiais autolimpantes não se restringindo somente a tonalidade branca.

Abaixo segue um esquema (Fig. 7) ilustrando os principais resultados já discutidos.

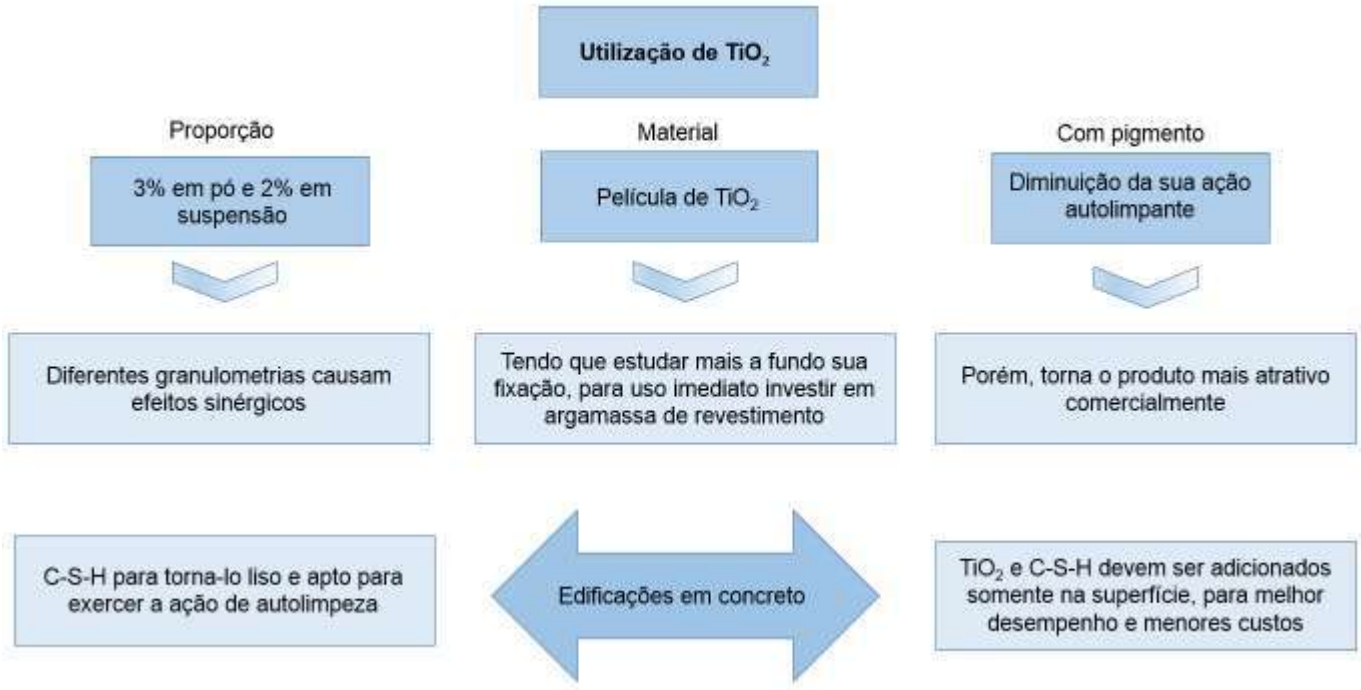

Figura 7: Esquema de resultados obtidos a partir dos artigos analisados.

6. CONCLUSÃO

Considerando todos os resultados descritos neste artigo, podemos concluir que o material com melhor desempenho fotocatalítico e de autolimpeza, e assim, sendo o mais aconselhável para evitar manchamentos em fachadas prediais, é a película de TiO_2.

Tal material ainda necessita de estudos mais específicos quanto à fixação em fachadas, porém, o uso exclusivo do TiO_2 em espessuras onde os raios U.V. podem ativar suas propriedades fotocatalíticas fazem com que o material seja 100% aproveitado, não havendo desperdício de TiO_2, e consequentemente de custos. Porém, estudos sobre o melhoramento da fixação do material provavelmente levarão alguns anos, sendo assim, a segunda maneira mais eficaz tanto para custos quanto para a ação de autolimpeza seria a argamassa de revestimento. Sendo que, para melhores resultados, supõe-se que o material cimentício deve conter 3% anatásio em pó e 2% em suspensão, de acordo com Maria Vittoria Diamanti *et al*. (2008) [3]. A argamassa também se mostra interessante devido ao fato do acabamento de fachadas de edificações em alvenaria serem feitas majoritariamente com argamassas de revestimento, portanto a utilização deste material seria o mais favorável para realizar a atividade fotocatalítica e de autolimpeza. Mesmo apresentando resultados inferiores aos da pasta de cimento.

O concreto superliso é uma boa opção para projetos que deverão ser executados neste material, porém, é importante ressaltar a importância do uso do TiO_2 e do C-S-H somente na camada de finalização da fachada, para não haver desperdício de material.

Tendo em vista a comercialização do produto, a possibilidade de utilizar o TiO_2 em fachadas com colorações diferentes de branco é um fator importante. Mesmo havendo uma diminuição de 50% para 30% de sua capacidade fotocatalítica em relação ao mesmo material sem pigmentação, ainda possui ação autolimpante, sendo assim capaz de evitar manchamentos. Entretanto, com essa diminuição de desempenho teria que ser realizada uma pesquisa de custos para saber se o custo do TiO_2 para realizar a autolimpeza seria menor do que os custos de manutenção da fachada.

7. REFERÊNCIAS

[1] Paramés, J.; De Brito, J., " Materiais de construção nanotecnológicos de auto-limpeza", Teoria e Prática na Engenharia Civil 15, 2010, pp. 55-62.
[2] Ruot, B. *et al*, "TiO_2-containing cement pastes and mortars: Measurements of the photocatalytic efficiency using a rhodamine B-based colourimetric test", Solar Energy 83, 2009, pp. 1794-1801.
[3] Diamanti, M. V. *et al*, "Characterization of photocatalytic and superhydroplhilic properties of mortars contaning titanium dioxide", Cement and Concrete Research 38, 2008, pp. 1349-1353.
[4] Diamanti, M. V. *et al*, "Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars contaning", Construction and Building Materials 46, 2013, pp. 167–174.
[5] Folli, A. *et al*, "TiO_2 photocatalysis in cementitious systems: Insights into self-cleaning and deppolution chemistry", Cement and Concrete Research 42, 2012, pp. 539–548.
[6] Zhang, R. *et al*, "Influences of nano-TiO2 on the properties of cement-based materials: Hydration and drying shrinkage", Construction and Building Materials 81, 2015, pp. 35–41.
[7] Chena, J. *et al*, "Recent progress in enhancing photocatalytic efficiency of TiO2-based materials", Applied Catalysis A: General 495, 2015, pp. 131–140.
[8] Shen, W. *et al*, "Preparation of titanium dioxide nano particle modified photocatalytic self-cleaning concrete", Journal of Cleaner Production 87, 2015, pp. 762–765.
[9] Janus, M. *et al*, "Self-cleaning properties of cement plates loaded with N,C -modified TiO_2 photocatalysts", Applied Surface Science 330, 2015, pp. 200–206.