

# USO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO E A SUSTENTABILIDADE NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Sasquia Hizuru Obata<sup>1</sup>, Isamar Marchini Magalhães<sup>2</sup>, Fernanda Porrino Zequin<sup>3</sup>

**Abstract** – *The use of nanometric components in the materials of civil construction reveals as one of the most recent and advanced technologies in the sector. The nano compound titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) has been used in some construction materials for being capable to transform the surfaces where it is applied one, in auto cleaners, bactericide and depolluting, characteristics that become extremely interesting when we objective the sustainability, minor use of chemical products, rational water use, and reduction of the pollution of the air that causes as many problems. A description will be presented in the article of as the titanium dioxide acts, its characteristics, and general vision on in which materials of civil construction this technology is being applied in Brazil and the world.*

*Index Terms* – Titanium Dioxide. Nanotechnology. Sustainable Construction Materials.

**Resumo** – O uso de componentes nanométricos nos materiais de construção civil mostra-se como uma das mais recentes e avançadas tecnologias no setor. O nanocompósito dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) tem sido utilizado em vários materiais de construção por ser capaz de transformar as superfícies onde é aplicado em autolimpantes, bactericidas e despoluentes, características que se tornam extremamente interessantes quando se busca a sustentabilidade, menor utilização de produtos químicos, uso racional de água, e redução da poluição do ar que acarreta tantos problemas. Será apresentada no artigo uma descrição de como o dióxido de titânio age, suas características, e visão geral sobre em quais materiais de construção civil esta tecnologia está sendo aplicada no Brasil e no mundo.

*Palavras-chave:* Dióxido de Titânio. Nanotecnologia. Materiais de Construção Civil Sustentáveis.

## INTRODUÇÃO

Os materiais de construção têm evoluído tecnologicamente e utilizamos hoje, com exceção dos plásticos, a mais de 100 anos. É certo que nesse período de tempo, estes materiais melhoraram suas propriedades, porém poucas foram revoluções tecnológicas. Este cenário, no entanto, está mudando rapidamente e com a

perspectiva de desenvolvimento sustentável buscam-se as inovações necessárias para vencer desafios como redução da poluição, redução da emissão de gases efeito estufa, uso racional da água, proteção da saúde humana e melhoria da qualidade de vida. Com a introdução da nanotecnologia nos materiais de construção civil alguns avanços já estão sendo notados e termos como materiais autolimpantes, bactericidas, antipoluentes e já estão disponíveis, contribuindo para as mudanças mesmo no mercado brasileiro<sup>i</sup>. Apresenta-se assim, o estudo sobre materiais de construção civil com esta tecnologia.

## NANOTECNOLOGIA

Considerada a última onda de inovação tecnológica, a nanotecnologia, através do controle dos processos na escala atômica molecular, está se produzindo nanomateriais com propriedades extremamente avançadas, em desempenho, qualidade e funcionalidade. Na dimensão nanométrica, que corresponde a um bilionésimo do metro (algo cem mil vezes mais fino que um fio de cabelo), os efeitos da área superficial são maximizados, observam-se fenômenos de natureza quântica, pouco perceptíveis no mundo clássico. Esses fenômenos conferem novas propriedades ópticas e eletrônicas aos materiais, permitindo um maior desempenho nas aplicações. Mesmos os materiais convencionais, quando trabalhados através da nanotecnologia, podem obter um alto desempenho, com maior resistência, dureza ou condutividade elétrica. Além do melhoramento das propriedades eletrônicas, mecânicas e ópticas dos materiais, a nanotecnologia gera aditivos de desempenho. Dessa forma proporcionam novas qualidades e propriedades, como maior resistência mecânica e à corrosão, efeito antichama, bloqueio à passagem de gases, condutividade elétrica, atividade bactericida, efeitos autolimpantes, efeitos cromáticos etc. Essas qualidades podem ser facilmente incorporadas aos produtos, denominados nanocompósitos, dentre estes está o dióxido de titânio, TiO<sub>2</sub>, que proporciona aos materiais onde é aplicado, os efeitos de se tornarem autolimpantes, bactericidas e purificadores do ar.<sup>ii</sup>

## DIÓXIDO DE TITÂNIO E A FOTOCATÁLISE

Fotocatálise é o processo natural que ocorre em semicondutores excitados por radiação ultravioleta. A

<sup>1</sup> Sasquia Hizuru Obata. Professora Titular Doutora da Faculdade de Engenharia Civil. Coordenadora do Curso de Pós-graduação em Construções Sustentáveis da Faculdade de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia – FEFAAP – Fundação Armando Alvares Penteado – FAAP, [shizuru@faap.br](mailto:shizuru@faap.br)

<sup>2</sup> Isamar Marchini Magalhães. Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia Civil da FAAP. Aluna participante do curso de Pós-graduação em Construções Sustentáveis da Faculdade de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia – FEFAAP – Fundação Armando Alvares Penteado – FAAP, [isamagalhaes@terra.com.br](mailto:isamagalhaes@terra.com.br)

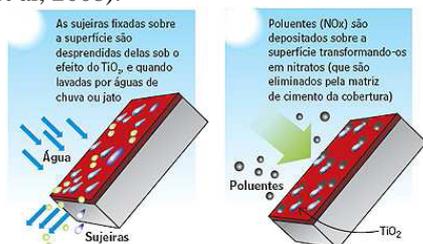
<sup>3</sup> Fernanda Porrino Zequin. Arquiteta e Urbanista pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Aluna participante do curso de Pós-graduação em Construções Sustentáveis da Faculdade de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia – FEFAAP – Fundação Armando Alvares Penteado – FAAP, [ferzequin@terra.com.br](mailto:ferzequin@terra.com.br)

Fotocatálise é similar à fotossíntese das plantas no mecanismo em que a clorofila age como um catalisador para a produção de oxigênio do dióxido de carbono e da água. O TiO<sub>2</sub>, material nanométrico, é um fotocatalisador que possui três estruturas de cristais, ou seja, rutilo, anatase e brookita. O rutilo é utilizado para aplicações de pigmentos, devido ao seu elevado índice de refração, conferindo cor branca. A anatase é um material útil para aplicações fotocatalíticas, devido ao seu forte poder oxidante quando exposto a radiação ultravioleta, tal como à sua estabilidade química e ausência de toxicidade.

O efeito fotocatalítico do TiO<sub>2</sub> pode ser usado para superfícies auto-limpantes, decompondo a poluição atmosférica e autoesterilizando. O TiO<sub>2</sub> e a água criam em sua interação o que se chama de superfície hidrofílica. A superfície dos materiais com TiO<sub>2</sub> se tornam hidrofílicas, atraindo gotículas de água, o que faz com que se forme um lençol de água sobre a superfície, lavando os produtos das reações químicas, tornam-a autolimpante e possibilitando o transporte de materiais poluentes como NO<sub>x</sub> e VOC (tolueno, xileno) em compostos menos agressivos como O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e sais minerais.

A propriedade hidrofílica é importante em termos ópticos, em superfícies vítreas, impedindo a formação de gotas de água, formando um pano de água que contribuem para que a superfície fique embaciada.

A ação autolimpante e despoluidora de superfícies pela ação fotocatalítica atuam de maneira conjunta. Durante o dia, a superfície é excitada pela radiação ultravioleta do sol resultando na oxidação dos compostos orgânicos que foram depositados durante o período noturno. Simultaneamente, há redução do ângulo de contato, tornando a superfície hidrofílica. A água presente nessa superfície transforma-se em uma lâmina removendo todas as partículas aderidas. As superfícies com propriedades fotocatalíticas tornam-se menos susceptíveis ao desenvolvimento de microrganismos (Bonetta et al, 2007). Além do potencial autolimpante, uma superfície com propriedades fotocatalíticas contribui para a despoluição do ar, e terminado um ciclo de fotocatalise, o TiO<sub>2</sub> pode participar de outro. Como já foi comprovado por autores como Yu (2003), Poon; Cheung (2007) Hüskén et al (2007) é possível decompor: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> e compostos orgânicos nocivos à saúde como o benzeno, o tolueno e a acetona e transformá-los em substâncias mais inócuas. Aplicações em escala de laboratório mostram que é possível reduzir em até 63% o teor de tolueno (Demeestere et al, 2008); até 80% o teor de NO<sub>x</sub> (Chen; Li, 2007 e Maggos et al, 2008).



**Figura 1 - Mecanismo autolimpante e despoluidora de uma superfície com propriedades fotocatalíticas** <sup>iii</sup>

Outro efeito gerado a partir da fotocatalise do TiO<sub>2</sub> é o poder de tornar as superfícies antibactericidas. A fotocatalise mata não somente a célula das bactérias, mas decompõe a célula por si. A fotocatalise proveniente do TiO<sub>2</sub> é mais eficaz do que qualquer outro agente bactericida, a reação fotocatalítica trabalha mesmo quando existem células cobrindo uma superfície e enquanto as bactérias se propagam ativamente. A toxina final produzida através da morte das células bacterianas também será decomposta pela ação fotocatalítica do TiO<sub>2</sub> que não se deteriora e mostra um efeito bactericida em longo prazo. Em linhas gerais, as desinfecções são três vezes mais fortes do que o cloro, e 1,5 vezes mais fortes do que o ozônio.

## RESERVAS E CUSTO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO

O titânio é um material com grandes reservas pelo mundo, principalmente em países da África, na Austrália e Paraguai. O processo de extração do titânio pode produzir ácido perto de águas, a não ser que a drenagem do ácido seja controlada no local da mina. Apesar de seu custo ser relativamente baixo na obtenção e no processamento, deve-se levar em conta o custo da proteção ambiental através de abordagens tecnológicas conhecidas.

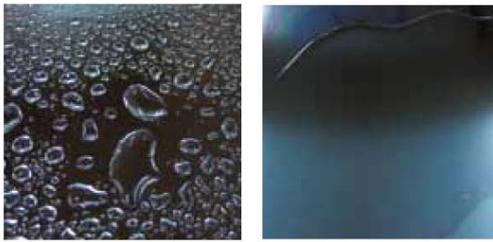
## UTILIZAÇÃO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Todas as superfícies são candidatas a possuir propriedades fotocatalíticas, desde que recebam luz solar ou outra fonte de radiação ultravioleta, como iluminação fluorescente, o que é imprescindível para que catalisem reações químicas através do TiO<sub>2</sub>. A substância pode assim ser aplicada a materiais construtivos, através da inclusão na matriz do material, na forma de película fina aplicada sobre o substrato em questão. Alguns exemplos de utilização do TiO<sub>2</sub> no mundo e recentemente no Brasil.

**Alumínio como revestimento:** Os edifícios são expostos a muitos contaminantes orgânicos, de resíduos de pássaros às fumaças dos automóveis, tornando fachadas sujas e prejudicando o aspecto. Outro tipo de material orgânico bombardeando constantemente e que é difícil de ser visto: NO<sub>x</sub> (óxido de nitrogênio). Como o primeiro componente da poluição, NO<sub>x</sub> não só suja os edifícios como também ameaça a qualidade do ar. Analisando-se todos estes problemas a Alcoa desenvolveu uma tecnologia chamada HYDROTECT™ juntamente com a TOTO® para aplicar uma camada de TiO<sub>2</sub> chamada EcoClean™, para a superfície pré pintada de alumínio Reynobond®.

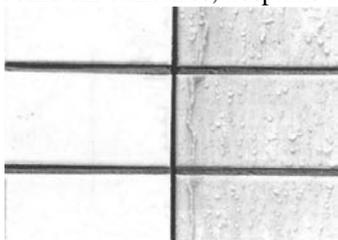
O resultado é um painel alumínio autolimpante e que ajuda a limpar o ar em torno de si. O fabricante afirma que 930m<sup>2</sup> de fachada coberta com a superfície Reynobond com EcoClean tem o poder de purificação do ar de aproximadamente 80 árvores, o que é suficiente para eliminar a poluição gerada por quatro automóveis todos os dias. Quando exposto aos raios UV, a cobertura do painel faz com que a fachada se torne super hidrofílica, tanto a água da chuva e qualquer outra umidade escorrem pela superfície, permitindo que as partículas orgânicas de

sujeira sejam levadas por ela resultando em menores custos de manutenção e melhor imagem.<sup>iv</sup>



**Figura 2: Painel de alumínio sem e com o tratamento EcoClean da Alcoa**

**Cerâmica:** A tecnologia da aplicação de TiO<sub>2</sub> nas superfícies também foi desenvolvida para os revestimentos cerâmicos. A dificuldade inicial era a perda de suas propriedades fotocatalíticas a 900°C, temperatura inferior ao do recozimento das peças cerâmicas que ocorrem a 1130°C. O Grupo Italiano CERAMICHE GAMBARELLI obteve a tecnologia para manter as propriedades fotocatalíticas do TiO<sub>2</sub> permitindo à cerâmica as características autolimpantes, a linha Oxygena<sup>v</sup>, coberta por patentes internacionais podem ser usadas externa ou internamente como em banheiros, hospitais e cozinhas.<sup>vi</sup>



**Figura 3: Comparação das propriedades autolimpantes de cerâmica com TiO<sub>2</sub> e cerâmica comum<sup>vii</sup>**

Testes demonstraram que 1m<sup>2</sup> da cerâmica Oxygena exposta à luz solar elimina em oito horas poluentes como monóxido e dióxido de nitrogênio, purificando uma quantidade de ar de até 72m<sup>3</sup>. O resultado é a produção de uma pequena quantidade de sais que em áreas externas podem ser removidos pelo vento ou pela chuva e internamente por uma simples lavagem, além da atividade bactericida comprovada pela Università Degli Studi di Ferrara, em que a cerâmica reduziu em 99% depois de apenas 30 minutos de exposição à luz o Escherichia Coli Staphylococcus Aureus.

A empresa também realizou testes para medir a Redução da Poluição do Ar, em um ambiente reproduzindo as condições de poluição de cidades como Milão e Roma comprovou que a quantidade de poluição a cada leitura estava cada vez menor, demonstrando uma direta e clara relação entre as cerâmicas com o TiO<sub>2</sub> e a redução da poluição.

A linha Smart da empresa Lanzi tem a tecnologia espanhola Clean Up, o primeiro revestimento autolimpante do Brasil. Utilizando o TiO<sub>2</sub> o material repele sujeira, gordura e umidade, facilitando a manutenção e reduzindo os gastos com produtos de limpeza; que protege a superfície e dificulta a impregnação destas substâncias

com um revestimento lapidado, textura brilhante e lisa auxilia nos problemas com manutenção e limpeza.

**Concreto autolimpante<sup>viii</sup>:** O desenvolvimento de concretos com efeito fotocatalítico com superfícies autolimpantes expostas e que combatem a poluição representam importante avanço na tecnologia do concreto aparente em favor da sustentabilidade. Um dos problemas da utilização do concreto aparente é que em contato com o meio ambiente, ao longo do tempo, tem sua qualidade estética diminuída devido ao acúmulo progressivo de sujeira em sua superfície, que pode ocorrer em função da deposição de partículas poluentes atmosféricas, da proliferação de micro organismos ou por mau uso (pichação), solicitando constante manutenção. Os sistemas de proteção superficial têm vida útil reduzida em relação ao concreto, o que resulta em procedimentos e custos de manutenção da estrutura. Várias soluções têm sido propostas e patenteadas, dentre elas, a tecnologia de concretos com efeito fotocatalítico, que segundo descrito em CALCIA, aproveita de forma útil, a abundante e renovável energia solar, o que representa caminho eficiente para o desenvolvimento tecnológico, a baixo custo. Atualmente, dois cimentos compatíveis com essa tecnologia estão sendo produzidos pelo grupo Italcementi que são aplicados aos concretos aparentes gerando superfícies autolimpantes e despoluentes.



**Figura 4: Concreto branco bruto com propriedades fotocatalíticas - Igreja da Misericórdia (Roma).<sup>ix</sup>**

**Laminados:** A empresa Pertech, já no Brasil, desenvolveu o laminado decorativo de alta pressão que junto com o revestimento PROTEC, incorpora os avanços tecnológicos do TiO<sub>2</sub> que lhe conferem propriedades bactericidas permanentes, sendo a solução ideal para a higienização das superfícies de móveis, paredes e pisos em hospitais, laboratórios, consultórios médicos, cozinhas industriais e residências. Testes realizados pela Food Intelligence com amostras de Staphylococcus aureus e Escherichi coli, adquiridas do Instituto Adolfo Lutz aplicadas na superfície de amostras de laminados com e sem o tratamento do TiO<sub>2</sub> resultaram na a eficácia do TiO<sub>2</sub> como bactericida:

	LAMINADO SEM TRATAMENTO	LAMINADO COM TRATAMENTO
Contagem inicial UFC/ml (pool das bactérias)	1,1 x 10 <sup>7</sup>	1,1 x 10 <sup>7</sup>
Contagem de bactérias após 24 horas de incubação (UFC/ml)	3,3 x 10 <sup>3</sup>	< 10
	4,2 x 10 <sup>3</sup>	< 10
	5 x 10 <sup>3</sup>	< 10
Porcentagem de redução de bactérias na amostra com Tratamento	-	99,9%

**Figura 5: Resultados de testes em triplicata metodologia JIS Z 2801:2000 de ação bactericida (Food Intelligence).<sup>x</sup>**

**Membranas:** O TiO<sub>2</sub> também está sendo utilizado na fabricação de membranas PVC e PTFE, observando-se a capacidade de serem autolimpantes e despoluentes graças ao efeito da fotocatalise. Na ilustração abaixo fica evidente os efeitos da aplicação de uma película de TiO<sub>2</sub> sobre uma tenda semirígida, sendo em seguida sujeita à ação do sol e de água da chuva. O uso no Brasil está sendo impulsionado pela construção e reforma dos estádios para a Copa de 2014, onde este tipo de tecnologia e material poderá ser vista nas coberturas.



**Figura 6: Duas tendas: à esquerda sem tratamento, à direita com uma película de TiO<sub>2</sub>.**

**Pavimentação**<sup>xii</sup>: A aplicação de TiO<sub>2</sub> em blocos de concreto para pavimentação é realizada na camada superficial do bloco, com aproximadamente 8 mm de espessura. Agindo em combinação com o cimento, conduz a uma transformação do NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio) em NO<sub>3</sub> que é absorvido pela superfície devido à alcalinidade do concreto. E este é lavado da superfície através da chuva, logo, o processo de remoção inteiro do poluente é dirigido só por energia natural.

As nanopartículas de TiO<sub>2</sub> em argamassas a base de cimento para a aplicação em revestimentos asfálticos é a atual tecnologia para a degradação de poluentes. Testes realizados em Bérgamo na Itália ao longo de 500 m em uma rua, um projeto envolvendo 7000m<sup>2</sup> de blocos de concreto para pavimentação, demonstrou uma redução da poluição de 30 a 40%. Para uma rua de 500 m de comprimento com tráfego de 400 carros/hora, os benefícios de redução da poluição são comparáveis a uma redução de tráfego de 150 carros/hora.



**Figura 7: Argamassa Fotocatalítica na Itália e na França**

**Telhas:** A empresa Boral patenteou o The BoralPure™ SMOG-EATING que utiliza a tecnologia do TiO<sub>2</sub> nas telhas cerâmicas de sua fabricação. Em um ano, 185m<sup>2</sup> de cobertura usando este tipo telha elimina a mesma

quantidade de óxido de nitrogênio (o maior componente da poluição) produzido por um carro que percorre 17.380 Km.<sup>xiii</sup>

**Tintas:** Para as tintas, além do efeito autolimpante, o comportamento bactericida é valorizado. Mundialmente, vários países como Alemanha e Portugal tem desenvolvido tintas que utilizam o TiO<sub>2</sub>, abordando a capacidade de dar brancura aos pigmentos. No Brasil a Suvinil lançou a Linha Acrílica Anti Bactéria para a área hospitalar, tem a capacidade de reduzir até 99% das bactérias nas paredes, até 2 anos após a sua aplicação.<sup>xiv</sup>

**Vidro:** Nos edifícios uma das principais funções das janelas é de deixar passar a luz natural. O material mais utilizado é o vidro, devido à sua transparência e resistência. Na maior parte dos edifícios, o vidro ocupa uma área significativa da fachada, ou a fachada é composta unicamente por vidro exigindo a manutenção e limpeza. Os fabricantes de vidro Pilkington comercializam uma gama de vidros, denominada Activ, que possui as propriedades fotocatalíticas e hidrofílicas, e afirmam que o revestimento de TiO<sub>2</sub> tem a durabilidade do próprio vidro. De acordo com o departamento de vendas do distribuidor em Portugal da empresa Saint-Gobain Glass, que comercializa uma gama de vidros denominada Bioclean, possuidora de características autolimpantes, a título de exemplo, para um vidro normal de 6 mm de espessura, o preço indicativo é de 6,00 €/m<sup>2</sup>, para 18,00 €/m<sup>2</sup> de um vidro Bioclean da mesma espessura.

No Brasil, algumas empresas já comercializam os vidros auto-limpantes.



**Figura 8: Comparação entre dois vidros, da esquerda com o tratamento de TiO<sub>2</sub> e o outro vidro normal.**<sup>xv</sup>

## TOXIDADE

Diversos nanomateriais estão sendo descobertos e por viabilizarem produtos finais mais eficientes, leves e principalmente de baixo custo, muitos destes se encontram em fase de comercialização. Contudo, as mesmas propriedades que tornam os nanomateriais tão atrativos, como pequeno tamanho de partícula, forma variada e alta área superficial, podem também ser responsáveis por efeitos nocivos aos organismos vivos, conforme indícios reportados por estudos toxicológicos com micro organismos, algas, peixes, ratos e células humanas. A preocupação com relação à toxicidade das nanopartículas reside principalmente no fato de que estas nunca foram produzidas e utilizadas em produtos comerciais em tão larga escala como atualmente e que, assim sendo, o risco

de alcançarem os diferentes compartimentos ambientais (atmosfera, águas e solo) e se tornarem disponíveis é muito grande. Alguns estudos sugerem que os nanomateriais, por sua pequena dimensão, podem ter uma permeabilidade maior através da pele, mucosas e membranas celulares, podendo ter seu efeito tóxico ampliado, já que possuem uma reatividade superior, principalmente devido ao aumento da área superficial. Um exemplo clássico é o ouro, que é um metal praticamente inerte, mas que na forma de nanopartículas se torna altamente reativo.<sup>xvi</sup>

## DURABILIDADE

Poucos trabalhos publicados apresentam dados quantitativos sobre a durabilidade das superfícies com propriedades fotocatalíticas, sendo esse um dos principais gargalos para o maior desenvolvimento dessas técnicas. Por ser um processo simples e natural, que depende apenas da excitação de elétrons pela radiação incidente e posterior liberação da energia, é de se esperar que não haja alteração de seu desempenho ao longo do tempo. Porém, há contradições quanto à durabilidade do uso da técnica; trabalhos desenvolvidos por Rao et al (2004); Yu (2003) e Poon; Cheung (2007) apresentaram resultados contrários. De uma maneira geral os resultados mostram que a redução do poder fotocatalítico está ligada à perda de área exposta à radiação ultravioleta, causada pela adesão de substâncias como chicletes, óleos ou de compostos resultantes do processo de oxidação. Além disso, para os produtos cimentícios, o processo de carbonatação dos compostos hidratados pode vir a ser responsável por uma importante redução no poder fotocatalítico em condições especiais.<sup>xvii</sup>

## CONCLUSÃO

A tecnologia do uso do TiO<sub>2</sub> como fotocatalisador tem se tornado muito atrativa no desenvolvimento de materiais de construção com efeitos: autolimpantes, purificadores de ar e bactericidas.

Não muito longe, não necessitaremos mais de produtos químicos para a limpeza, somente a luz do sol e chuva. Com a aplicação do TiO<sub>2</sub> em fachadas, pavimentação, podemos reduzir a poluição do ar o que também contribui para diminuir o fenômeno de ilhas de calor em cidades densamente povoadas ou com grande tráfego. Agora que a aplicação do TiO<sub>2</sub> está crescendo rapidamente, a necessidade da normatização se torna cada vez mais urgente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<sup>i</sup> Isaia, Geraldo C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais Volume 2.

<sup>ii</sup> [http://www.engeman.com.br/PTB/materia\\_nano.asp](http://www.engeman.com.br/PTB/materia_nano.asp)  
15/11/2011

<sup>iii</sup> <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/141/artigo119365-1.asp> 19/11/2011

<sup>iv</sup> ALCOA EcoClean Brochure

<sup>v</sup> Oxygena Brochure

<sup>vi</sup> [http://www.engeplas.com.br/banners/banners\\_ver.asp?fcodi=730/10/2011](http://www.engeplas.com.br/banners/banners_ver.asp?fcodi=730/10/2011)

<sup>vii</sup> Ohama, Yoshihiko Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Construction Materials

<sup>viii</sup> Ribeiro, Raquel de Macedo Concreto aparente: uma contribuição para a construção sustentável

<sup>ix</sup> Fonte:<http://alessandro1971.splinder.com/archive/2006-11>

<sup>x</sup> Food Intelligence- Consultoria Técnica em Alimentos S/S Ltda. Laudo: Ação Bactericida em Laminado: FI:004970ª-535-09M. São Paulo, 07/0802009.

<sup>xi</sup> Fujishima, A., Hashimoto, K., Watanabe, T. -“TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications”, Tokyo: Bkc, 1999.

<sup>xii</sup> V. Augugliaro, V. Loddo, M. Pagliaro, G. Palmisano and L. Palmisano, Clean by Light Irradiation – Practical Applications of Supported TiO<sub>2</sub>

<sup>xiii</sup> Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Eng. Civil CTC – Lab. de Ligantes e Misturas Asfálticas – <http://rodoviasverdes.ufsc.br/files/2010/03/Banner-Fotocatal%C3%ADtico.pdf> 14/01/12

<sup>xiv</sup> <http://www.boralna.com/rooftiles/smog-eating-tile.asp>  
15/01/12

<sup>xv</sup> <http://www.suvinil.com.br/pt/produtos/460/suvinil-acrilico-antibacteria.aspx> 15/01/12

<sup>xvi</sup> V. Augugliaro, V. Loddo, M. Pagliaro, G. Palmisano and L. Palmisano, Clean by Light Irradiation – Practical Applications of Supported TiO<sub>2</sub>

<sup>xvii</sup> Paschoalino, Matheus P. , Marcone , Glauciene P. S. e Jardim ,Wilson F. Os Nanomateriais e a Questão Ambiental  
<sup>xviii</sup> <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/141/artigo119365-1.asp> 19/11/2011.