

## Estudo de Propriedades Mecânicas de Placas Cerâmicas Fotovoltaicas para Aplicação em Fachadas Ventiladas

Vilson Menegon Bristot<sup>a\*</sup>, Luís Eduardo Guollo Bertan<sup>a</sup>, Natalia Pereira Da Coreggio<sup>a</sup>, Karina Donadel Carvalho<sup>a</sup>, Agenor De Noni<sup>a</sup>, Maykon Cargnin<sup>a</sup>, Reginaldo Tassi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Colégio Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, SC, Brasil

\*e-mail: [vilson.bristot@gmail.com](mailto:vilson.bristot@gmail.com)

### Resumo

O trabalho teve como objetivo estudar a resistência mecânica à flexão e a resistência a adesão de placas cerâmicas de porcelanato esmaltado retificado da referência Opus concreto AC para ser usada como placa de suporte em células fotovoltaicas. As placas cerâmicas foram preparadas no departamento técnico (DETEC) da empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos, que futuramente serão utilizadas para construções de fachadas ventiladas com células fotovoltaicas, para a retenção e transformação da energia solar em energia elétrica. Para os ensaios foi utilizada a máquina de ensaios EMIC, da Instron, equipada com o software (bluehill instron). A série de máquinas EMIC dispõe a seus ensaios máquinas eletromecânicas micro processadas, acompanhadas de células de carga com capacidade de 10 e 100KN e suportes para testes de flexão e adesão. Para os ensaios de adesão foi utilizado silicone (silicone poliuretano PU 44). Os resultados dos ensaios apresentaram resistência média à flexão de 42.7 Mpa. De acordo com os resultados, as placas cerâmicas podem ser utilizadas em projetos de fachadas para o revestimento externo de edifícios com a implementação de células fotovoltaicas. Em relação aos testes de adesão o silicone apresentou uma resistência satisfatória nos dois modos distintos de aplicação de aproximadamente 570 N.

**Palavras-chave:** resistência mecânica à flexão, resistência a adesão, energia solar, placa cerâmica.

## 1. Introdução

De acordo com Ricardo Rhuter

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes formas de gerar potência elétrica (Rhuter, 2004, p. 10).

O Brasil dentro desta perspectiva possui um potencial de energia solar fotovoltaico muito maior do que a demanda do país. Tendo por comparação que:

A usina hidrelétrica de Itaipu, que contribui com aproximadamente 25% da energia elétrica consumida no país, é bastante ilustrativa. Cobrindo-se o lago de Itaipu com módulos solares fotovoltaicos de filmes finos comercialmente disponíveis seria possível gerar o dobro da energia gerada por Itaipu, ou o equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil (Rhuter, 2004, p. 10).

Dentre as diversas formas de se capturar energia solar, uma delas que está sendo alvo de estudo é a placa cerâmica com célula fotovoltaica. Estas placas possuem uma grande importância referente ao seu estudo devido a ampla capacidade de aplicação e de captação de energia em quase toda extensão do território brasileiro, vinculado a construção de edificações. Um recente, e ótimo método de aplicação são os sistemas de fachadas ventiladas que possuem uma base de suporte com camadas de material

isolante, por uma câmara de ar e entre estrutura o revestimento, além de alguns outros materiais.

Neste sentido, o trabalho proposto tem como objetivo geral estudar e caracterizar os revestimentos cerâmicos fotovoltaicos com intuito de elucidar os valores de resistência mecânica à flexão e a resistência a adesão.

## 2. Revestimentos Cerâmicos com Células Fotovoltaicas

### 2.1. Conceito de revestimento cerâmico

Dentro as funções de revestimentos, dentre elas estão: a proteção e vedação de elementos dos edifícios, segurança ao fogo, capacidade de aderência, resistência mecânica, permeabilidade a água, estética entre outros.

De acordo com a NBR 13817: 1997 e baseado na ISO 13006: 1998,

Os revestimentos cerâmicos são classificados pelos seguintes critérios: Esmaltados e não esmaltados, Método de fabricação (prensado, extrudado, entre outros), Grupos de absorção de água, Classe de resistência a abrasão superficial – PEI, Classe de resistência ao manchamento, Classe de resistência ao ataque de agentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração, Aspecto superficial ou análise visual. (NBR, 1997).

Perante as diversas características atribuídas aos revestimentos cerâmicos, uma principal é a absorção da água onde afeta as demais características mecânicas do revestimento, possuindo uma relação inversamente

proporcional. Quanto maior for a capacidade de absorção menor é a resistência mecânica. Os revestimentos cerâmicos podem ser classificados de acordo com a absorção de água como: porcelanatos (baixa absorção), grês (baixa absorção), semi-grês (media absorção), semi-porosos (alta absorção) e porosos (alta absorção).

O uso de revestimentos cerâmicos em fachadas ventiladas, cada vez mais estão sendo aplicados em construções modernas, com ótima capacidade de consertar problemas de isolamento térmico em edifícios, com elevada qualidade estética e funcional, que possibilita a preservação da estrutura do prédio. O revestimento é colocado na parte externa do prédio junto de uma estrutura um revestimento cerâmico que cria entre eles uma passagem de ar, assim o nome “fachada ventilada”.

### 2.1.2. Ensaios de materiais

As propriedades como dureza, fragilidade, resistência, impermeabilidade, elasticidade e condução de calor são os princípios que diferem os materiais um dos outros em requisitos mecânicos. Quando o material é atribuído a um esforço mecânico, tais características executam suas propriedades que se concluem na capacidade do material resistir ou transferir, esta energia exercida no corpo. Nestas propriedades mecânicas do material encontra-se a resistência mecânica, que faz com que este material seja

capaz de resistir a esforços como a resistência à tração, compressão e flexão.

Dentre as nomenclaturas que se tem para estudar esses processos, a elasticidade (capacidade de um corpo de se deformar quando submetido a um esforço e de voltar ao seu estado original) e a plasticidade (deformar quando submetido a um esforço e de manter a mesma forma posterior ao esforço), são de suma relevância para entendermos as características que um material pode apresentar.

Perante os diversos métodos de ensaio, os que vão ter um caráter especial no presente trabalho, são os de resistência mecânica à flexão e resistência a adesão.

O ensaio de resistência mecânica à flexão principalmente aplicado em materiais de alta dureza, traz a capacidade de carga e deformação máxima que um material pode absorver, sendo efetuado com três ou quatro pontos de tensão como demonstrado nas Figuras 1 e 2.

A adesão é caracterizada pela união de duas ou até mais peças não cilíndricas, indiferente ao tipo de material utilizado para adesão, já que possuem os mais diversos modelos, como exemplo os adesivos a base PU que são utilizados na adesão de vidros em carroceiras de veículos.

O ensaio de tração destes adesivos, é feita com dois corpos, onde eles estão juntos pela adesão do material, um dos corpos é preso a base do equipamento de tração

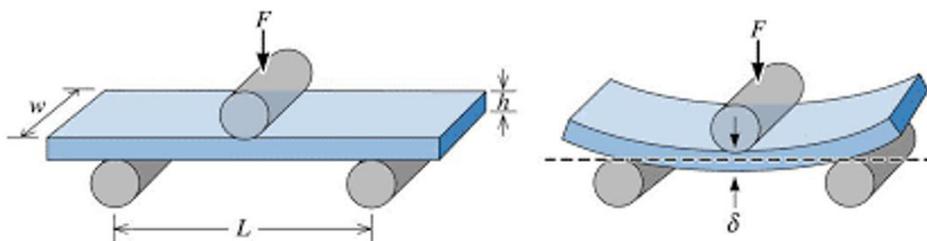


Figura 1. Ensaio de flexão com três pontos de tensão. Fonte: Sousa Lima (2011).

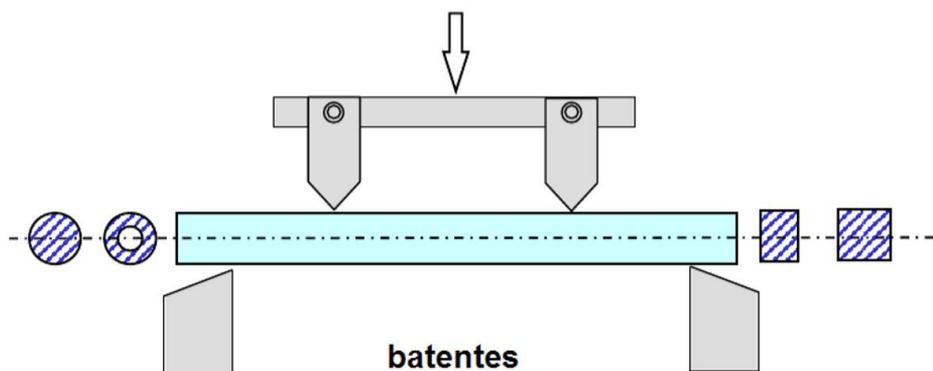


Figura 2. Ensaio de flexão com quatro pontos de tensão. Fonte: Ana Carolina Rosifini.

enquanto no outro é tensionado para averiguar a força de resistência do material, como mostra a Figura 3.

## 2.2. Tipologia de células fotovoltaicas

Sendo considerado uma energia limpa, as células fotovoltaicas armazenam energia solar, a fim de contribuir com a economia das gerações de energia de forma convencional, tendo como consequência a queda do nível de impactos ambientais. Perante isto possuem tipologias diversificadas de células.

A célula de silício monocristalina são confeccionadas a partir do corte de barras cilíndricas em pastilhas finas, que variam de 0,4 a 05 mm de espessura. Possuindo uma eficiência de conversão de energia maior que 12% em relação às células de silício policristalino. Estas são confeccionados a partir da fusão do silício em moldes, que quando resfriados lentamente ele se solidifica e os átomos ficam organizados e concentrados em um único cristal.

## 2.3. Sistema de fachada ventilada

A fachada ventilada além de ser um elemento fundamental para a valorização de uma edificação, ainda traz quesitos positivos como as diversas manutenções das condições ambientais internas, como: o conforto térmico, acústico, a manutenção dos níveis de segurança ambiental e estrutural, além da privacidade dos usuários.

Este sistema consiste em uma estrutura fixada independentemente, como suporte, e fixada nesta um revestimento, que como grande maioria seria os cerâmicos (Figura 4).

## 2.4. Procedimental experimental

O fluxograma da Figura 5 apresenta as etapas do desenvolvimento do trabalho proposto.

As amostras foram obtidas da empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos S/A, tendo como referência, o porcelanato esmaltado retificado da referência: Opus concreto AC, para ser usado como placa de suporte das células fotovoltaicas, confeccionado no departamento técnico (DETEC) da empresa. As dimensões dos corpos de prova são 20 × 20 cm e de 5 × 5 cm, que são peças cortadas do revestimento que serão utilizados em construções com células fotovoltaicas, com as dimensões iniciais de 1,60 × 1,20 cm.

Na segunda etapa foram realizados os ensaios: resistência à flexão e resistência a adesão, para averiguar as propriedades de resistência mecânica dos revestimentos cerâmicos. Para os ensaios foi utilizada a máquina de ensaios EMIC, da Instron, equipada com o software bluehill instron. A série de máquinas EMIC dispõe a seus ensaios máquinas eletromecânicas micro processadas quem podem ter uma capacidade de até 100kn, com auxílio de garras de acionabilidade mecânico e pneumático para uma melhor aplicabilidade da máquina e atender a demanda de estudo para com os recursos disponíveis para produção.

O ensaio de resistência à flexão foi realizado com 14 amostras. Sendo as placas divididas em dois grupos. O primeiro grupo (8 amostras). Foi ensaiado na posição com a muratura voltada para baixo e a superfície esmaltada

voltada para cima (Figura 6). No segundo grupo, 07 amostras foram ensaiadas com a superfície esmaltada voltada para baixo e a muratura para cima (Figura 7). Sendo que a parte da muratura também é onde está aderida a tela de reforço.

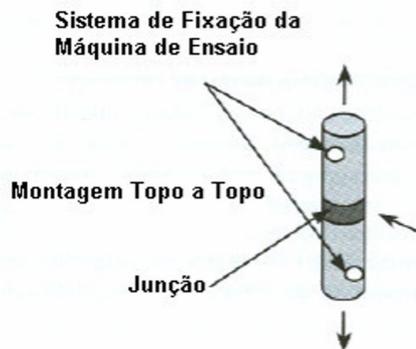


Figura 3. Ensaio de adesão. Fonte: Demétrio Jackson dos Santos (2007).

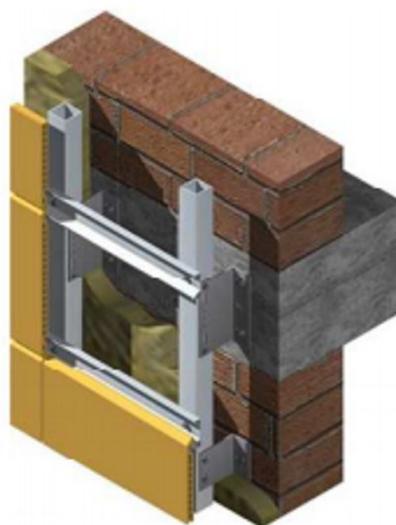


Figura 4. Sistema de fachada ventilada. Fonte: Francisco Melo Vaz Pinto (2009).

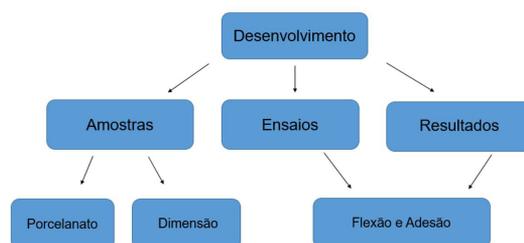


Figura 5. Fluxograma do procedimento experimental.



**Figura 6.** Face esmaltada virada para cima.



**Figura 7.** Face esmaltada virada para baixo.

As variáveis atribuídas ao software para os cálculos da resistência mecânica foram as propriedades do corpo de prova, como geometria e as dimensões padrões além dos acessórios para os ensaios (neste caso com o número de três pontos de tensão).

As medidas físicas e os cálculos a serem adquiridas, neste caso, medidas de: carga máxima (N), tensão à flexão em carga máxima (MPa), deslocamento à flexão em ruptura (mm) e o módulo de Young (MPa).

O controle de ensaios, que foram realizados na parte inferior da máquina de ensaios, a uma velocidade de um milímetro por minuto, com o término do ensaio realizado, quando o decaimento da resistência máxima da amostra superasse 20%.

Para os ensaios de adesão foram selecionados cinco amostras coladas com silicone poliuretano PU 44, adesivo monocomponente, em uma barra de metal, semelhante

ao utilizado nas fachadas ventiladas. As amostras 1, 2 e 3 tiveram a aplicação de silicone apenas na periferia de suas áreas de contato, enquanto as amostras 4 e 5 tiveram suas áreas de contato totalmente coladas com silicone. Todas as cinco amostras sendo ensaiadas com uma velocidade de 2 milímetros por minuto, sendo aplicadas na parte inferior da travessa da máquina de ensaios. Para decretar o término dos ensaios, o argumento foi o de: quando o decaimento da resistência máxima atingisse 90%. Para aderir o suporte da prensa ao revestimento cerâmico foi utilizado a cola epóxi Araldite profissional conforme. As Figuras 8-10 mostram as imagens do ensaio.

### **3. Resultados e Discussões**

Os resultados das amostras do primeiro grupo (muratura na parte inferior) podem ser observados na Tabela 1. A Tabela 1 apresenta as variáveis deslocamento à flexão



Figura 8. Amostras do teste de adesão.

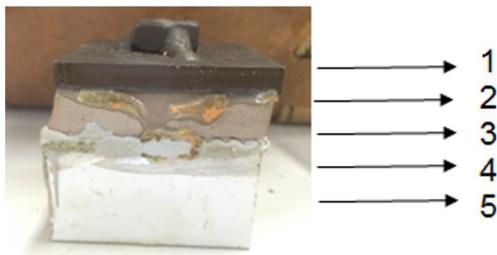


Figura 9. Amostra do teste de adesão. Legenda: 1: Placa metálica para teste de adesão; 2: Araldite; 3: Peça cerâmica; 4: Silicone PU44; 5: Suporte metálico.



Figura 10. Amostras de 1 a 5 do teste de adesão.

em ruptura, módulo de Young, máximo carga e a tensão à flexão em máxima carga. O gráfico de tensão à flexão por deslocamento à flexão é mostrado na Figura 11.

Para o segundo grupo de amostras, com a superfície esmaltada virada para baixo, tivemos o mesmo modelo de variáveis sendo formada a Tabela 2 e o gráfico da Figura 12.

De acordo com as análises dos resultados, pode-se verificar diferenças significativas entre os ensaios, com as posições diferentes, quando a face do esmalte está voltada para baixo os valores da resistência aumentaram 7.4 Mpa, com intervalos variando de 6.0 a 8.9 Mpa. Assim os resultados são proporcionados pelo fato de que a superfície esmaltada está submetida a esforços de compressão, sendo ocasionado de forma proposital devido a necessidade de garantir que o esmalte não apresente gretagem ao longo de sua vida útil. Podendo assim o produto ser caracterizado com as conformidades das recomendações técnicas de desempenho.

De acordo com os valores absolutos de resistência, a norma brasileira para estes materiais, o valor médio mínimo seria de 37 Mpa sendo que os valores individuais não podem ser inferiores de 35 Mpa. E os valores adquiridos foram a de um valor médio de 42.7 Mpa e o valor mínimo de 40 Mpa. Sendo assim os valores dos ensaios realizados atendem aos requisitos normativos.

Referente aos testes de resistência a adesão, obteve-se a Tabela 3 com os valores de resistência máxima, média, mínima e desvio padrão para cada amostra ensaiada.

O mesmo ensaio apresentou um gráfico de carga, em newtons (N), por deslocamento à tração, em milímetros (mm), Figura 13.

Os resultados apresentaram uma variação de 295,42 N (resistência mínima) a 1009.05 N (resistência máxima) dos pontos de resistência máxima em diferentes amostras. Tendo como característica evidente que as amostras que foram coladas utilizando toda sua área de contato (amostras 4 e 5), obtiveram um desempenho maior referente as outras, tendo então uma indicação melhor para esse método de aplicação. Os ensaios apresentaram uma média de 570,45 N e um desvio padrão de aproximadamente 307 N.

Tabela 1. Tabela de dados com face esmaltada para cima.

	Máximo Carga [N]	Tensão à flexão em máximo de carga [MPa]	Módulo (Young automático) [MPa]
1	3991	43	15807
2	3816	41	15761
3	3955	43	15717
4	4174	45	16950
5	4103	44	15836
6	3992	43	15782
7	3718	40	16354
8	4010	43	16540
Média	<b>3970</b>	<b>43</b>	<b>16093</b>
Erro Padrão	<b>52</b>	<b>1</b>	<b>164</b>

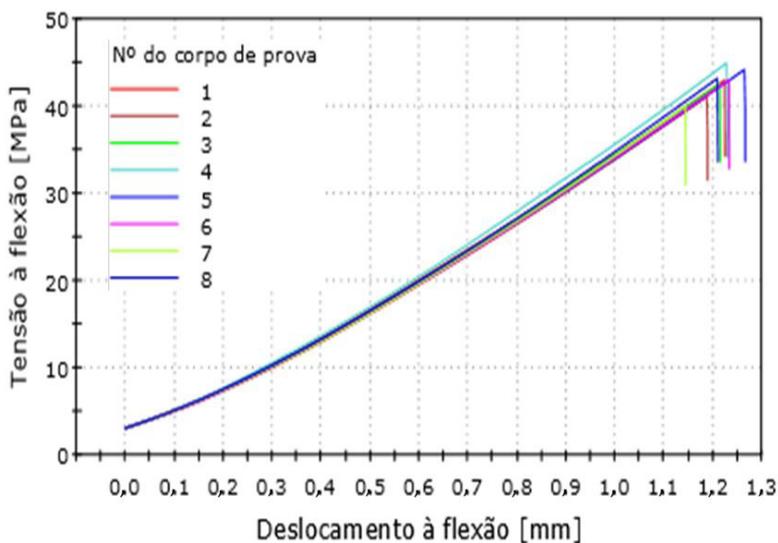


Figura 11. Gráfico das superfícies esmaltadas viradas para cima.

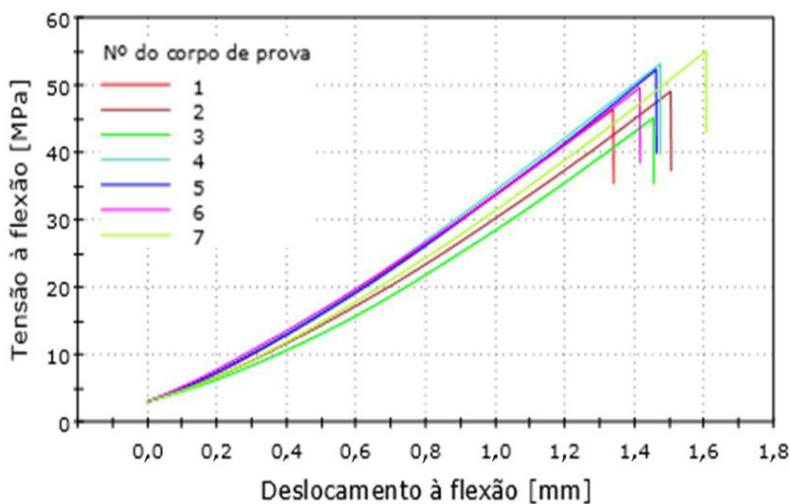


Figura 12. Gráfico das superfícies esmaltadas viradas para baixo.

Tabela 2. Tabela de dados com face esmaltada para baixo.

	Máximo Carga [N]	Tensão à flexão em máximo de carga [MPa]	Módulo (Young automático) [MPa]
1	4313	46	15424
2	4561	49	16104
3	4194	45	15691
4	4936	53	16514
5	4858	52	17196
6	4611	50	16196
7	5114	55	16788
Média	4655	50	16273
Erro Padrão	126	1	232

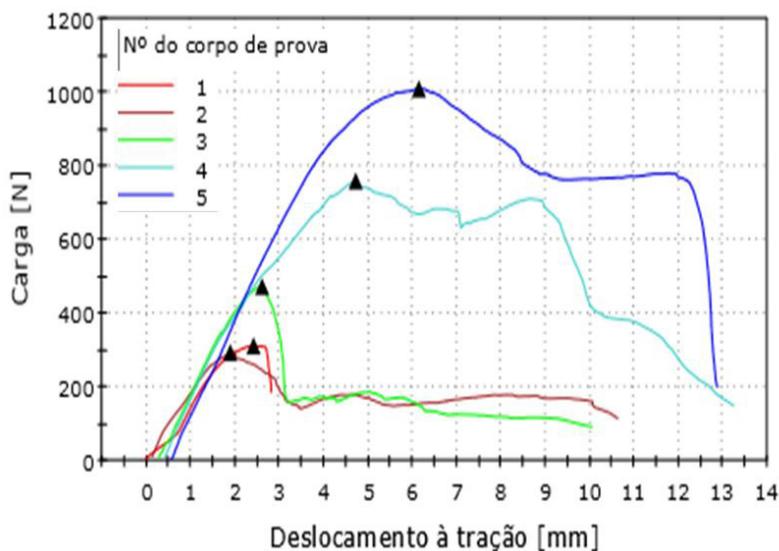


Figura 13. Gráfico do ensaio de adesão.

Tabela 3. Dados do ensaio de adesão.

	Máximo Carga [N]
1	314,02
2	295,42
3	474,18
4	759,57
5	1009,05
Média	570,45
Máximo	1009,05
Mínimo	295,42
Desvio padrão	307,73478

#### 4. Conclusão

De acordo com os resultados dos testes nos revestimentos cerâmicos, estes apresentaram características interessante para serem utilizados como suporte de células fotovoltaicas, os ensaios confirmam que os protótipos estão dentro as normas com as resistências em uma média de 42.7 Mpa, tendo um nível de confiança para a instalação em fachadas ventiladas para projetos, sem grandes riscos de quebra. A resistência a adesão foi de aproximadamente 570 N.

#### Agradecimentos

Gostaria de agradecer principalmente ao meu orientador Reginaldo Tassi e ao restante da equipe do projeto de revestimentos cerâmicos fotovoltaicos. Ao Colégio

Maximiliano Gaidizinski, pelo espaço fornecido, à Eliane revestimento cerâmicos pelos revestimentos e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para com este trabalho.

#### Referências

1. RUTHER, Ricardo. Uso da tecnologia fotovoltaica no Brasil
2. RUTHER, Ricardo. Edifícios solares fotovoltaicos. Florianópolis, 2004. 76 p.
3. WERLICH, Leonel. Sistema de fachada ventilada em edificações: características, métodos e aplicações. Florianópolis. 2014
4. ALVARENGA, Carlos Alberto. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Minas Gerais. 2004.
5. MENDES, Francisco Melo. Durabilidade das fachadas ventiladas. Porto. 2008.
6. EMIC, disponível em: <http://www.emic.com.br/Empresa/Qualidade+Confiabilidade/>
7. Portal inmetro. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>
8. Portal Buschinelli. Orientação: Características e Propriedades. Disponível em: <http://www.buschinelli.com.br/orientacao/ceramica/caracteristicas-e-propriedades/15>
9. Portal cerâmica Portinari, classificação de revestimentos cerâmicos, disponível em: [http://www.espacorevestir.com.br/web/wp-content/uploads/catalogos/portinari/Classificacao\\_de\\_Revestimentos\\_Ceramicos.PDF](http://www.espacorevestir.com.br/web/wp-content/uploads/catalogos/portinari/Classificacao_de_Revestimentos_Ceramicos.PDF)
10. SANTOS, Demétrio Jackson. Estudo experimental da resistência mecânica de junções adesivas. São Paulo, 2007.
11. Ensaio Mecânicos dos Materiais, disponível em: <https://jorgeteofilho.files.wordpress.com/2010/08/epm-apostila-capitulo09-ensaios-mod1.pdf> (arquivo em PDF).