

IMPACTOS DE UMA INTEGRAÇÃO FOTOVOLTAICA AO DOMUS DO PLANETÁRIO DA GÁVEA - RJ

Isadora Pauli Custódio – isadorapcustodio@gmail.com

Clarissa Debiasi Zomer – clazomer@gmail.com

Ricardo Rütther – ricardo.rutther@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

Resumo. *Este trabalho apresenta uma proposta para a instalação de um sistema fotovoltaico em substituição aos vidros do domus do Planetário da Gávea - RJ. A proposta integra módulos fotovoltaicos semitransparentes de silício monocristalino em duas orientações opostas (norte e sul), assim como vidros parcialmente jateados que imitam o padrão das células fotovoltaicas. A homogeneidade plástica do fechamento do domus foi possível pela maneira singular utilizada para a integração fotovoltaica às suas fachadas. Devido à alta radiação incidente no domus, o sistema fotovoltaico poderá gerar até 98% da demanda energética anual da Nave Escola do planetário. São também apresentados resultados de simulações computacionais que mostram uma melhora na distribuição luminosa interna, destacando os locais onde atingiu-se os valores de iluminância estabelecidos pela norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, além de sugerir modificações para que os pontos que não atingiram estes valores, passem a fazê-lo. A substituição dos vidros do domus será decisiva para a melhoria do desempenho energético do planetário.*

Palavras-chave: *Sistema fotovoltaico integrado à edificação, Módulos fotovoltaicos semitransparentes, Iluminância*

1. INTRODUÇÃO

No meio urbano, a integração a edificações é a aplicação mais adequada para módulos fotovoltaicos, pois permite a produção de energia de maneira silenciosa, não poluente, renovável e estática junto ao local de consumo, minimizando os custos e as perdas associadas à transmissão e à distribuição da energia (Rütther, 2004; Li et al., 2009b; Urbanetz et al., 2011; Zomer et al., 2013). Desta maneira, os módulos fotovoltaicos podem fazer parte do fechamento do edifício, das coberturas, fachadas e aberturas, ou constituírem um elemento construtivo, como brises e marquises (Wong et al., 2008). Assim, os módulos fotovoltaicos além de gerarem energia, podem agregar valor estético ao edifício e contribuir para o meio ambiente, diminuindo a emissão de CO₂, SO₂, NO_x, entre outros elementos produzidos por outras fontes geradoras de energia (Li et al., 2009a; Li et al., 2009b).

A integração dos módulos fotovoltaicos em edificações deve ser funcional e ao mesmo tempo estar em conformidade com a arquitetura (Urbanetz et al., 2011; Zomer et al., 2013). Novas maneiras de integração, como configurações curvas e/ou transparentes, tendem a surgir, sobretudo devido à redução dos custos da tecnologia fotovoltaica, à aceitação dos arquitetos em incluí-la em seus projetos, à sua sofisticação e à responsabilidade social que ela transmite, estimulada por políticas de incentivo e programas para etiquetagem de eficiência energética em edificações (Prasad and Snow, 2002; Urbanetz et al., 2011; Zomer et al., 2013).

Em edifícios de uso comercial e público no Brasil, a instalação de sistemas fotovoltaicos é bastante adequada. Primeiramente, devido à alta quantidade de radiação solar incidente no país e, em seguida, pela coincidência do horário de geração e consumo de energia elétrica nesses edifícios, onde a grande maioria da demanda energética é decorrente de sistemas de condicionamento de ar, ventilação e iluminação artificial (Leite Didoné and Wagner, 2013).

Pela possibilidade de substituir elementos transparentes, abundantes em edificações comerciais e públicas, os módulos fotovoltaicos semitransparentes estão sendo cada vez mais utilizados. Esses módulos influenciam nas demandas energéticas para refrigeração (sombreamento de alguns pontos e redução dos ganhos de calor solar) e iluminação (transmissão de luz natural), além de permitir a vista do exterior e influenciar nos confortos térmico e visual dos usuários dos edifícios (Leite Didoné and Wagner, 2013; Ng et al., 2013; Olivieri et al., 2014a; Olivieri et al., 2014b). A utilização de módulos fotovoltaicos semitransparentes pode ter impacto direto no consumo de energia elétrica nas edificações, contribuindo para a diminuição dos equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado e dos gastos com iluminação artificial (Li et al., 2002; Olivieri et al., 2014b).

Fachadas com grandes áreas de módulos fotovoltaicos semitransparentes possibilitam a geração de energia e mais luz natural consegue entrar no ambiente, podendo ser reduzido o uso de energia elétrica para a iluminação artificial, porém possuem maior ganho de calor solar, necessitando de mais equipamentos de refrigeração (Li et al., 2009a). Assim, deve haver um balanço entre componentes opostos para que a integração seja eficiente e contribua para a economia de energia elétrica (Olivieri et al., 2014a; Olivieri et al., 2014b; Olivieri et al., 2015).

Como os módulos fotovoltaicos semitransparentes são multifuncionais, diversas pesquisas têm sido realizadas a fim de definir os parâmetros que podem afetar seu desempenho energético em diferentes lugares e situações.

Leite Didoné e Wagner (2013) avaliaram o uso de módulos fotovoltaicos semitransparentes em janelas de edifícios de escritórios no Brasil em relação à economia e geração de energia. Os resultados mostraram que o potencial para o

uso desta tecnologia no país é alto, pois além de gerar energia elétrica, possibilita a redução do consumo de energia para condicionamento de ar e iluminação artificial (especialmente se sistemas de controle forem utilizados).

Em Ng et al. (2013), o desempenho energético de seis tipos de módulos semitransparentes foi avaliado em Cingapura quanto ao aumento ou redução nas cargas de refrigeração, à utilização de iluminação artificial e à geração de energia. Os resultados mostraram o potencial para a adoção de módulos semitransparentes integrados a edificações em todas as orientações, em países de clima tropical, além de um melhor desempenho energético dos módulos fotovoltaicos semitransparentes em relação à utilização de vidros comuns em edifícios com grandes áreas envidraçadas.

Li et al. (2009a) estudaram fachadas de módulos fotovoltaicos semitransparentes em relação às suas propriedades visuais e térmicas, seu desempenho energético e questões financeiras. Os resultados mostraram que essas fachadas podem produzir energia, reduzir o ganho de calor solar e contribuir para a entrada de luz natural, diminuindo a energia gasta com iluminação artificial e refrigeração. Concluiu-se também que o uso de módulos semitransparentes juntamente com elementos de controle de iluminação pode trazer benefícios em relação aos aspectos econômicos, ambientais e energéticos do edifício.

Olivieri et al. (2015) descreveram uma forma de analisar o fator solar de módulos fotovoltaicos semitransparentes. O fator solar quantifica a capacidade de proteção solar de um elemento transparente. Os resultados mostraram que não se pode reduzir o fator solar a um só valor, pois assim não se tem uma estimativa adequada do comportamento dos módulos fotovoltaicos semitransparentes em condições reais de aplicação.

O presente trabalho apresenta uma proposta de integração fotovoltaica que utiliza módulos fotovoltaicos semitransparentes em diferentes orientações, em substituição aos vidros do domus do Planetário da Gávea – RJ. Este estudo, por tratar de uma situação real, apresenta diversas variáveis, como a complementação da estrutura metálica existente no domus do planetário e o sombreamento causado pelo seu entorno. Diante disso, estudos da geração de energia pelos módulos fotovoltaicos e da alteração da iluminância interna devido a essa integração são apresentados.

2. OBJETO DE ESTUDO

2.1 Localização

O sistema fotovoltaico proposto neste trabalho foi projetado para ser instalado no domus do Planetário da Gávea, Rio de Janeiro – RJ, coordenadas (-22.978242°, -43.2324218°). A Figura 1(a) apresenta uma foto do planetário e seu domus, e a Figura 1(b) mostra sua implantação e orientação.

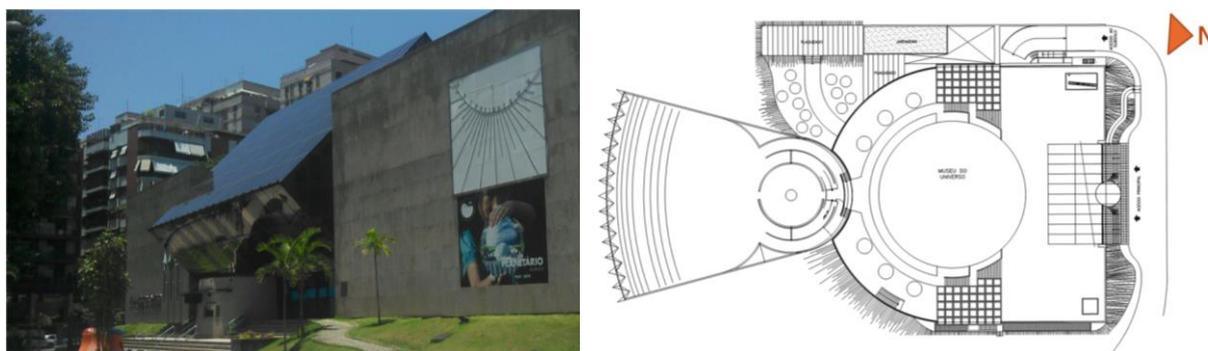


Figura 1 – (a) Foto da entrada principal do Planetário da Gávea; (b) Implantação e orientação do planetário.

2.2 Objetivo da integração fotovoltaica

O Planetário da Gávea está passando por um processo de *retrofit* para a melhoria do seu desempenho energético. Uma das intervenções arquitetônicas pela qual o planetário irá passar é a substituição dos vidros do seu domus, por módulos fotovoltaicos semitransparentes e por vidros total e parcialmente jateados, de modo a manter a sua atual paginação. Portanto, o objetivo deste artigo é apresentar uma envoltória que contribua para o aperfeiçoamento do desempenho energético do Planetário da Gávea, demonstrando a influência da integração de módulos fotovoltaicos proposta, na diminuição do consumo de energia da rede elétrica e na iluminância interna.

3. SITUAÇÃO ATUAL

O domus do planetário possui vidros laminados duplos (1,00 x 2,10 m) sobre perfis de alumínio 2 ½” x 1 ½”, com películas de controle solar entre eles, nas cores *light silver*, *medium silver* e *medium bronze* (5 mm vidro + película + 5 mm vidro), e uma película nas superfícies internas composta de tereftalato de polibutileno – modelo FTP5BSR. A Tabela 1 apresenta as especificações técnicas dessa nova película.

Tabela 1 – Especificações técnicas do filme FTP5BSR.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Transmissão luminosa	8%
Reflexão da luz visível	42%
Transmissão da energia solar	42%
Reflexão da energia solar	58%
Absorção da energia solar	26%
Coefficiente de sombreamento	67%
Transmissão de raios ultravioleta	2%
Energia total refletida	42%

Esses vidros estão presentes em todas as fachadas do domus (norte, sul, inferior, leste e oeste), e são sustentados por uma estrutura metálica com perfis de 0,07 x 0,10 m, 0,10 x 0,10 m e de 0,25 x 0,30 m, distribuídos tanto na vertical quanto na horizontal, nas fachadas norte, sul e inferior do domus. A Figura 2 mostra a localização das fachadas.

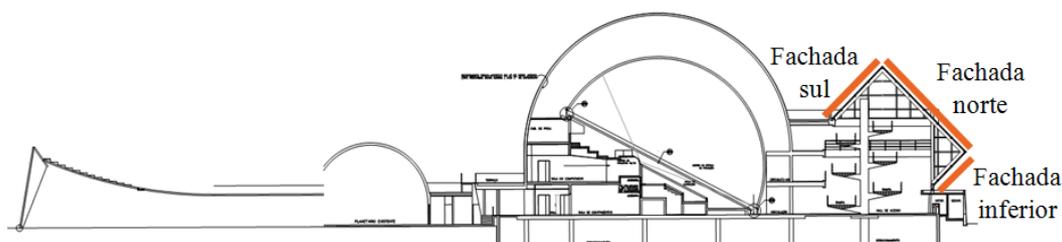


Figura 2 – Corte do planetário e localização das fachadas norte, sul e inferior do domus.

4. INTEGRAÇÃO FOTOVOLTAICA

Os vidros atuais de todas as fachadas do domus serão substituídos por diferentes elementos: módulos fotovoltaicos semitransparentes, vidros parcialmente jateados no mesmo padrão das células fotovoltaicas e vidros totalmente jateados.

As fachadas norte e sul terão integração de módulos fotovoltaicos semitransparentes e vidros parcialmente jateados, inclinados a 45°. A fachada inferior terá apenas vidros parcialmente jateados. As fachadas laterais (leste e oeste) deverão ter apenas vidros totalmente jateados.

Seguindo a orientação e inclinação originais das faces do domus do planetário, a incidência de irradiação solar será de 90% na fachada norte e 60% na fachada sul em relação à máxima possível na cidade do Rio de Janeiro (23° de inclinação, orientação norte). Tais valores são considerados aceitáveis quando associados à alta qualidade de integração arquitetônica. Quando existe compromisso entre forma e função de sistemas fotovoltaicos integrados a edificações, pequenas perdas energéticas tornam-se justificáveis (Urbanetz et al., 2011; Zomer et al., 2013).

4.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos utilizados neste projeto são de silício monocristalino com 30% de transparência e eficiência de 12%. As células monocristalinas são totalmente opacas; a transparência é atingida devido ao espaçamento entre elas. A Tabela 2 mostra as características técnicas do módulo fotovoltaico escolhido.

4.2 Vidros

Devido à diferença de dimensões dos vidros atuais (1,00 x 2,10 m) e dos módulos fotovoltaicos (0,98 x 1,65 m), serão acrescentados vidros parcialmente jateados entre as fileiras de módulos nas fachadas norte e sul. Para uma melhor distribuição da incidência luminosa no interior do planetário, esses vidros terão estampa jateada com o mesmo formato e distanciamento das células fotovoltaicas, conforme a Figura 3.

Tabela 2 – Características técnicas dos módulos do sistema fotovoltaico.

CARACTERÍSTICAS GERAIS		PARÂMETROS ELÉTRICOS	
Tecnologia	Silício monocristalino (m-Si)	Pmpp	205 Wp
Dimensão do módulo	1652 x 982 mm	Umpp	25,1 V
Espessura	Aproximadamente 9,5 mm	Impp	8,2 A
Peso	Aproximadamente 38 kg	Uoc	30,3 V
Quantidade de células	48 (6 x 8)	Isc	8,8 A

Distância entre células	Aproximadamente 3 mm	Diodo de bypass	3 peças em uma caixa de junção na parte de trás do módulo
Distância entre strings	Aproximadamente 35 mm	Cabo	4 mm ² isolamento duplo, 1.000 mm com conectores
Vidro frontal	4 mm temperado, baixo teor de ferro, com heat-soak-test, lâmina, células, lâmina		
Vidro traseiro	4 mm temperado, com heat-soak-test		
Moldura	Sem moldura		

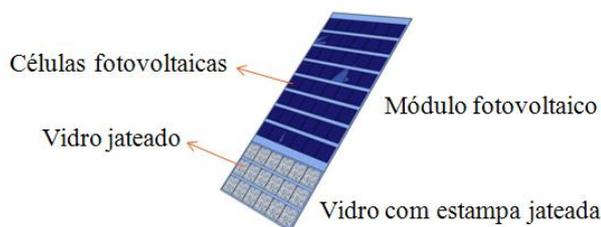


Figura 3 – Módulo fotovoltaico selecionado e vidro parcialmente jateado.

As características técnicas do vidro selecionado, antes de passar pelo processo de jateamento, são apresentadas na Tabela 3. Este vidro foi escolhido por possuir uma transmitância luminosa de 31%, semelhante à do módulo fotovoltaico utilizado. Após o tratamento jateado, a transmitância luminosa do vidro passa a ser de 20%. Os vidros utilizados nas demais fachadas do domus possuem essas mesmas características.

Tabela 3 – Características técnicas do vidro selecionado antes de passar pelo processo de jateamento.

CARACTERÍSTICA	VALOR/ESPECIFICAÇÃO
Fabricante	Cebrace
Nome	Cool Lite SKN Cinza
Espessura (mm)	8,000
Tsol (%)	0,150
Rsol1 (%)	0,360
Rsol2 (%)	0,360
Tvis (%)	0,310
Rvis1 (%)	0,170
Rvis2 (%)	0,100
emis1 (%)	0,840
emis2 (%)	0,840
Condutividade (%)	1,000
Processo	Laminado incolor
U-value	5,700
SHGC (%)	0,280

4.3 Estrutura metálica

A estrutura metálica existente será aproveitada, mas devido à diferença entre as dimensões dos vidros existentes e dos módulos fotovoltaicos, novos perfis horizontais de dimensões 0,10 x 0,10 m deverão ser acrescentados nas fachadas norte, sul e inferior do domus, entre os módulos fotovoltaicos e/ou os vidros parcialmente jateados.

4.4 Geração energética estimada

180 módulos fotovoltaicos semitransparentes serão instalados nas fachadas norte e sul do domus do Planetário da Gávea, o que corresponde a uma potência instalada de 36,9 kWp. No estudo do impacto causado pela vegetação do entorno na geração energética, utilizou-se o software Ecotect a fim de calcular o percentual de sombreamento anual dos módulos fotovoltaicos, segundo o método descrito em Zomer (2014). Os resultados foram de 22,3% de perdas anuais por sombreamento para a fachada norte e 9,8% para a fachada sul do domus.

Assim, a geração energética estimada é de aproximadamente 37 MWh/ano, que corresponde a 98% do atual consumo anual da Nave Escola do planetário (ambiente cenografado como uma nave espacial), ou a 2% do atual consumo total do planetário.

É importante lembrar que, com a integração de módulos fotovoltaicos semitransparentes e de novos vidros nas fachadas do domus do planetário, as demandas energéticas para condicionamento de ar e iluminação artificial serão diminuídas, o que afetará diretamente e de forma positiva o consumo de energia elétrica do planetário.

5. ANÁLISE DA ILUMINÂNCIA

Iluminância é a quantidade de luz presente em um ambiente ou superfície, medida através de um luxímetro, e sua unidade de medida é o lux, que representa a quantidade de lúmens por metro quadrado da superfície avaliada.

O estudo de iluminação teve como objetivo simular a iluminância resultante da substituição dos vidros existentes pelos módulos fotovoltaicos e por novos vidros total ou parcialmente jateados, e da adição de novos perfis metálicos à estrutura do domus. Em seguida, esses valores foram comparados com os calculados considerando as características de fechamento e estrutura atuais do domus.

Primeiramente, foi feita a modelagem 3D da área do planetário considerada neste estudo e da vegetação do entorno que possui influência na entrada de luz pelo domus, conforme a Figura 4. Em seguida, as simulações da iluminância foram obtidas em 54 pontos localizados a 75 cm do chão, em três andares e na rampa do planetário. Para isso, utilizou-se o software Ecotect a fim de obter uma média anual de iluminância, considerando dias de céu encoberto. Vale ressaltar que este estudo foi realizado sem a inclusão dos móveis, dos planetas e dos equipamentos existentes no interior do planetário.

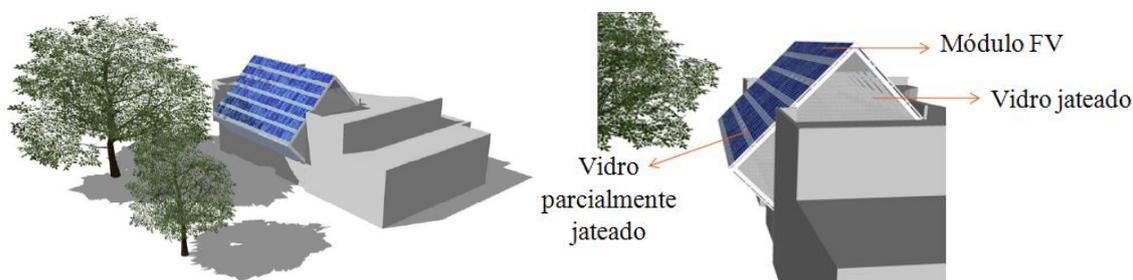


Figura 4 – Modelo 3D considerado no estudo de iluminância.

Em seguida, os valores obtidos nas simulações foram comparados a fim de verificar qual seria a influência da integração fotovoltaica na iluminância interna do local.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4 apresenta os valores de iluminância simulados nas condições atuais do planetário, bem como os calculados considerando a proposta de integração fotovoltaica. Inicialmente, é possível constatar que, com a substituição dos vidros existentes, a iluminância média no térreo e na rampa irá diminuir, enquanto no primeiro e no segundo andar irá aumentar levemente. A diferença de iluminância média em cada andar/rampa pode ser visualizada na Figura 5.

A Figura 6 apresenta os limites em planta baixa dos andares do planetário e a rampa em vista lateral, com a iluminância simulada em cada ponto, de acordo com a sua distribuição espacial, após a integração de módulos fotovoltaicos e novos vidros às fachadas do domus. Uma escala de cores que varia de 0 lux (cor azul) até 500 lux (cor amarela) foi escolhida, para uma melhor visualização dos valores próximos à 300 lux, que é a iluminância adequada para atender aos requisitos de exibição e proteção contra os efeitos de radiação em áreas gerais de museus (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013). Desta forma, é possível identificar quais pontos possuem níveis adequados de iluminação natural, quais necessitam de complementação com iluminação artificial e quais possuem iluminação em excesso.

De acordo com os valores simulados nas condições existentes, o Planetário da Gávea atualmente necessita de iluminação artificial para garantir o valor recomendado pela norma em todos os andares, e há excesso de iluminação natural no térreo e na rampa. Com a integração de módulos fotovoltaicos e novos vidros, alguns pontos com iluminação natural inferiores aos níveis exigidos pela norma, alcançarão valores mais adequados, como os pontos 7, 43, 44, 45 e 46. Em alguns pontos onde a iluminação era excessiva, os níveis de iluminância diminuiram para valores mais próximos ao estabelecido pela norma, aprimorando o conforto visual dos usuários, como os pontos 9, 37 e 38. Entretanto, outros pontos com iluminação natural inferiores a 300 lux, continuaram baixos, como no primeiro e no segundo andar. Além disso, os pontos 51, 52, 53 e 54 continuaram com valores excessivos de iluminância.

No térreo, os pontos juntos à entrada continuam com valores próximos a 300 lux, enquanto os pontos mais ao fundo continuam apresentando valores inferiores a 100 lux. O primeiro andar possui uma distribuição uniforme em todos os pontos, com valores de cerca de 20 a 30 lux. O segundo andar possui um valor de iluminância natural um pouco superior ao do primeiro andar, com valores de cerca de 20 a 50 lux. A rampa, pelo contrário, recebe bastante

iluminação natural em alguns locais, e pouca em outros, mas foi possível diminuir os níveis de iluminância em alguns pontos e aumentá-los em outros, aproximando os valores a 300 lux.

Tabela 4 – Valores médios anuais de iluminância.

LOCAL	PONTO	VIDROS COM PELÍCULA (lux)	MÓDULOS FV + NOVOS VIDROS (lux)	LOCAL	PONTO	VIDROS COM PELÍCULA (lux)	MÓDULOS FV + NOVOS VIDROS (lux)
Térreo	1	0	0	2º andar	28	23	41
	2	0	4		29	3	21
	3	1	6		30	1	24
	4	8	18		31	11	57
	5	42	88		32	10	50
	6	304	477		33	1	35
	7	103	238		34	5	23
	8	250	394		35	14	17
	9	5017	429		36	12	40
	10	23	26		37	7006	39
	11	1	6		38	6959	52
	12	1	2		39	45	72
	13	9	12		40	132	293
	14	0	5		41	128	257
	15	0	5		42	26	70
	16	0	10		43	45	148
	17	9	14		44	69	223
	18	7	17		45	62	154
1º andar	19	16	31	Rampa	46	171	399
	20	4	19		47	197	426
	21	1	12		48	475	567
	22	10	41		49	418	454
	23	13	31		50	546	649
	24	0	12		51	704	1043
	25	1	4		52	1307	1243
	26	0	3		53	1255	1355
	27	0	12		54	1196	1210

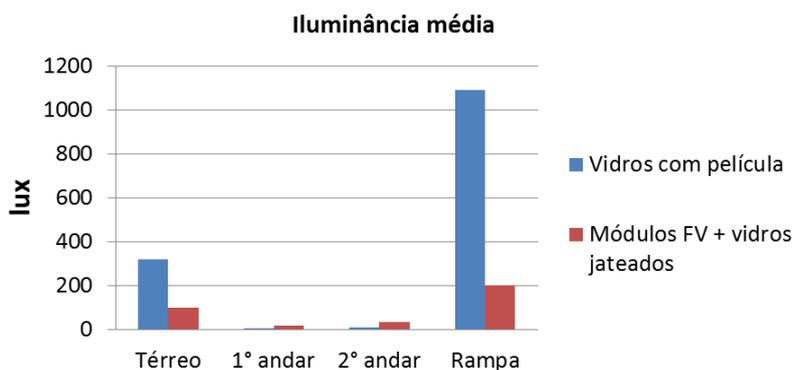


Figura 5 – Iluminância média em cada andar e na rampa antes e após a integração fotovoltaica.

Uma forma de melhorar o conforto lumínico no interior do planetário, principalmente no térreo e na rampa, seria através da redução do ofuscamento. Observando-se fotos internas atuais, nota-se que o piso é brilhoso e de cor cinza clara, o que contribui para a reflexão da luz e consequente sensação de desconforto visual nos usuários. Portanto, sugere-se a troca do piso por uma cor ou material mais escuro e menos reflexivo. Entretanto, ressalta-se que seria necessário um estudo mais detalhado do ofuscamento e condições de temperatura interna, além de uma análise de custo benéfico. Outra maneira de melhorar o conforto lumínico nos locais onde a iluminação natural é excessiva seria o uso de dispositivos de sombreamento interno, como sugere Li et al. (2009b). Para os pontos onde há escassez de iluminação natural, pode-se estudar a variação de iluminância ao longo dos dias a fim de avaliar a possibilidade de instalação de lâmpadas dimerizáveis, objetivando a diminuição do consumo de energia elétrica com a iluminação artificial (Li et al., 2002; Miyazaki et al., 2005; Li et al., 2009a; Li et al., 2009b; Leite Didoné and Wagner, 2013).

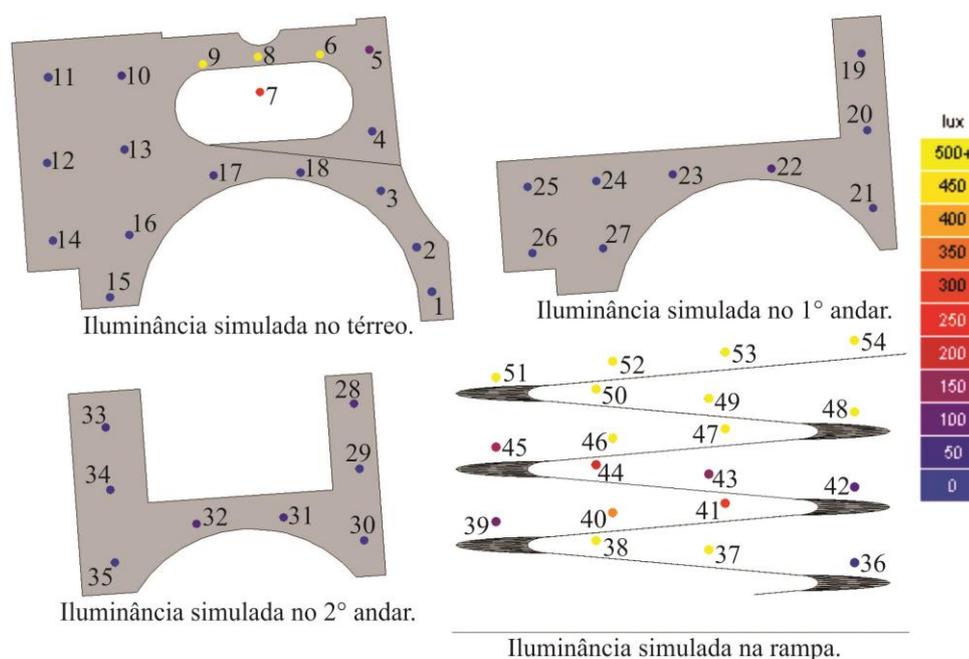


Figura 6 – Iluminância simulada em cada ponto após a integração de módulos fotovoltaicos e novos vidros. A escala de cores representa valores de 0 a 500 lux.

7. CONCLUSÕES

O presente artigo demonstrou uma forma original e inovadora de integração da energia fotovoltaica à arquitetura. Módulos fotovoltaicos semitransparentes foram combinados com vidros de efeito jateado que imitam a aparência das células fotovoltaicas, de forma a manter a paginação do domus do Planetário da Gávea, localizado em sua fachada principal. Esses módulos possibilitam gerar aproximadamente 37 MWh/ano, que corresponde até 98% do atual consumo anual da Nave Escola do planetário ou até 2% do atual consumo anual total do planetário. Essa estimativa levou em consideração o sombreamento dos módulos fotovoltaicos.

Foi apresentada a iluminância interna em determinados pontos do planetário antes e após a integração de módulos fotovoltaicos semitransparentes ao seu domus. A primeira simulação levou em conta o entorno do planetário e os vidros e estrutura metálica que compõem a envoltória atual do domus. Na segunda simulação, os valores de iluminância simulados levaram em conta o impacto do entorno da edificação, os módulos fotovoltaicos semitransparentes, os novos vidros total e parcialmente jateados e as modificações feitas na estrutura do domus do planetário a fim de tornar possível a integração fotovoltaica.

Com base no valor considerado ideal para áreas gerais de museus pela norma brasileira ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 de iluminação de ambientes de trabalho (parte 1: interior), os resultados mostraram que a integração fotovoltaica aprimorou os valores de iluminância em alguns pontos do planetário. Nos pontos onde a iluminância ficou longe dos valores adequados, foram sugeridos estudos de mudanças para melhorar estes valores, como a troca de piso, o uso de dispositivos de sombreamento interno e a instalação de lâmpadas dimerizáveis.

Considerando a troca do vidro atual da envoltória do domus pelos módulos fotovoltaicos e vidros recomendados, o planetário já irá apresentar uma melhora no seu desempenho energético. Para aperfeiçoá-lo ainda mais, poder-se-ia ampliar a geração de energia solar fotovoltaica através do aumento da potência instalada de módulos fotovoltaicos na cobertura da edificação.

Com o crescimento da utilização da tecnologia fotovoltaica integrada a edificações e a constante criação de diferentes tipos de módulos fotovoltaicos, fabricados com diversos tipos de materiais, podendo ser opacos ou não, torna-se cada vez mais necessário o estudo da influência desses elementos no exterior, no interior e até no entorno das edificações. Estudos dos impactos no aquecimento, refrigeração e iluminação causados pelos módulos fotovoltaicos semitransparentes, a fim de conhecer sua influência na demanda energética e nos gastos com energia elétrica do edifício, são exemplos de dados que podem ajudar os projetistas a aprimorar cada vez mais seus projetos, fazendo o uso da tecnologia fotovoltaica da melhor maneira possível.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. A. B. d. N. Técnicas: 46.

- Jordão Engenharia, 2014. Medição do nível atual de iluminância da área do Domus do Planetário do Rio. Rio de Janeiro: 20.
- Leite Didoné, E. and A. Wagner, 2013. Semi-transparent PV windows: A study for office buildings in Brazil, *Energy and Buildings*, vol. 67, n. pp. 136-142.
- Li, D. H. W., J. C. Lam and S. L. Wong, 2002. Daylighting and its implications to overall thermal transfer value (OTTV) determinations, *Energy*, vol. 27, n. 11, pp. 991-1008.
- Li, D. H. W., T. N. T. Lam, W. W. H. Chan and A. H. L. Mak, 2009a. Energy and cost analysis of semi-transparent photovoltaic in office buildings, *Applied Energy*, vol. 86, n. 5, pp. 722-729.
- Li, D. H. W., T. N. T. Lam and K. L. Cheung, 2009b. Energy and cost studies of semi-transparent photovoltaic skylight, *Energy Conversion and Management*, vol. 50, n. 8, pp. 1981-1990.
- Miyazaki, T., A. Akisawa and T. Kashiwagi, 2005. Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows, *Renewable Energy*, vol. 30, n. 3, pp. 281-304.
- Ng, P. K., N. Mithraratne and H. W. Kua, 2013. Energy analysis of semi-transparent BIPV in Singapore buildings, *Energy and Buildings*, vol. 66, n. pp. 274-281.
- Olivieri, L., E. Caamaño-Martín, F. J. Moralejo-Vázquez, N. Martín-Chivelet, F. Olivieri and F. J. Neila-Gonzalez, 2014a. Energy saving potential of semi-transparent photovoltaic elements for building integration, *Energy*, vol. 76, n. pp. 572-583.
- Olivieri, L., E. Caamaño-Martín, F. Olivieri and J. Neila, 2014b. Integral energy performance characterization of semi-transparent photovoltaic elements for building integration under real operation conditions, *Energy and Buildings*, vol. 68, Part A, n. pp. 280-291.
- Olivieri, L., F. Frontini, C. Polo-López, D. Pahud and E. Caamaño-Martín, 2015. G-value indoor characterization of semi-transparent photovoltaic elements for building integration: New equipment and methodology, *Energy and Buildings*, vol. 101, n. pp. 84-94.
- Prasad, D. and M. Snow, 2002. *Designing with solar power: A source book for building integrated photovoltaics (BIPV)* Images Publishing.
- Rüther, R., 2004. *Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*, Editora UFSC / LABSOLAR.
- Urbanetz, J., C. D. Zomer and R. Rüther, 2011. Compromises between form and function in grid-connected, building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitude sites, *Building and Environment*, vol. 46, n. 10, pp. 2107-2113.
- Wong, P. W., Y. Shimoda, M. Nonaka, M. Inoue and M. Mizuno, 2008. Semi-transparent PV: Thermal performance, power generation, daylight modelling and energy saving potential in a residential application, *Renewable Energy*, vol. 33, n. 5, pp. 1024-1036.
- Zomer, C. D., 2014. *Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações*, Tese, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Zomer, C. D., M. R. Costa, A. Nobre and R. Rüther, 2013. Performance compromises of building-integrated and building-applied photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian airports, *Energy and Buildings*, vol. 66, n. pp. 607-615.

IMPACTS OF A PHOTOVOLTAIC INTEGRATION ON THE DOMUS OF GÁVEA'S PLANETARIUM - RJ

Abstract. *This work describes a proposal for the installation of a building-integrated photovoltaic system on the domus of Gávea's Planetarium - RJ, replacing its glasses. The system has semi-transparent monocrystalline silicon photovoltaic modules, installed on two opposite orientations (North and South), as well as etched glasses that copy the photovoltaic cells' pattern. A plastic homogenization to the domus' envelope was possible because of the unique building-integrated proposal to its facades. Due to the high incident radiation on the domus, the photovoltaic system will be able to generate up to 98% of the planetarium's Nave Escola annual energetic demand. Computer simulations' results that show an improvement on the internal daylight distribution are also presented, highlighting the places that reached the illuminance values established by the Brazilian standard ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, besides suggesting modifications to the places that could not reach these values, in order to improve them. The replacement of the domus' glasses will be crucial to the improvement of the planetarium's energy performance.*

Key words: *Building-integrated photovoltaic system, Semi-transparent photovoltaic modules, Illuminance*