

Balanço térmico em fachada com e sem parede verde

Facade thermal balance with and without green wall

RESUMO

Rodrigo Oliveira Silva
rodrigoss.2014@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Patrícia Carneiro Lobo Faria
patricialobo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Sueli Tavares de Melo Souza
suelisouza@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

O uso de jardins verticais (paredes verdes) é uma tecnologia em expansão no Brasil, que proporciona melhorias na qualidade de vida sob diversos aspectos: qualidade do ar, paisagismo e conforto. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o efeito de uma parede verde sobre o comportamento térmico do interior de construções, a partir da reprodução em escala reduzida (1:12) do Bloco S localizado no Câmpus da UTFPR Londrina. O modelo de parede verde utilizado é de material plástico, com 27 nichos que abrigam o substrato como suporte para as plantas. Foram utilizadas as seguintes espécies: Aspargos, Clorofito e Singônio. Os resultados mostraram que as plantas de Singônio utilizadas no sistema de parede verde mostraram um amortecimento de 80,3% do fluxo térmico, por isso é a mais indicada. Por fim, a utilização do modelo de parede verde modular é uma alternativa viável para regularizar a temperatura interna de ambientes construídos, e gerar economia de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Espécies. Conforto térmico. Construções-sustentáveis.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The use of vertical gardens (green walls) is an expanding technology in Brazil, providing improvements in the quality of life in several aspects: air quality, landscaping and comfort. The objective of this work was to evaluate the effect of a green wall on the thermal behavior of the interior of buildings, based on the small scale reproduction (1:12) of Block S located on the campus of UTFPR Londrina. The green wall model used is made of plastic material, with 27 niches that house the substrate as a support for the plants. The following species were used: Asparagus, Chlorophyte and Singonium. The results showed that Singonium plants used in the green wall system showed 80.3% of the thermal flow damping, which is why it is the most suitable. Finally, the use of the modular green wall model is a viable alternative to regulate the internal temperature of built environments, and generate energy savings.

KEYWORDS: Species. Thermal comfort. Sustainable buildings.



INTRODUÇÃO

A busca de ambientes agradáveis que possibilitem a permanência de qualquer indivíduo está incorporado na concepção de uma edificação. Seguindo esta linha a NBR 15220 – parte 2 (2005) menciona que a resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas. Pode-se notar que o vento e a radiação solar têm maior influência em relação à absorção de calor por parte do material. Portanto, o avanço da tecnologia e a busca de melhorias na qualidade de vida levou o homem a estudar outras formas de minimização e maximização da perda de calor em locais frios e quentes (ZHANG, 2019).

De acordo com Montenegro (2019) uma das formas de atenuar a temperatura é promover a recirculação do ar e sombreamento de fachadas. Uma alternativa empregada hoje sem gastos excessivos de energia são os sistemas sustentáveis ou verdes. Merece destaque o sistema de jardim vertical estudado por Morelli (2016) em que se avaliou o comportamento térmico da fachada norte de três células na cidade de Campinas-SP, uma sem trepadeiras, uma com a trepadeira diretamente na parede e uma com a trepadeira apoiada sobre um sistema de treliça.

O desempenho térmico das edificações, de acordo com cada zona bioclimática, está previsto na NBR 15220 – parte 3, que estabelece para a fase de projeto a consideração dos seguintes parâmetros e condições de contorno: o tamanho das aberturas para ventilação; a proteção de aberturas; as vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e as estratégias de condicionamento térmico passivo.

Por fim, este estudo monitorou dois modelos reduzidos com e sem a implantação de paredes verdes que foram adaptados de acordo com a NBR 15220-3. Foi necessário medir as temperaturas nas superfícies externas e internas da parede Norte para calcular quanto esta parede consegue amortecer a transferência de calor, no sentido de proporcionar ambientes internos mais agradáveis e promover economia no consumo de energia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Em agosto de 2019 foi realizada a adequação dos blocos sem revestimento nas paredes, sem ventilação cruzada e sem isolamento da cobertura monitorado por (SEIXAS, 2019). Segundo Giglio e Barbosa (2006), a cidade de Londrina é caracterizada como de clima subtropical úmido, pertencente à zona bioclimática 3 descrita na normativa. Portanto, visando à conformidade com a NBR 15220 – parte 3 (2005) foram promovidas as seguintes modificações (Figura 1):

- Implementação da ventilação cruzada: utilizando tijolos virados com a face vazada no sentido Leste Oeste; face oeste no topo do módulo e na altura do piso na face leste;

- Revestimento interno e externo dos blocos: chapisco, reboco e emboço;
- Pintura reflexiva nas paredes e tetos na cor branca;
- Isolamento da cobertura: foi colocado um forro de madeira, sobreposto por manta térmica e criação de um colchão de ar de 5 cm, seguido da placa de espuma de poliuretano com 7 cm de espessura (SILVA, 2019), conforme Figura 1. Cabe destacar que, embora este tópico conste como metodologia descrita, foi uma etapa prevista no plano de trabalho.

Figura 1 – Aspecto geral dos módulos construídos (escala 1:12), antes da implementação da parede verde

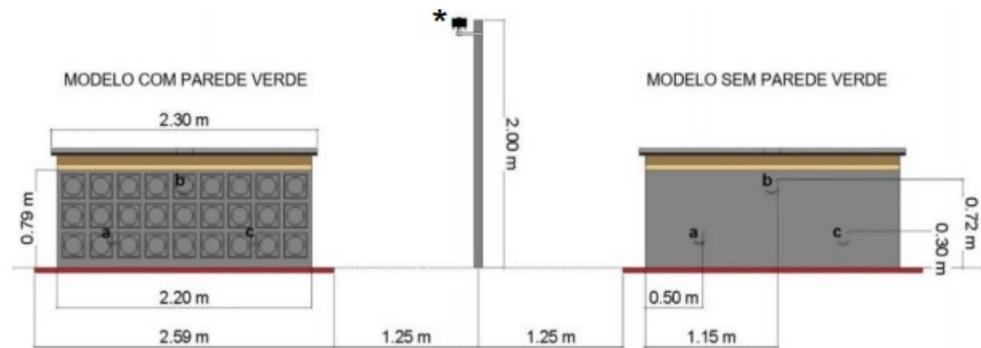


Fonte: SILVA (2019).

O sistema de parede verde utilizado é constituído por módulos plásticos que formam um conjunto de nichos em um suporte pré-moldado (modelo Eco 27), da empresa WallGreen. Até o momento a pesquisa tem sido feita utilizando 9 plantas de 3 espécies (Singônio, Clorofito e Aspargo-pendente). O sistema de irrigação ocorreu através do gotejamento de água a cada 12h, com duração de 30min, com vazão de 37ml/min.

O monitoramento da temperatura foi realizado com o uso de sensores DS18B20 (Aosong Eletronic Co., LTD), acoplados ao Arduino® modelo Uno, registrando-se os dados a cada 2 minutos, em um cartão de memória. A temperatura foi monitorada em 15 pontos (3 na superfície interna, 3 na superfície externa da parede na fachada norte de cada um dos modelos, totalizando 12 pontos; 1 no interior de cada modelo, totalizando 2 pontos e 1 externo para avaliar a temperatura ambiente, situado a 2m do solo entre os módulos) (Figura 2). A Figura 2 também mostra o posicionamento dos pontos de coleta de dados nas superfícies dos modelos, denominados pontos “a”, “b” e “c”.

Figura 2 – Desenho esquemático da localização dos sensores nos modelos



Fonte: SILVA (2019).

Legenda: *: sensor para temperatura ambiente externo

Para estimar o consumo energético com o sistema de parede verde é preciso levar em consideração o balanço energético, no qual isola-se a cobertura e a base para simplificar os cálculos e melhorar a compreensão sobre a economia energética proporcionada pelo sistema.

Para calcular o balanço energético foram utilizadas as Equações 1, 2 e 3 obtidas de Incropera (2011). A equação 1 está escrita abaixo.

$$\Delta \dot{E}_{acu} \equiv \frac{dE_{acu}}{dt} = \dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sai} + \dot{E}_{ger} \quad (1)$$

Aplicando a condição de regime estacionário e não geração de energia no interior do sistema na equação 1 tem-se a Equação 2. Nota-se que não existe mais a geração de energia no interior do sistema.

$$\Delta \dot{E}_{acu} \equiv \frac{dE_{acu}}{dt} = E_{entra} - E_{sai} + E_{ger} \quad (2)$$

Após essas simplificações, o balanço energético fica resumido apenas ao acúmulo de energia dentro do sistema (energia térmica) (Equação 3).

$$E_{acu} = E_{entra} - E_{sai} \quad (3)$$

A partir da Equação 3, pode-se notar, que nesse sistema considera-se apenas a condução como forma de transferência de calor, isto é, toda a energia que passa pelas paredes. Tomando os parâmetros de entrada e saída do sistema, e ainda, assumindo que a transmitância térmica (U) da parede de alvenaria do sistema é de 2,49 W/m²K (NBR 15220 – parte 3, 2005), foi possível calcular a resistência térmica e a taxa de transferência de calor da parede a partir das Equações 4 e 5 (NBR 15220 – parte 3, 2005; INCROPERA, 2011):

$$R = 1/U \quad (4)$$

$$q = \frac{\Delta T}{R} \quad (1)$$

Sendo:

R: resistência térmica [m²K/W];

q: taxa de transferência de calor [W];

ΔT: diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna da parede [°C];

U: Transmitância térmica [W/m²K}

Assim, pela diferença de calor entre os sistemas, foi possível encontrar o valor da retirada de calor proveniente da parede verde por meio da Equação 6.

$$\Delta q = q_{SPV} - q_{CPV} \quad (2)$$

Sendo:

q_{SPV} : taxa de transferência de calor no sistema SPV [W];

q_{CPV} : taxa de transferência de calor no sistema CPV [W];

Δq : diferença da taxa de transferência de calor dos sistemas [W].

Para estimar o quanto o sistema de parede verde implantado no Bloco S da UTFPR/LD impactaria a taxa de transferência de calor, foi feita uma adaptação na expressão proposta por Incropera (2011) para fluxo de calor por se trata de dados de taxa de transmissão térmica nos modelos reduzidos. Por isso, pode-se perceber que a Equação 7 teve que ser multiplicada por 12.

$$\dot{q} = \left[\frac{q_{xPV}}{A} \right] * 12 \quad (3)$$

Sendo:

q_{xPV} : taxa de transmissão térmica do sistema x (SPV ou CPV) [W];

A: área da superfície da parede com fachada norte dos modelos [m²];

\dot{q} : fluxo de calor ou taxa de condução de calor por unidade de área [W/m²];

12: número utilizado para compensar o fator de redução dos modelos reduzidos (1:12).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento ocorreu no período de 27 de setembro a 11 de outubro de 2019. A semana 1 teve as maiores temperaturas, por isso o balanço térmico foi feito para esta semana. Durante o experimento as 3 espécies apresentaram uma cobertura densa, uniforme e similar da parede verde, mostrando um crescimento vigoroso, sob as condições experimentais (figura 3). As plantas de Aspargopendente e Clorofito inclusive floresceram e frutificaram ao longo do experimento.

Figura 3 – Espécies na fase de desenvolvimento do experimento



Fonte: SILVA (2019).

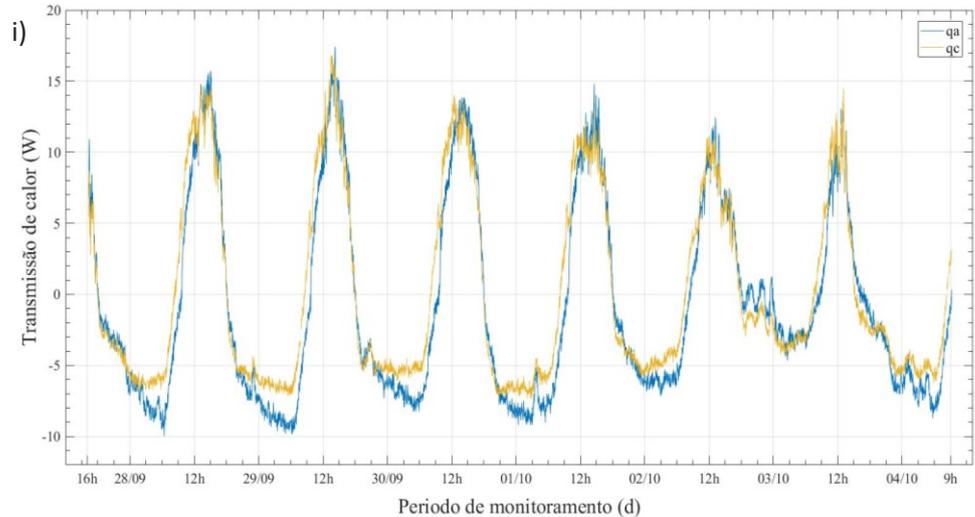
Legenda – (a) Aspargo-pendente, (b) Clorofito e (c) Singônio.

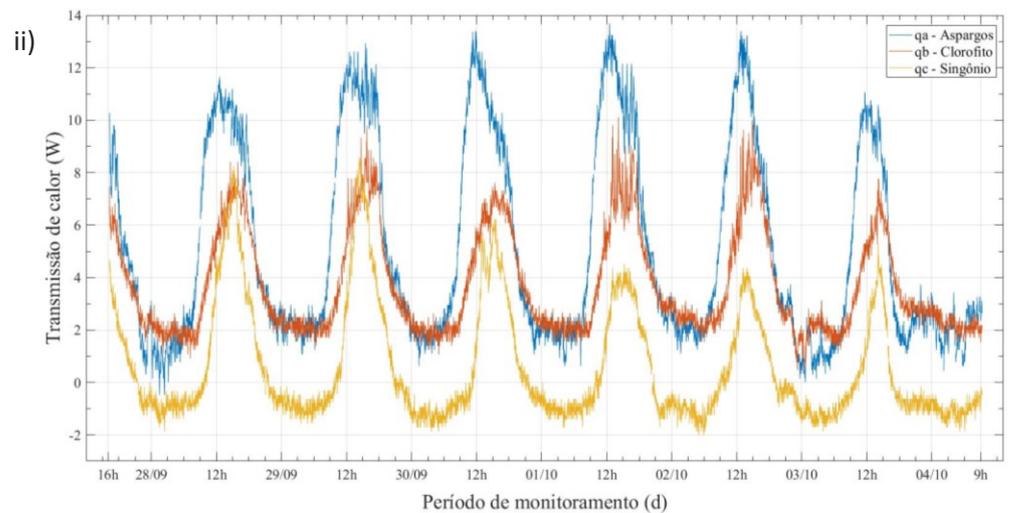
Para perceber a contribuição do sistema de parede verde na economia de energia assumiu-se transmitância térmica de 2,49 W/m²K correspondente a uma parede de tijolos cerâmicos de 8 furos duplamente revestida com argamassa (NBR 15220 – parte 3, 2005). Com esse valor calculou-se o valor da resistência térmica utilizando a equação 4 apresentada anteriormente.

$$R = 1/2,49 = 0,40 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Após determinar a resistência térmica, utilizou-se a equação 5 ($q = \Delta T/R$) para encontrar a taxa de transferência de calor (“q”) de cada ponto (“a”, “b” e “c”) nos modelos SPV e CPV (ver localização dos pontos na Figura 2). A taxa de transmissão de calor no modelo SPV (Gráfico 1i), ocorrida entre 06:00 e 18:00, se mostrou bastante similar entre os pontos “a” e “c”, e teve seu pico próximo das 15:00. Já no período noturno, foi possível perceber que no ponto “a”, em geral, foi maior (em módulo) do que no ponto “c”, já que os valores negativos significam a inversão de sentido na transferência de calor. A curva da taxa de transferência de calor do ponto “b” não foi construída em razão dos valores muito semelhantes de TSE e TSI, descrevendo valores fora do padrão até então observado (dados não apresentados). Percebeu-se, também, que de modo geral, 60% do calor que entra durante o dia no modelo, sai durante o período noturno (Gráfico 1i).

Gráfico 1 - Taxas de condução de calor no modelo SPV (i) e CPV (ii) durante a Semana 1



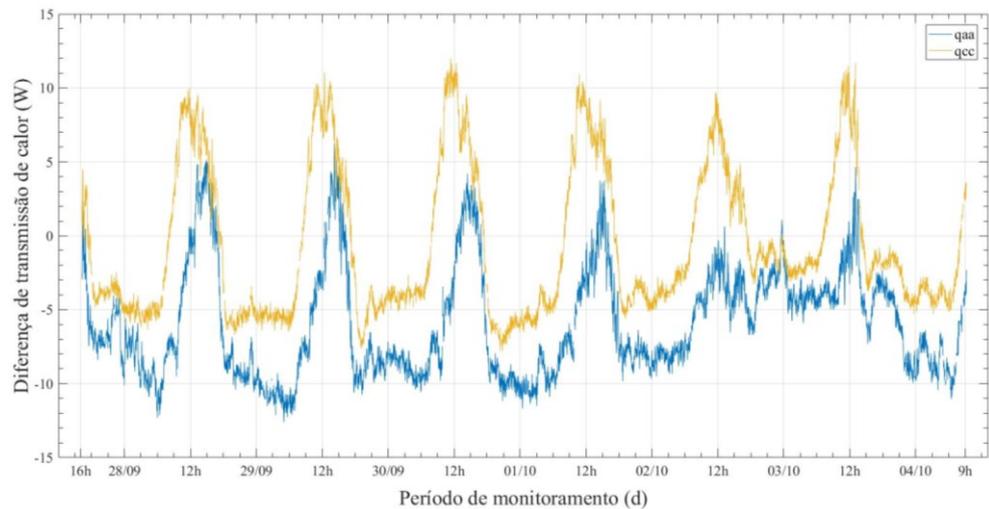


Legenda: qa: taxa de condução de calor no ponto “a”, sob influência do Aspargopendente; qb: taxa de condução de calor no ponto “b”, sob influência do Clorofito; qc: taxa de condução de calor no ponto “c”, sob influência do Singônio. Obs.: as TSE e TSI do ponto “b” SPV não foram consideradas, por isso não constam no gráfico.

A taxa de transmissão de calor variou entre os pontos, no modelo CPV, sendo que durante o dia, os valores do ponto “a”, em geral, foram maiores do que nos pontos “b” e “c” (Gráfico 1ii). Ao longo da noite, o comportamento das taxas se manteve similar ao período diurno, ou seja, em “a” valores mais altos e em “c” valores mais baixos (Gráfico 1ii). Assim, o Singônio foi a espécie que demonstrou ter maior capacidade de isolamento térmico, uma vez que as taxas de transferência de calor sob influência do Clorofito e Aspargopendente foram mais altas.

A maior diferença (12,0W) entre as taxas de transferência de calor foi observada entre o ponto “c” do modelo CPV (ponto sob influência do Singônio) e do modelo SPV, às 11:22 do dia 30/09. Já a diferença entre os pontos “a” dos modelos SPV e CPV, mesmo horário e data, foi de -4,8W (Gráfico 2). Essas diferenças das taxas de transmissão de calor entre os pontos dos modelos SPV e CPV denotam o quanto de calor é retido pela parede verde.

Gráfico 2 – Diferença entre as taxas de condução de calor dos pontos “a” e “c” dos modelos SPV e CPV



Fonte: SILVA (2019).

Legenda – qaa: diferença entre as taxas de condução de calor no ponto “a” dos modelos SPV e CPV; qcc: diferença entre as taxas de condução de calor no ponto “c” dos modelos SPV e CPV

Fazendo o cálculo do fluxo de calor em ambos os sistemas com os valores máximos das taxas de transmissão de calor obteve-se, para o ponto “a” do modelo SPV um valor de $208,8\text{W/m}^2$ e $120,9\text{W/m}^2$ passando pelo Aspargo-pendente, ou seja, ponto “a” no modelo CPV. Já, para o ponto “c” do modelo SPV o fluxo foi de $201,6\text{W/m}^2$, enquanto no ponto sob plantas de Singônio, foi de $39,7\text{W/m}^2$. Portanto, percebe-se que o Aspargo-pendente promoveu um amortecimento térmico de 42,1% e o Singônio de 80,3%. Pan e Chu (2016 apud MONTANARI; LABAKI, 2017) citam uma economia diária de 16% no consumo de energia com o uso de paredes verdes em Hong Kong, nos meses mais quentes do ano. Uma economia de energia de 37% anualmente também já foi estimada (DJEDJIG et al., 2017 apud MONTANARI; LABAKI, 2017), o que reforça a perspectiva de ampliar o uso dessa tecnologia nos prédios em áreas altamente urbanizadas com concentração de calor.

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que as plantas de Singônio utilizadas no sistema de parede verde mostraram um amortecimento de 80,3% do fluxo térmico, demonstrando características superiores às outras espécies quanto ao isolamento térmico. Nota-se também que o uso de parede de verde modular é uma alternativa viável para o conforto térmico e minimização de energia.

AGRADECIMENTOS

As empresas WallGreen e Yticon, pela assessoria pós-venda e doação de produtos ao projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**. Desempenho Térmico de Edificações. Partes 1 a 3. Rio de Janeiro, 2005.

DJEDJIG, R. et al. Thermal effects of an innovative green wall on building energy performance. **Mechanics & Industry**, v. 18, n. 1, p. 104, 2017. Disponível em: <https://www.ygodb.com/articles/meca/pdf/2017/01/mi150034.pdf>. Acesso em: 17 out. 2019.

GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira; BARBOSA, Miriam Jerônimo. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 91-103, Jul/Set 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3715/2061>. Acesso em: 29 ago. 2019.

INCROPERA, F. P. FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER. 7. ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2011.

MONTENEGRO, G. A. (Autor) VENTILAÇÃO E COBERTAS: A ARQUITETURA TROPICAL NA PRÁTICA. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2019. 144 p.

MORELLI, Denise Damas de Oliveira. **Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática**. Orientador: Prof. Dr^a. Lucila Chebel Labaki. 2016. 161 p. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

PAN, L.; CHU, L. M. Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: a case study. **Building and Environment**, v. 96, p. 293 – 300, 1 fev. 2016.

SEIXAS, Carolina Dinali Santos. Efeito de uso de parede verde na temperatura interna de modelo construído com bloco cerâmico. Orientador: Profa. Dra. Sueli Tavares De Melo Souza. 2019. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

SILVA, Rodrigo Oliveira. Desempenho térmico de paredes verdes na fachada norte em modelo reduzido: Um estudo para a zona bioclimática de Londrina. Orientador: Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria. 2019. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

ZHANG, J.; LI, H.; OLANIPEKUN, A. O.; BAI, L. A successful delivery process of green buildings: The project owners' view, motivation and commitment. **Renewable Energy**, v. 1, n. 138, p.651-658, jan. 2019.