

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CUSTO BENEFÍCIO NO USO DE COBERTURAS METÁLICAS EM SUPERMERCADOS EMPREGANDO O SOFTWARE *ENERGYPLUS*

Laís Braga Caneppele

Mestranda no Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Edificações e Ambiental, Linha de Pesquisa: Conforto Ambiental e Eficiência Energética, E-mail: laiscaneppele@gmail.com

Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT, Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Linha de Pesquisa: Conforto Ambiental e Eficiência Energética, E-mail: mcjanp@gmail.com

Arnulfo Barroso de Vasconcellos

Professor do Departamento de Engenharia Elétrica/FAET/UFMT, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Linha de Pesquisa: Conforto Ambiental e Eficiência Energética, E-mail: arnulfo@cpd.ufmt.br

<http://dx.doi.org/10.5902/223611707703>

RESUMO:

O presente artigo tem como objetivo geral analisar a eficiência energética e custo x benefício no uso de três tipos de coberturas metálicas para um espaço de supermercado de 1.907,5m². Considerou-se o uso da telha de alumínio, da telha de alumínio com manta térmica e da telha sanduíche. A ferramenta utilizada para a simulação foi o software *EnergyPlus*. Para a construção e edição do modelo, foi utilizado o *Plug-in OpenStudio* integrado ao *SketchUp*. Para a simulação há a necessidade de inserir as características físicas dos componentes, as cargas térmicas internas de iluminação, equipamentos em geral, quantidade de pessoas, temperatura máxima interna do ar para o acionamento do ar condicionado e os dados climáticos de Cuiabá. Com os dados da simulação foram avaliadas as temperaturas internas, demandas e consumos energéticos mensais, enquadramento tarifário e a economia de energia para cada situação, relacionado ao custo benefício.

Palavras-chave: Eficiência Energética; enquadramento tarifário; *Energyplus*.

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY AND COST BENEFIT FOR THE USE OF METAL ROOF IN SUPERMARKETS THROUGH THE SOFTWARE *ENERGYPLUS*

ABSTRACT:

This paper aims to analyze the efficiency and cost x benefit the use of three types of metal roofing for an supermarket area of 1.907,5 m². It considered the use of aluminum tile, thermal blanket aluminum tile and sandwich tile. The software *EnergyPlus* was the tool used for the simulation. The plug-in *Openstudio* integrated into *SketchUp* was used for the construction and editing of the model. It is necessary to insert the physical characteristics of the components, thermal loads internal lighting, general equipment, number of people, maximum internal temperature of the air to use the air conditioning and climate data from Cuiabá for make the

simulation. With the simulation data were evaluated internal temperatures, energy consumption and demands monthly tariff framework and energy savings for each situation, related to cost benefit.

Keywords: Efficiency; tariff framework; EnergyPlus.

1. INTRODUÇÃO

As preocupações com eficiência energética ganharam força a partir das crises do petróleo em 1973 e 1979, quando iniciaram ações para a conservação e eficiência no uso energético e aumentaram as buscas por fontes diversificadas de energia. Em 1984, o Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade (INMETRO), com a criação de um programa que viria a ser o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), iniciaram-se discussões para a racionalização energética. No ano seguinte, o Ministério de Minas e Energia e da Indústria e Comércio Exterior instituiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) que visou integrar as ações da conservação de energia. Então, em 2001, foi decretada a Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295) que determina ao Poder Executivo o estabelecimento de níveis máximos de consumos e mínimos de eficiência para máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no país.

Ultimamente vêm-se discutindo a eficiência energética voltada as edificações. Em 2003, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou a NBR-15.220 de Desempenho térmico de Edificações, a qual visa apresentar diretrizes construtivas para um melhor desempenho. O INMETRO determinou em 2010 e 2012, os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e de Edificações Residenciais (RTQ-C e RTQ-R) delimitando ainda mais as eficiências energéticas dos edifícios com a classificação dos níveis de energia e estabelecendo a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Portanto, com o propósito de contribuir para conservação de energia brasileira e otimizar a estrutura de geração e distribuição existente, o objetivo deste artigo é avaliar a eficiência energética e custo benefício na utilização de coberturas metálicas em espaços de supermercados utilizando um ferramenta de simulação que se enquadra no RTQ-C e o *Software EnergyPlus*.

2. CONCEITOS

A transferência de energia térmica que ocorre naturalmente por diferença de temperatura entre os corpos pode ser chama de calor. Em edificação, a envoltória controla a passagem de energia do ar externo para o ar interno ou vice-versa. Desta forma o desempenho energético das paredes e, principalmente, da cobertura, pois é o elemento que há maior incidência de radiação, é determinante para o ganho térmico interno da edificação. O fluxo de calor em coberturas é dado pela Equação 01, que relaciona às transmitâncias térmicas (U) dos componentes construtivos e suas áreas (A), a absorção solar (α), a radiação incidente na superfície (RS), a resistência superficial externa (R_{se}) e diferença de temperatura (ΔT).

$$Q = U.A.(\Delta T + \alpha.RS.R_{se} - 4) (W) \dots\dots\dots\text{Equação 01}$$

Segundo a NBR 15.220-2 (2005), a transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor é o inverso da resistência térmica total. Os valores de resistência total, em ($m^2.K/W$), podem ser obtidos a partir do somatório das resistências superficiais com as razões de espessura (e) e por condutividade térmica (λ) de cada componente.

Já a capacidade térmica de um corpo é a medida de sua inércia térmica, ou seja, representa a tendência que os corpos têm em manter sua temperatura. Segundo a norma citada acima, a capacidade térmica dos componentes, em $(\text{KJ}/\text{m}^2.\text{K})$, é obtida a partir do produto entre a espessura (e), calor específico (c) e densidade do material (ρ). Esta propriedade, também, deve ser considerada para avaliar o desempenho térmico da envoltória.

O uso da energia é definido a partir da demanda e do consumo energético. A demanda é a potência máxima ativa em um quarto de hora, 15min, expressa em quilowatts (KW). O Consumo energético é potência consumida em um período, expressa em megawatts hora (MWh). Para a determinação do custo da energia consumida, deve-se verificar qual regime tarifário se enquadra melhor ao perfil do consumidor.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

A edificação estudada é um supermercado de 35m x 55m, 1.907,5m², com altura de 8m, localizada em Cuiabá-MT.

A ferramenta utilizada para a avaliação do estudo é o *Software EnergyPlus*, que realiza simulações de carga térmica, consumo de energia elétrica ativa, estimativa de demanda de potência ativa, enquadramento tarifário mais adequado e análise energética de edificações e seus sistemas.

3.2. MÉTODO

Para a construção do modelo, apresentado na Figura 01, foi utilizado o *Plug-in OpenStudio*, que permite a edição e visualização em maquete eletrônica no *SketchUp*.

A edificação possui paredes de bloco de concreto com aberturas de vidro apenas na fachada frontal para permitir o acesso aos clientes. O piso é composto de radier de 0,20m e mais uma cobertura do piso de 0,03m de granilite. Para a cobertura, são propostas três situações de composição dos materiais: telha de alumínio, telha de alumínio com manta térmica e telha sanduíche. Na Tabela 01, são apresentadas as características físicas dos materiais das coberturas.

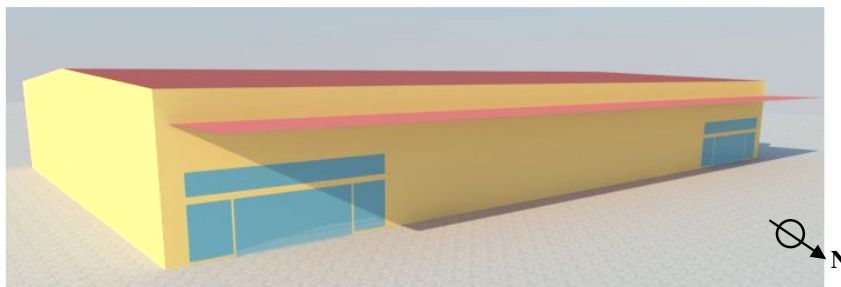


Figura 01 – Modelo construído no *SketchUp*

Tabela 01 – Características físicas dos materiais

Características inseridas	Chapa de Alumínio	Lâmina de Alumínio	Lã de Vidro	Poliestireno expandido
Rugosidade	Liso	Muito Liso	Rugoso	Rugoso
Espessura	0,002	0,0001	0,025	0,03
Condutividade W/m.K	230	230	0,05	0,04
Densidade Kg/m ³	2700	2700	50	16
Calor Específ. J/Kg.K	880	880	700	1420
Absorção térmica, solar e visível	0,12; 0,15 e 0,15	0,05; 0,05 e 0,05	0,9; 0,3 e 0,3	0,9; 0,2 e 0,2

Fonte: NBR 15.220 (2005)

A partir das características físicas inseridas no *software* são geradas as transmitâncias térmicas total dos tipos de composição de cobertura, apresentado na Tabela 02.

Tabela 02 – Transmitâncias térmicas geradas pelo *software*

Cobertura	Composição	Transmitância
Telha de Alumínio	Chapa de Alumínio	5,307 W/m ² .K
Telha com Manta	Chapa Alum. + Lâmina Alum. + Lã de vidro	1,453 W/m ² .K
Telha Sanduíche	Chapa Alum. + Poliestireno expan. + Chapa Alum.	2,281 W/m ² .K

Fonte: Próprio autor (2012)

Ainda com as características físicas de espessura, calor específico e densidade foi possível calcular as capacidades térmicas dos componentes segundo a metodologia proposta pela NBR-15.220 (2005), apresentando os valores na Tabela 03.

Tabela 03 – Capacidades térmicas calculadas manualmente

Cobertura	C _T parciais	C _T
Telha de Alumínio	4,752	4,75 KJ/m ² .K
Telha com Manta	4,752 + 0,2376 + 0,875	5,86 KJ/m ² .K
Telha Sanduíche	4,752. + 0,6816 + 4,752	10,18 KJ/m ² .K

Fonte: Próprio autor (2012)

O edifício foi simulado com a proposta de funcionamento das 07h às 22h. Desta forma, para estes horários são consideradas a existência de 1.500 pessoas transitando pelo interior e uma carga instalada de iluminação de 45KW. Já com funcionamento ininterrupto, é considerada uma carga instalada de 200KW referente aos equipamentos elétricos como refrigeradores, computadores, fornos elétricos, entre outros.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Temperaturas internas do ar

Para a avaliação da temperatura do ar interno, foram considerados dois dias: o mais quente e o mais frio, essas informações foram retiradas do banco de dados EPW/ Arquivo climático disponível no site www.labeee.ufsc.br, acessado em 17/09/2012, ficando assim definido os seguintes dias: 12/10 e 07/07. Em primeiro momento, verificaram-se as temperaturas na utilização dos três tipos de cobertura com o sistema de condicionamento de ar desligado. A partir

das 07h da manhã verifica-se que há um aumento da temperatura, que se refere ao início do funcionamento das cargas internas de iluminação e da existência de pessoas (Figura 02 e 03).

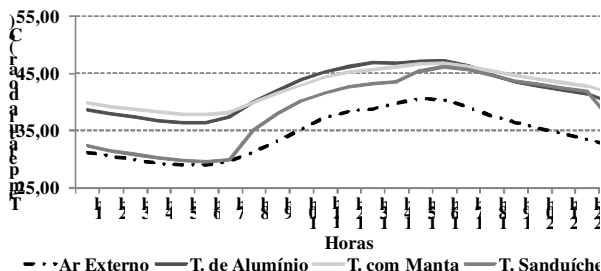


Figura 02 – Temperaturas com cond. do ar desligado, dia 12/10

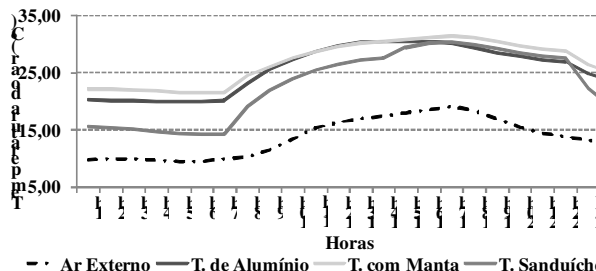


Figura 03 – Temperaturas com cond. do ar desligado, dia 07/07

Quanto aos tipos de cobertura, verifica-se que as temperaturas do sistema com telha sanduíche se manteve inferior às demais até às 16h, possivelmente, isso ocorre devido à capacidade térmica deste componente ser superior favorecendo a inércia térmica (Figura 02 e 03). Provavelmente, se não fosse considerada as cargas térmicas do funcionamento ininterrupto dos equipamentos elétricos, as temperatura internas do espaço com telha sanduíche poderiam ser inferiores que as temperaturas do ar externo.

Em segundo momento, verificaram-se as temperaturas com o sistema de condicionamento de ar ligado, com termostato regulado para 24°C de temperatura máxima. Agora, a partir das 07h da manhã verifica-se que há uma queda da temperatura, que se refere ao início do funcionamento do sistema de condicionamento do ar, anulando o aumento de temperatura proveniente ao início das cargas internas de iluminação e da existência de pessoas (Figura 04 e 05).

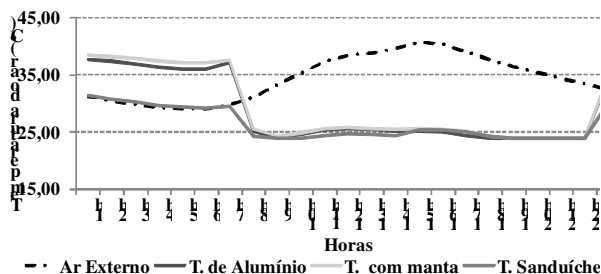


Figura 04 – Temperaturas com cond. do ar ligado, dia 12/10

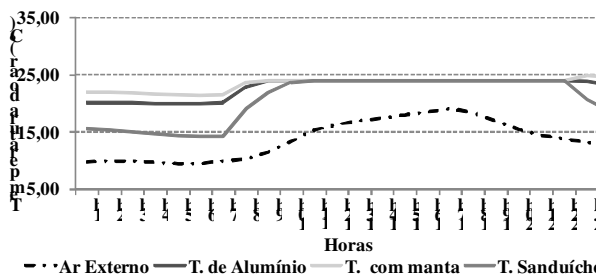


Figura 05 – Temperaturas com cond. do ar ligado, dia 07/07

Desta forma, a partir das 8h as temperaturas do ar interno se mantêm próxima aos 24°C, principalmente no dia frio, devido à existência de uma menor carga térmica para resfriamento. A partir das 22h, as temperaturas internas voltam a serem influenciadas pelas condições climáticas do ar externo a edificação (Figura 04 e 05).

4.2. Demanda e consumo energético

A demanda máxima necessária para proporcionar o funcionamento do supermercado se mantém superior a 500KW para os três tipos de cobertura. As cargas internas instaladas de iluminação e equipamentos refrigeradores, computadores, fornos elétricos, entre outros, correspondem a 245KW.

As demais cargas são alteradas de acordo com o uso do sistema de condicionamento de ar chegando a ser a máxima anual de 589KW para a cobertura com telha de alumínio e 557KW para cobertura com telha de alumínio com manta térmica ambas no mês de outubro (Figura 06).

Para a cobertura de telha sanduíche a demanda máxima anual chega a ser 551KW no mês de setembro. Verifica-se que as demandas mensais são menores para a cobertura sanduíche e há uma grande diferença em relação à cobertura de alumínio, isso ocorre porque os picos de carga térmica são menores.

Nos meses de junho, julho e agosto há uma queda de demanda, porque a carga necessária para o resfriamento do ar possui um menor pico.

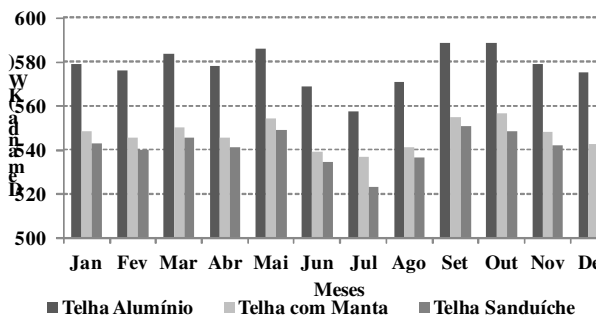


Figura 06 – Demandas mensais

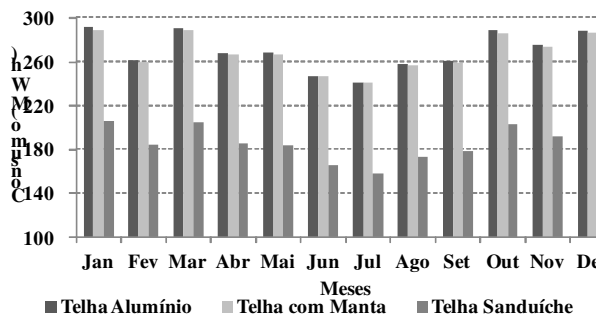


Figura 07 – Consumos mensais

O consumo energético médio anual se concentra em 270MWh para a situação com cobertura de telha de alumínio, muito próximo ao consumo de 269MWh da cobertura de telha de alumínio com manta térmica. Mas, a cobertura de telha sanduíche possui um consumo médio anual consideravelmente inferior de 186MWh, ou seja, 30% de redução em relação as duas situações anteriores (Figura 07).

Apesar da telha de alumínio com manta não ter apresentado demandas mensais tão próximas às demandas da cobertura apenas com telha de alumínio, o consumo se manteve próximo, pois o período de funcionamento das demandas altas foram maiores, caracterizando em um alto consumo energético.

4.3. Enquadramento Tarifário

Segundo a Resolução Homologatória Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 1270, de 03 de abril de 2012, para a concessionária CEMAT, considera-se quatro tipos de regime tarifário do governo. O regime de tarifa convencional A4 e B1 citados na Tabela 04 não podem ser considerados devido à legislação. Desta forma consideram-se os regimes de tarifa Horo-sazonal Azul, que considera, além consumo sazonal de ponta e fora de ponta, também a demanda de ponta e fora de ponta separadamente, a tarifa Horo-sazonal Verde, que considera uma tarifa única para as demandas de todos os meses e Tarifa Livre, que é contratada particularmente fora do sistema geral de tarifação, no caso foi considerado o valor de 150R\$/MWh.

Tabela 04 – Enquadramento tarifário para subgrupo A4

Regime Tarifário	Telha Alumínio Custo Anual R\$	Telha com Manta Custo Anual R\$	Telha Sanduíche Custo Anual R\$
HSV	1.820.856,86	1.819.999,62	1.489.963,54
HSA	1.701.257,61	1.679.698,99	1.359.433,23
Conv.A4* ¹	1.584.788,66	1.551.784,20	1.217.601,95
Conv.B1* ²	2.124.759,47	2.112.209,22	1.466.752,19
Livre	1.648.335,55	1.638.599,38	1.137.869,87

*¹ Não deve ser considerado, pois a tarifa Convencional A4 aplica-se para edificações com até 75KVa de demanda.

*² Não deve ser considerado, pois a tarifa Convencional B1 aplica-se apenas para subgrupo residencial.

No caso da edificação estudada a que obteve o menor custo anual foi a Tarifa Livre se configurando como o melhor enquadramento tarifário para o perfil de consumo de energia do edifício.

4.4. Relação custo x benefício

A relação de custo x benefício ocorre a partir da relação entre o custo anualizado de instalação do sistema (mão de obra + material) considerando a vida útil com o benefício, no caso se considera os custos anuais de energia evitados com o novo sistema. Para os custos evitados considerou-se a redução de demanda na ponta e a redução de energia. Para a avaliação do custo x benefício do estudo foram consideradas três situações:

- a) Adição de manta térmica em cobertura de telha de alumínio existente;
- b) Substituição de telha de alumínio instalada por telha sanduíche;
- c) Substituição de telha de alumínio instalada com manta por telha sanduíche;

Nas três situações apresentadas acima se atinge o custo x benefício a partir da eficiência energética, considerando uma vida útil subestimada de 15 anos. No primeiro caso, considerando a tarifa livre verifica-se uma economia de R\$ 9.736,17 na conta de energia, no segundo atinge-se uma economia de R\$ 510.465,68 e na última situação obtém-se R\$ 500.729,51.

Tabela 05 – Custo dos componentes da cobertura

Materiais	Custo por m ²	Custo para 1930m ²
Manta	10,00R\$/m ²	R\$ 19.300,00
Telha de Alumínio	24,00R\$/m ²	R\$ 46.320,00
Telha Sanduíche	73,00 R\$/m ²	R\$ 140.890,00

Os custos de instalações nas três situações são os mesmo alterando apenas os custos dos materiais apresentados na Tabela 05.

Para as situações 2 e 3 é possível já obter um retorno do capital investido logo no primeiro ano de instalação do novo sistema.

Ao avaliar os três tipos de cobertura a telha sanduíche apresenta a melhor economia energética chegando a ser de 31% em relação à telha de alumínio e de 30% em relação à telha de alumínio com manta térmica, considerando a tarifa livre.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As temperaturas internas sem o uso do ar condicionado foram menores até às 16h para o espaço com telha sanduiche, possivelmente isso ocorreu porque esta telha possui maior inércia térmica. A partir das 07h é perceptível um aumento da temperatura ocasionado pelo início do funcionamento das cargas térmicas de iluminação e pela concentração de pessoas.

Quanto à demanda e ao consumo, verifica-se que também foram inferiores para a cobertura de telha sanduiche. A telha de alumínio com manta não apresentou demandas mensais tão próximas às demandas da cobertura apenas com telha de alumínio, no entanto o consumo se aproximou entre os tipos de telhas, isso pode ter ocorrido porque o período de funcionamento das demandas altas foram maiores para a telha com manta, caracterizando em um alto consumo energético, apesar dos picos de carga térmica serem inferiores.

O melhor enquadramento tarifário apresentado para os três tipos de cobertura é a tarifa livre. Por isso, foi utilizada como base para a avaliação da menor economia, que no caso foi para o uso de telha sanduiche chegando a ser 30% mais econômica energeticamente que as outras.

6. AGRADECIMENTOS

À ELETROBRÁS e CAPES pelo apoio financeiro utilizados na pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR - 15220/ 2005 - **Desempenho Térmico de Edificações**. 2005, Rio de Janeiro/ RJ.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMERCIO EXTERIOR - MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais**, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMERCIO EXTERIOR - MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e diretrizes básicas**. Rio de Janeiro, 2011.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243p.

OLIVEIRA, L. F. C. **Potencial de redução do consumo de energia elétrica pela utilização de aquecedores solares no estado de Goiás**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.3, p.406-416, jul./set, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n3/a02v28n3.pdf>>. Acesso em: nov. 2012.

Identificação dos Autores:



Laís Braga Caneppele

Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Mato Grosso/ UFMT;
Mestranda pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental/ PPGEEA/ UFMT, Linha de Pesquisa: Conforto Ambiental e Eficiência Energética, E-mail: laiscaneppele@gmail.com



Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso/ UFMT;
Professor Efetiva do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/ UFMT;
Professora do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental/ PPGFA/ UFMT, Linha de Pesquisa: Análise Microclimáticas em Sistemas Urbanos, E-mail: mcjanp@gmail.com



Arnulfo Barroso de Vasconcellos

Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso/ UFMT;
Professor Efetivo do Departamento de Engenharia Elétrica/ UFMT;
Professor do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental/ PPGEEA/ UFMT, Linha de Pesquisa: Conforto Ambiental e Eficiência Energética, E-mail: arnulfo@cpd.ufmt.br