

TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM TELHADOS DE DIFERENTES MATERIAIS: CARGA TÉRMICA E CUSTO DO QUILOWATT/HORA PARA CLIMATIZAÇÃO

TRANSFER OF HEAT IN ROOFS OF DIFFERENT MATERIALS: THERMAL LOAD AND COST OF KILOWATT / TIME FOR CLIMATIZATION

Diego Carrafa dos Santos¹
Guilherme Henrique Menenguci Dias¹
Henrique Santos Silva Nascimento¹
Juraci de Sousa Araujo Filho¹
Antonio Carlos Barbosa Zancanella¹
Rômulo Maziero²
Eliane Correia Nascimento Souza¹
Bruno Dorneles de Castro²

RESUMO

O maior ganho térmico em edifícios térreos ocorre principalmente por meio da cobertura, por ser a superfície mais exposta à radiação solar. No intuito de estabelecer alternativas às variáveis resultantes desse ganho térmico, foi demonstrado neste estudo como acontece essa transmissão de calor envolvendo edificações, especificamente os telhados. Inicialmente, foi apresentado uma revisão sobre a transferência de calor e os mecanismos envolvidos; sendo os processos de condução, convecção e radiação. Em seguida, os tipos e materiais utilizados em cobertura de edifícios, a carga térmica e o custo necessário caso seja necessária uma climatização do local coberto analisado. Encontram-se, também, os cálculos realizados para carga térmica e o custo do quilowatt-hora (kWh). As atividades compreenderam estudo bibliográfico, avaliação teórica e experimental de transferência de calor. Como resultado, obteve-se a laje de concreto como a cobertura de maior fator de proteção para o ambiente investigado.

PALAVRAS-CHAVE: transferência de calor; telhado; carga térmica; energia.

ABSTRACT

The biggest heat gain in earthen buildings occurs mainly through its coverage, for being the surface most exposed solar radiation. In order to establish alternatives to the outcome variables of this heat gain was made a study indicating as it happens that heat transfer involving buildings, specifically the rooftops. Initially it appears as heat transfer occurs and that its mechanisms, showing like processes conduction, convection and radiation occurs. Next the types and materials

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, IFES.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG.

used for covering buildings, the thermal load and cost required to if required cooling the covered area. Thermal load and cost of kilowatt-hour (kWh) were evaluated. Activities include bibliographical studies, theoretical and experimental evaluations of this heat transfer. As a result it was obtained that the concrete slab presented the coverage of greater protection factor for the analyzed environment.

Keywords: transfer heat; roof; thermal load; energy.

1 INTRODUÇÃO

Em um estudo da transferência de calor para coberturas de edificações, devem ser definidos dois conceitos importantes: a temperatura e o calor. A temperatura está relacionada à quantidade de energia térmica ou calor em um sistema. Na medida que um sistema acumula calor, a temperatura aumenta. Ao contrário, uma perda de calor provoca uma diminuição da temperatura do sistema. O calor (ou fluxo de calor) é definido como a taxa de energia térmica transferida por unidade de tempo devido a uma diferença de temperatura (INCROPERA; DEWITT, 2003).

A maior parte dos materiais da construção civil não é de origem metálica (ex., concreto, tijolo, entre outros). Assim, eles absorvem grande parte da radiação solar, aquecem e transferem o calor para o interior da edificação (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

O aumento da temperatura interna é constatado principalmente nas residências que possuem telhas aparentes, ou seja, quando a mesma não possui forro (ou laje) para separar o espaço do teto do restante da edificação. Sabe-se que com o uso de telhas metálicas e de vidro o desconforto térmico é maior do que nas telhas de fibrocimento e de barro, uma vez que nessa última uma parte da energia que incide na superfície das telhas é gasta no processo de evaporação da água, absorvida durante a noite pelas telhas em função da condensação do vapor de água existente no ar. Dessa forma, o fluxo de calor que atinge o interior da residência é menor quando comparada com telhas cerâmicas esmaltadas (MICHELS, 2007).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi descrever os mecanismos de transferência de calor por meio de elementos que compõem os telhados. Esses mecanismos definem o desempenho térmico da edificação e as consequências no consumo de energia e conforto térmico. É apresentado também um estudo

de carga térmica que demonstra como pode ser feita a climatização de uma estrutura com alto nível de calor. Por fim, é realizado um cálculo da energia gasta para essa climatização, de acordo com a quantidade de quilowatt-hora (kWh) consumido durante o processo.

2 REVISÃO

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Nas residências térreas a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, o qual absorve grande parte dessa energia e a transfere para o interior das edificações, elevando os ganhos térmicos e, conseqüentemente, aumentando a temperatura interna (MICHELS, 2007). A transmissão de calor pode acontecer por meio de diferentes mecanismos, esses são (ECOTELHADO, 2018):

i. Condução térmica: através de materiais que conduzem calor. Há materiais que oferecem maior condutividade, como metais e outros com menor condutividade, algumas cerâmicas, isopor e fibra de vidro;

ii. Convecção térmica: através de materiais e fluidos que levam calor à medida que se movimentam. A convecção pode ser natural (ar quente tende a subir, ar frio a descer) ou forçada (mediante ventiladores e gasto de energia);

iii. Irradiação: é a propagação da energia (calor) sem que haja a necessidade de um meio material para que isso aconteça. Transporte de calor por radiação eletromagnética.

A radiação solar é composta por radiação infravermelha de onda curta, que ao incidir sobre a superfície das telhas as aquece. Uma parcela desse calor é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo, e a outra parcela, absorvida pelas telhas, é transmitida ao espaço correspondente ao ático. No interior do ático, o calor é transferido das telhas até a superfície do forro por convecção e radiação. O forro absorve parte desse calor e o transmite para o espaço interno da residência, conforme representado na Figura 1 (MICHELS, 2007).

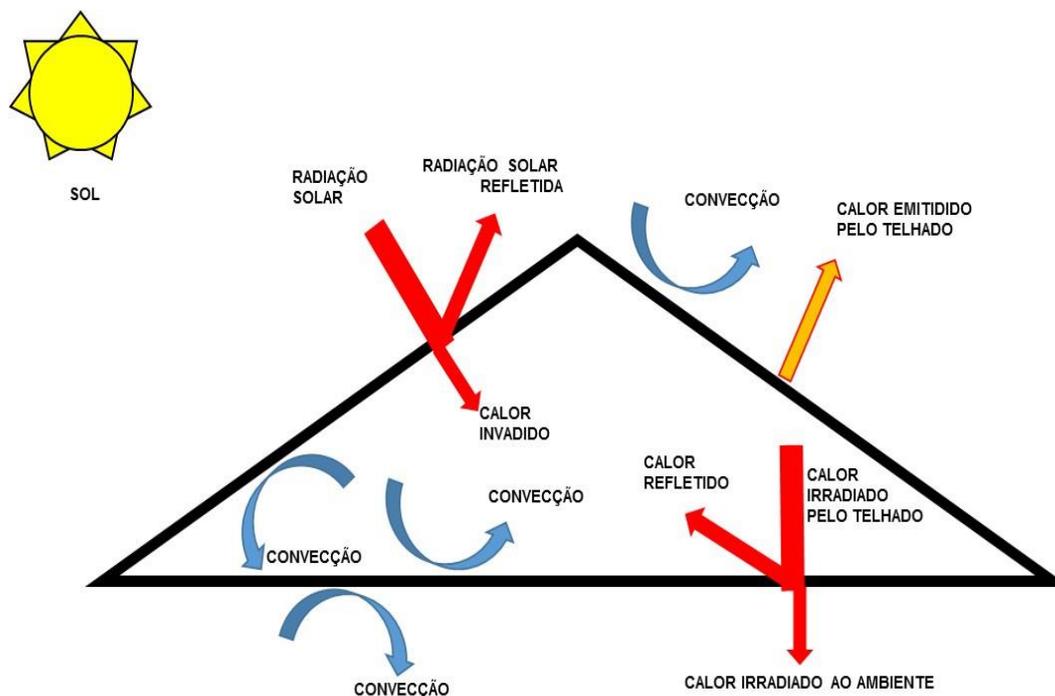


Figura 1 - Esquema das trocas de calor em um telhado.

Fonte: adaptado de MICHELS, 2007.

2.2 TIPOS DE COBERTURAS E MATERIAIS

2.2.1 Telha de barro cerâmico

A telha de barro cerâmico, uma das mais antigas e acessíveis opções de telha disponíveis, ainda é uma opção muito popular, adequando-se muito bem ao clima tropical e oferecendo uma ótima relação de custo/benefício (CERÂMICA PARANAPOEMA, 2018). É oferecida em uma variedade de formas, que diversificam quanto ao tipo de encaixe, rendimento por metro quadrado, inclinação, proporcionando assim uma considerável abundância de alternativas arquitetônicas possíveis com o uso do material. As telhas de barro cerâmico possuem algumas características comuns entre os diferentes tipos, como isolamento térmico, isolamento acústico, difusão do vapor, variação de volume e resistência ao fogo (BEZERRA JÚNIOR, 2017). As características como peso, dimensões, resistência, entre outras, variam de um tipo de telha cerâmica para outra (SILVA, BOSSOLAN, 2018).

2.2.2 Telha de fibrocimento

As telhas de fibrocimento são resistentes e leves, por isso precisam de um

engradamento de telhado mais simples. Devem ser bem fixadas nas terças para que não tenha problemas com chuvas e ventos (GUIA DO CONSTRUTOR, 2018). As principais vantagens são: alta impermeabilidade; maior resistência; conforto térmico; resistência à maresia e granizo (JORNAL DIÁRIO, 2017).

Os tamanhos encontrados no mercado são próximos a 1,22 por 2,44m (comprimento x largura), dependendo do fabricante (GUIA DO CONSTRUTOR, 2018). Apresentam o melhor custo/benefício do mercado.

2.2.3 Telha de vidro

Podem proporcionar a entrada de luz no ambiente, contribuindo para clarear o local e conferir maior aquecimento, economizando energia (DISTEL, 2018). As principais características são: não sofrem o efeito da corrosão; são leves e de fácil manuseio; são resistentes e duráveis; proporcionam economia no consumo de energia elétrica; requerem baixa manutenção durante a vida útil (VTN, 2018). São utilizadas, também, para coletar a energia do sol. Com um telhado de telhas de vidro transparente, o ar coletado, que é aquecido sob as telhas, tal qual uma estufa, é levado e mantido concentrado, transferindo o calor para um fluido quente, que é usado no sistema de aquecimento da casa (DISTEL, 2018).

2.2.4 Telha metálica galvanizada

São telhas de aço que passam pelo processo de galvanização ou zincagem para proteger o aço da telha da corrosão atmosférica (GUIA DO CONSTRUTOR, 2018). As telhas de aço também possuem a vantagem de não serem afetadas pela ação do tempo (SILVA, BOSSOLAN, 2018). Costumam ser as escolhidas quando a intenção é cobrir grandes vãos, já que apenas uma telha chega a ter quatro metros de comprimento. Para construir a cobertura de um galpão as telhas metálicas estão entre as mais indicadas. Em muitos casos, não possibilitam conforto térmico (GUIA DO CONSTRUTOR, 2018).

2.3 CARGA TÉRMICA

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas ou manter as condições ambientes adequadas

para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação (MACHADO, 2009; FRANKEN, 2015).

Para fins de cálculo de carga, uma estrutura pode ser considerada como sendo organizada de forma hierárquica: constituída por zonas térmicas, essas são compostas por salas e salas são feitas de paredes, tetos, pisos e outros elementos de ganho de calor, como as pessoas, iluminação, equipamentos e infiltração (LOPES, 2013).

Normalmente, quando se utiliza cálculos de transmissão de calor através de superfícies sólidas, como paredes, janelas e telhados, para determinar a carga térmica de condicionamento de ar necessita-se no equacionamento determinar o valor do Coeficiente Global de Transmissão de Calor (U) dessas superfícies, o que muitas vezes requer um tempo adicional para pesquisa de materiais e cálculo desses coeficientes. Dessa forma, a Tabela 1 é uma recomendação de valores que podem ser utilizados para alguns materiais de construção utilizados no Brasil (GERNER, 2012).

Tabela 1 - Coeficiente global de transmissão de calor.

Superfície	Kcal/h.m². °C	W/m².K
Paredes de Alvenaria		
Bloco de concreto extrudado; espessura (e) = 5,0 cm	4,63	5,39
Portas		
Porta de aço – Folha única; e = 3,0 mm	5,72	5,65
Janelas		
Vidro simples; e = 3,0 mm	5,58	6,49
Laje		
Laje de concreto – Sem isolamento térmico; e = 10,0 cm	2,77	3,23
Telhado		
Telha de chapa galvanizada; e = 2,3 mm	5,72	6,65
Telha de fibrocimento; e = 7,0 mm	5,13	5,97
Telha de barro cerâmico; e = 2,5 cm	5,13	5,96

Fonte: adaptado de GERNER, 2012.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa se enquadra em bibliográfica e experimental. O período de estudo compreendeu o ano de 2015. Para efeito de cálculo, foi considerado um escritório de dimensões de 8m de comprimento, 6m de largura e 3m de pé direito; duas janelas de vidro com 1,5 por 1,2m; porta de aço 2,1 por 1,6m; seis lâmpadas fluorescentes de 60W; dois trabalhadores em atividade. O objetivo foi manter a temperatura interna de 20°C. Este trabalho abordou apenas os ganhos de calor oriundos do teto, considerando os seguintes tipos de superfície: laje; telha de chapa galvanizada; telha de fibrocimento e telha de barro cerâmico.

Para isso, necessita-se conhecer o coeficiente global de transmissão de calor de cada material e a temperatura externa do ambiente. O local da estrutura está implantado no município de São Mateus, situado ao Norte do estado do Espírito Santo. Possui as seguintes coordenadas: latitude: 18,676° S; longitude: 39,864° W e altura em relação ao nível do mar de 39m. A Figura 2 apresenta a série histórica de temperatura mensal da estação meteorológica localizada no município de São Mateus, Espírito Santo. A Figura 3 mostra o mapa de temperatura máxima para o estado no período de 1961 a 2013.

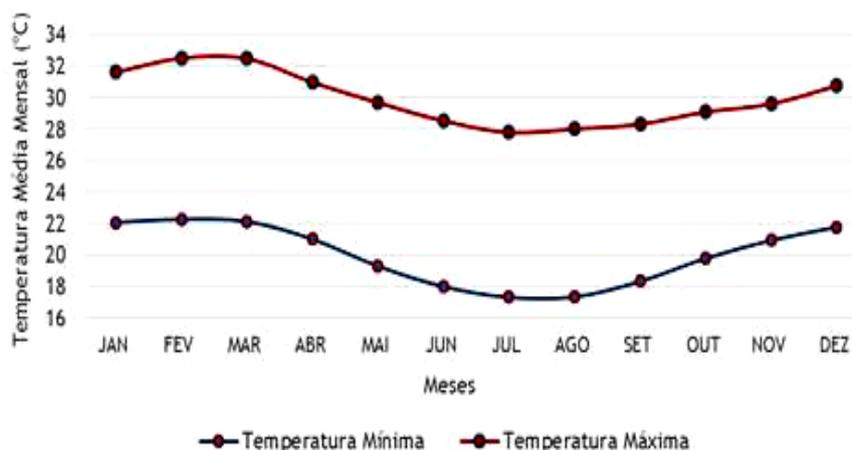


Figura 2 - Média mensal da temperatura máxima e mínima: período 1984-2014.

Fonte: INCAPER (2018a).

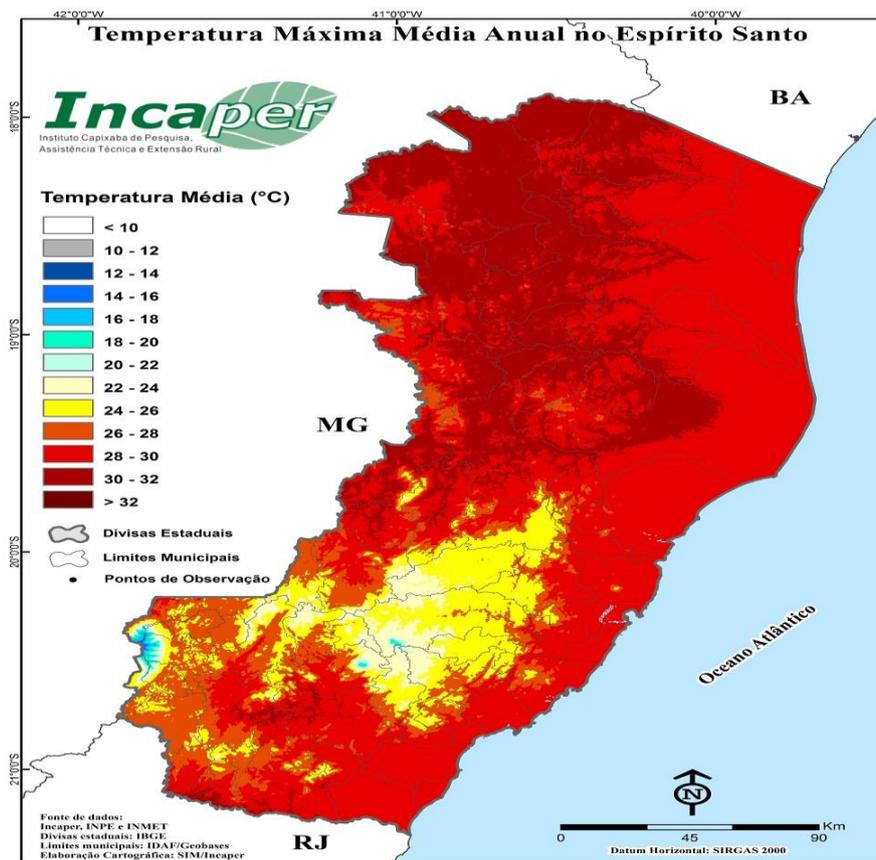


Figura 3 - Média anual de temperatura máxima: período 1961-2013.

Fonte: INCAPER (2018b).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na escolha do melhor telhado para a realização deste trabalho, foi escolhido o que ocasionou menor carga térmica para o ambiente analisado, conseqüentemente, exigindo menos do ar condicionado.

O cálculo da carga térmica por insolação utilizado pode ser expresso pela Equação 1 (REIS JÚNIOR, 2017).

$$Q = A \times U \times \Delta T$$

(1)

Onde Q é a carga devida à insolação [W]; A é a área de exposição [m²]; U é o coeficiente global de transmissão de calor [W/m²°C] e ΔT é o diferencial de temperatura [°C].

Os valores obtidos para a carga térmica de cada mês, para cada tipo de cobertura, estão representados na Figura 4. Tomando como base a média das cargas térmicas calculada anteriormente, tem-se a Tabela 2, por meio da qual

percebe-se que a laje de concreto é a cobertura que apresentou menor transferência de calor para o ambiente.

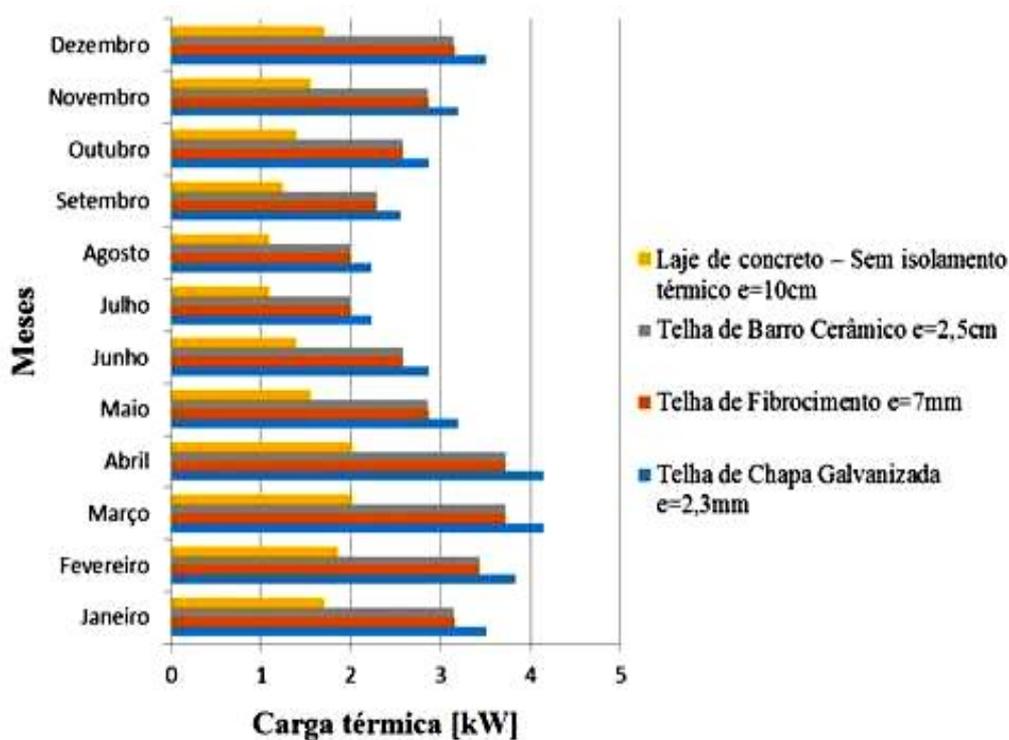


Figura 4 - Carga térmica de cada mês para cada tipo de cobertura.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Cargas térmicas por tipo de cobertura.

Telhado	Carga térmica Q (kW)
Laje de concreto – Sem isolamento térmico; $e = 10,0\text{ cm}$	1,55
Telha de chapa galvanizada; $e = 2,3\text{ mm}$	3,19
Telha de fibrocimento; $e = 7,0\text{ mm}$	2,87
Telha de barro cerâmico; $e = 2,5\text{ cm}$	2,86

Fonte: Elaborado pelo autor.

A realização do controle da carga térmica consiste em determinar a quantidade de calor que deverá ser retirada ou acrescida em um ambiente, dando-lhe condições climáticas necessárias e ideais para o que se desejam realizar ou promover (MACHADO, 2009). Esse cálculo normalmente é feito segundo a norma NBR 16401-2 (2008), que consta de forma simplificada e apresenta constantes já definidas para valores a serem considerados, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Carga térmica específica.

Corpo analisado	Kcal/h
Pessoas	
Metabolismo homem adulto em escritório	120
Equipamentos	
Computador	51
Cafeteira	150
Frigobar	60
Impressora	17
Bebedouro	56

Fonte: NBR 16401-2, 2008.

Com os cálculos realizados e usando critérios de conversão, de acordo com a NBR 16401-2 (2008), obteve-se a carga térmica necessária que precisa ser retirada do ambiente. Os valores de carga térmica com base na norma citada estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Somatório de todas as formas de calor presentes no ambiente.

Formas de calor	Kcal/h
Laje de concreto	1332,19
Paredes	3893,17
Janelas	345,49
Portas	140,39
Lâmpadas	309,54
Pessoas	240,00
Equipamentos	334,15
Total	6594,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelas considerações realizadas neste trabalho, o total de calor foi de 6594,93 Kcal/h neste ambiente. Sendo feita uma conversão para Btu/h, tem-se então 26170,91 Btu/h. Como não existe no comércio aparelho com exatamente essa capacidade, deve-se usar o de capacidade imediatamente superior ou colocar dois aparelhos cuja soma das capacidades seja igual ao resultado final.

Para efeito de exemplificação, com base na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a tarifa em kWh da Espírito Santo Centrais Elétricas S/A (ESCELSA), para 26 de julho de 2015, foi de R\$ 0,36 kWh. Considerando o aparelho ar condicionado Split 27000 Btu quente/frio - Inverter - FUJITSU - 220v - ASBA30LFC, com consumo (kWh) de 51,2 (dados do fabricante), funcionando dez horas por dia, durante um mês, o custo desse aparelho seria de R\$ 187,70 reais por mês.

5 CONCLUSÕES

A laje de concreto foi a cobertura que mais protegeu o ambiente analisado, conforme cálculo da carga térmica para o período estimado. Considerando apenas o mecanismo de condução no teto e alguns poucos elementos presentes no ambiente, obteve-se um consumo quilowatt-hora econômico. Este tipo de estudo é importante, pois define o desempenho térmico do ambiente e as repercussões no consumo energético e conforto térmico, auxiliando na escolha de aparelhos de ar condicionado visando a máxima eficiência.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-2:** Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, 2008, 7 p.

BEZERRA JÚNIOR, F. R. **Habitação social evolutiva:** Estratégias de flexibilidade para elaboração de projetos de habitação de interesse social. Uma proposta para Mãe Luiz/Natal-RN. 225 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

ERÂMICA PARANAPOEMA. **Telha cerâmica.** 2018. Disponível em: <<http://www.ceramicaparanapoema.com.br/produto/Telha+cer%C3%A2mica/12>>. Acesso em: 29 maio 2018.

ISTEL. **Tipos de telhas existentes e suas características.** 2018. Disponível em: <<https://www.disteltelhas.com.br/telhas-duvidas/tipos-de-telhas-existent-s-e-suas-caracteristicas/>>. Acesso em: 29 maio 2018.

COTELHADO. **Vamos falar sobre telhados.** 2018. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/vamos-falar-sobre-telhados/>>. Acesso em: 29 maio 2018.

RANKEN, T. A. **Análise situacional e proposta de um novo sistema de climatização**. 44 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, 2015.

ERNER, V. R. **Coeficiente Global de Transmissão de Calor (U): Materiais de construção utilizados no Brasil**. São Paulo. 2012.

UIA DO CONSTRUTOR. **Tudo que você precisa saber sobre telhas**. 2018. Disponível em: <<http://www.guiadoconstrutor.com.br/blog/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-telhas>>. Acesso em: 29 maio 2018.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. INCAPER. **Gráficos da Série Histórica - São Mateus/ES**. 2018a. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-sao_mateus>. Acesso em: 29 maio 2018.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. INCAPER. **Média anual de temperatura máxima (1961 a 2013)**. 2018b. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/mapas-de-temperatura-normal-climatologica>>. Acesso em: 13 mar 2019.

NCROPERA, F.; DEWITT, D. **Transferência de Calor e Massa**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

ORNAL DIÁRIO. **Tipos de cobertura: Há diversas opções para cada tipo de construção**. 2017. Disponível em: <<https://diariosbo.com.br/noticia/10144/Arquitetura-e-Design/Tipos-de-cobertura>>. Acesso em: 29 maio 2018.

OPES, C. F. M. **Análise comparativa de carga térmica entre dois métodos de cálculo para um auditório**. 53 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

MACHADO, H. A. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro, 2009. (apostila).

ICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

EIS JÚNIOR, A. M. **Projeto de climatização e avaliação da eficiência energética de um escritório comercial**. 83 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

ILVA, D.; BOSSOLAN, H. **Cobertura - AU501: Física Aplicada à Arquitetura**. 2018. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/fisicaaplicadaarquitetura/cobertura>>. Acesso em: 29 maio 2018.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: Encontro

Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba, Paraná. **Anais...**
Curitiba: ENCAC, p. 1277-1284. 2003.

VTN. **Dicas sobre telha de vidro para sua obra.** 2018. Disponível em:
<<http://www.vtn.com.br/vidros/telhas-de-vidro/>>. Acesso em: 29 maio 2018.