SINTETIZAÇÃO DE ARQUIVOS TRY A PARTIR DE PADRÕES CLIMÁTICOS CONHECIDOS DE CIDADES PRÓXIMAS[1]

PASSOS, A., Universidade Federal do Ceará, email: aderson.passos@gmail.com; RAVIOLO, B., Universidade Federal do Ceará, email: bruno.raviolo@gmail.com; CATUNDA, N., Eidgenössische Technische Hochschule, email: n.catunda@gmail.com; CASTRO, N., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, email: nayanahelena@gmail.com; CORDEIRO, K., Universidade Federal do Ceará, email: karolinecordeiro.arquiteta@gmail.com; CARDOSO, D., Universidade Federal do Ceará, email: danielcardoso@ufc.br

ABSTRACT

To avoid unexpected behavior or failure during use, building simulation tools require complete and consistent weather data. However, such data are not always available for the locations where buildings are simulated, and the use of neighboring cities data becomes common. There is, though, a number of uncertainties involved in the behavior of environmental variables when the climate of large urban centers is attributed to nearby localities with different characteristics. The present paper aims to present the process of preparing a weather file for the Pecém Industrial and Port Complex, at 50 km from Fortaleza, Ceará, in order to be used in simulations during the design process of buildings. The synthesis of the file was achieved through the collection and treatment of information measured in loco, the application of recommended models for the estimation of missing data, and the development of an alternative method yet to be validated for the estimation of a Test Reference Year of localities without weather data of several different years.

***Keywords**: Weather file. Thermo-energetic simulation. Thermal comfort. Passive, low energy architecture. Energy efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Simulações para eficiência energética

Ferramentas computacionais são utilizadas para auxiliar projetistas a tomarem decisões mais assertivas, a fim de adaptar a arquitetura ao clima (FERREIRA; BUORO, 2015). Para evitar falhas durante seu uso, ferramentas para simulação computacional de edificações requerem dados climáticos completos, o que incute na aplicação de técnicas para a correção de dados ausentes (BARNABY; CRAWLEY, 2011).

Este trabalho busca atender à necessidade de um arquivo climático em uma pesquisa que envolve o projeto de uma edificação experimental, energeticamente eficiente, localizada no distrito do Pecém, no Ceará.

1.2 Ausência de arquivos climáticos do local

Não há arquivo climático disponível para esta região na base de dados dos programas INMET ou SWERA. De fato, o arquivo climático disponível mais

[1] PASSOS, A., RAVIOLO, B., CATUNDA, N., CASTRO, N., CORDEIRO, K., CARDOSO, D. Sintetização de arquivos TRY a partir de padrões climáticos conhecidos de cidades próximas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

próximo é o da capital, Fortaleza. Apesar da proximidade, há uma série de incertezas sobre o comportamento das variáveis ambientais ao se comparar a quinta maior cidade do país com uma área com cobertura vegetal maciça ainda a ser ocupada por indústrias.

Ainda, dados horários registrando condições climáticas para criação de arquivos climáticos costumam ser escassos e de baixa qualidade. Há poucas estações automáticas no território brasileiro que fornecem dados horários necessários para completar um arquivo climático (LabEEE, 2005).

1.3 Hipótese/objetivo

O presente artigo apresenta o processo de elaboração de um arquivo climático para o distrito do Pecém, a partir da coleta e tratamento de informações medidas in loco, da aplicação de modelos para a estimativa de dados em falta, e de um método alternativo para a estimativa de um Ano Climático Referência de localidades sem dados de vários anos.

2 METODOLOGIA

A elaboração do arquivo climático do Pecém foi realizada com base em dados coletados por estações locais de empresas de logística do complexo portuário, referentes a apenas um ano de medições. Como parte do necessário para a compilação de um arquivo climático não constava nesses dados, foram utilizados modelos conhecidos para estimar as informações em falta, de acordo com recomendações feitas pelo LabEEE (2005). Os métodos testados foram o modelo de Kasten (THEVENARD; BRUNGER, 2001) com seus coeficientes adaptados para cidades brasileiras (LabEEE, 2005), e o de Pitta (2001). Ambos para o cálculo de radiação solar.

As tabelas fornecidas pelo LabEEE (2005) de coeficientes utilizados para os cálculos dos dois modelos aplicados não possuíam valores específicos para o distrito do Pecém. Os coeficientes foram, portanto, avaliados segundo a proximidade das suas respectivas cidades até o local de interesse desta pesquisa e mediante a validez e semelhança dos resultados calculados com valores conhecidos da capital vizinha.

Além dos modelos recomendados, foi também utilizado um método desenvolvido nesta pesquisa para a estimativa do Ano Climático Referência[2] (TRY, *Test Reference Year*), em casos onde as únicas informações disponíveis são os dados climáticos referentes a um ano específico do local analisado, dados do mesmo ano de uma cidade próxima que tenha um arquivo TRY disponível e o próprio arquivo TRY dessa cidade vizinha.

2.1 Coleta de dados

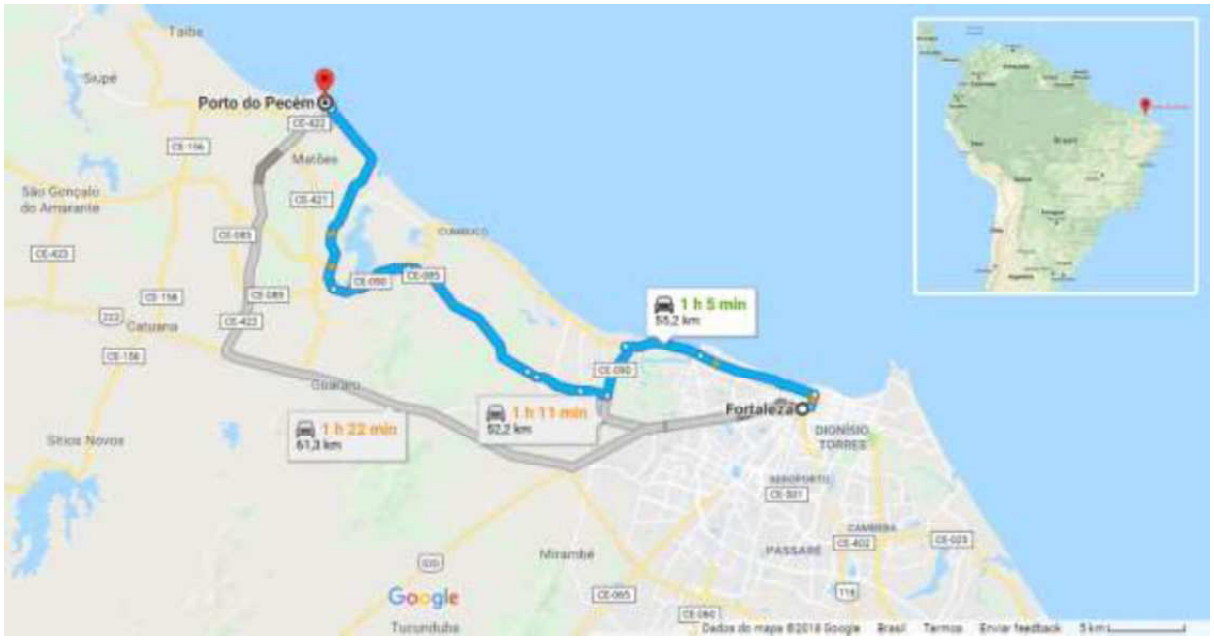
Foi aproveitado um relatório climático do Pecém referente a dados de 2012,

[2] Um arquivo climático TRY é formado com a análise de dados de vários anos. Através da eliminação dos anos de maiores e menores temperaturas médias mensais, o ano de dados médios restante é obtido como Ano Climático Referência (GOULART et al, 1997).

constando as informações de temperatura, umidade, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento - todas medidas em intervalos de 3 minutos. Uma média horária foi feita para cada uma dessas variáveis. Permanecia ainda, entretanto, a falta das informações a serem estimadas: nebulosidade e as radiações global horizontal, direta normal e difusa horizontal.

Os dados foram coletados de instrumentos instalados a uma altura de 15 metros acima do nível do mar no Pier 2 do Porto do Pecém (Figura 1).

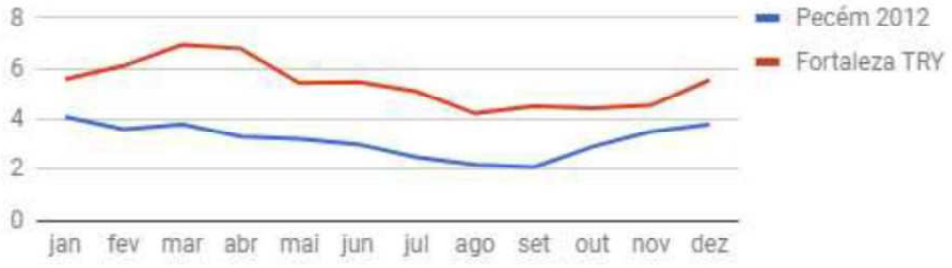
Figura 1 – Localização dos instrumentos de medição



Fonte: Google Maps

Dada a proximidade e a disponibilidade de um Ano Climático Referência de Fortaleza, os valores horários de nebulosidade do Pecém foram estimados a partir de suas médias mensais de 2012, obtidas do site *World Weather Online*, e ajustados de acordo com os valores horários retirados do arquivo climático TRY de Fortaleza (Figura 2).

Figura 2 – Curvas anuais de nebulosidade (décimos)



Fonte: os autores

2.2 Sintetização dos dados

2.2.1 Estimativa de valores de radiação

Foram experimentados os métodos de Kasten e de Pitta para estimar a radiação solar. De acordo com o LabEEE (2005), esses métodos foram desenvolvidos para cidades brasileiras específicas a partir de estudos feitos originalmente com base em cidades européias. Em nenhum caso a localidade de interesse para este trabalho foi contemplada. Assim, foram escolhidos coeficientes referentes a localidades mais próximas, e os resultados foram comparados com níveis possíveis de radiação para aquela região e com os valores conhecidos de Fortaleza.

2.2.2 Estimativa do Ano Climático Referência

Dada a proximidade entre as duas localidades, estimou-se um Ano Climático Referência para o distrito do Pecém com base na cidade de Fortaleza, pela Equação 1, a seguir:

$$P_TRY = P_2012 + F_TRY - F_2012 \quad (1)$$

Onde:

- P_TRY é a média mensal de cada dado do Ano Climático Referência estimado para o distrito do Pecém;
- P_2012 é a média mensal de cada dado climático do Pecém no ano de 2012, medidos ou calculados pelos métodos recomendados;
- F_2012 é a média mensal de cada dado climático de Fortaleza no ano de 2012, obtidos do site *World Weather Online*;
- F_TRY é a média mensal de cada dado do Ano Climático Referência de Fortaleza, criado pelo projeto SWERA.

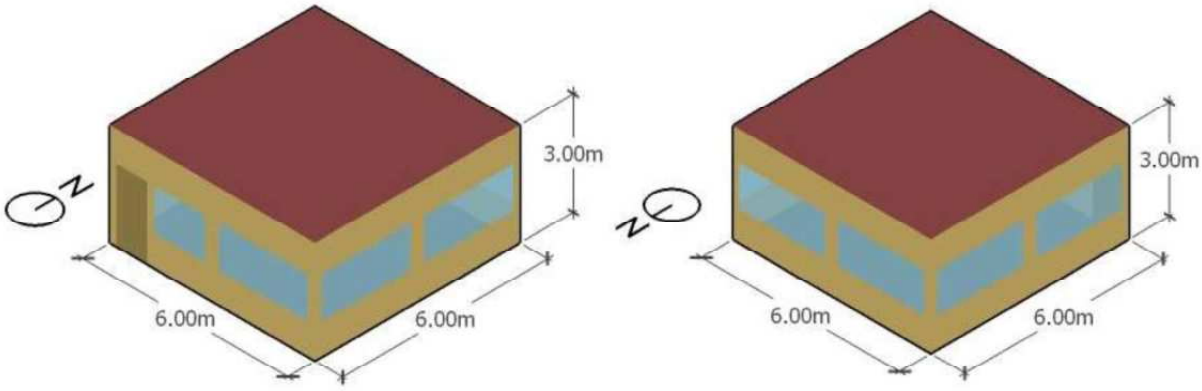
Após a obtenção das médias mensais do Ano Climático Referência do Pecém, foram estimados os valores horários com base no arquivo climático preliminar do ano de 2012.

2.3 Testes

Para a comparação dos arquivos climáticos gerados, foram realizados testes no *software Euclid*, *plug-in* do *Sketchup*, que funciona com o motor validado do *EnergyPlus* em sua versão 8.7.0.

O teste consistiu em um exemplo simples de edificação, como mostra a Figura 3, com os materiais e rotinas padrões da ferramenta.

Figura 3 – Edifício modelado para as simulações termoenergéticas



Fonte: os autores

As simulações foram feitas para os casos: 1) com o arquivo do Ano Climático Referência estimado do Pecém; 2) com o arquivo climático do ano de 2012 do Pecém; e 3) com o arquivo do Ano Climático Referência de Fortaleza. Foram comparadas as médias das temperaturas das superfícies internas e externas, e a temperatura média radiante. As comparações foram feitas de acordo com as médias mensais e apresentam-se na Seção 3.2 deste artigo.

3 RESULTADOS

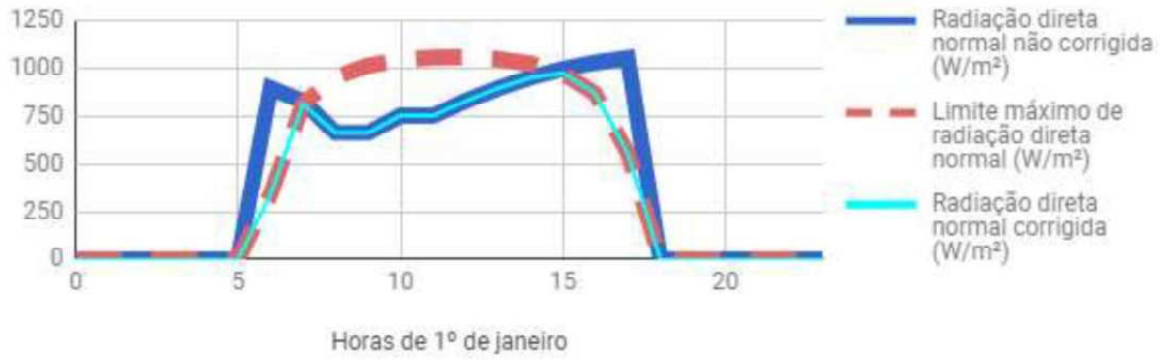
3.1 Seleção do método de estimativa

Segundo o relatório do LabEEE (2005), a aplicação do método de Kasten apresentou maiores distorções em relação a dados de medições. Na aplicação do método para a elaboração do arquivo climático do Pecém, no entanto, as estimativas não puderam ser comparadas com nenhum valor medido no local, porém apresentaram, de fato, inconsistências que foram possíveis de ser detectadas no cálculo do coeficiente de transmissão direta da radiação global horizontal.

De acordo com as equações de Liu (1960) para a determinação das frações direta e difusa da radiação estimada para o Pecém no ano de 2012 pelo método de Kasten, em média, 27,92% da radiação extraterrestre chega de forma difusa na superfície horizontal terrestre. No entanto, os cálculos desse método estimaram que o total de radiação global (direta e difusa) é o equivalente a 25,12% da radiação extraterrestre, valor inferior ao que foi calculado apenas para a parcela difusa, o que gera valores negativos para a radiação direta horizontal.

Desta forma, o método adaptado de Pitta (LabEEE, 2005) acabou sendo aplicado por não ter incorrido em nenhuma inconsistência matemática, apresentando falhas, já previstas, apenas em valores superiores ao limite máximo de radiação direta normal, calculado de acordo com ASHRAE (2001), corrigidos como mostra o exemplo da Figura 4.

Figura 4 – Correção para nível máximo de radiação direta normal no Pecém

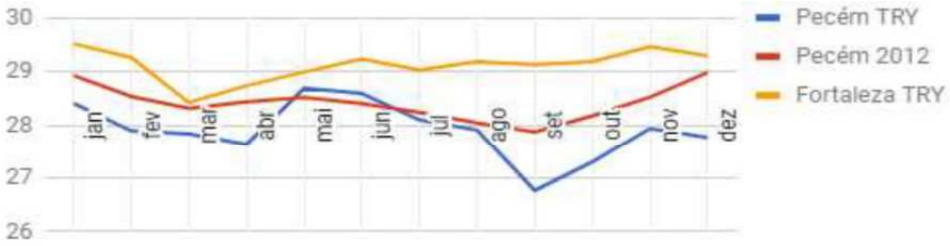


Fonte: os autores

3.2 Simulações termoenergéticas

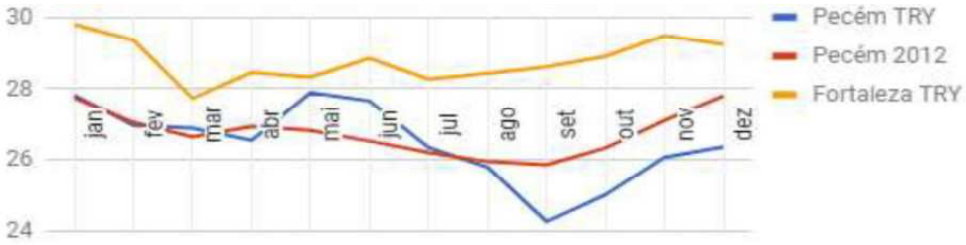
Os três resultados das simulações (Figuras 5, 6 e 7) apresentaram pequenas diferenças para a maioria dos meses, com exceção de setembro e outubro, onde o afastamento entre as curvas chega a mais de 2 °C.

Figura 5 – Médias de temperatura das superfícies internas (médias mensais) (°C)



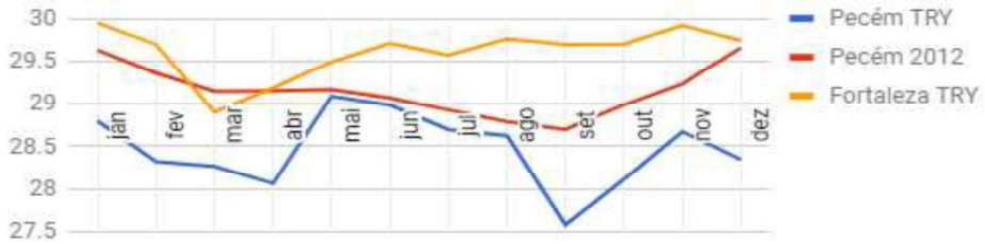
Fonte: os autores

Figura 6 – Médias de temperatura das superfícies externas (médias mensais) (°C)



Fonte: os autores

Figura 7 – Temperatura média radiante da zona térmica (médias mensais) (°C)



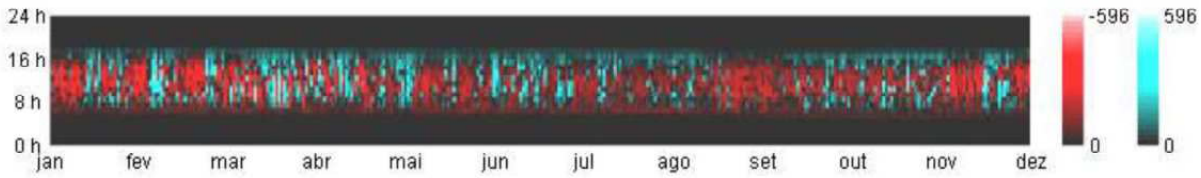
Fonte: os autores

4 CONCLUSÕES

Houveram problemas com o método de Kasten. Na sua aplicação, foram gerados valores baixos de radiação global horizontal, o que resultou em valores negativos de radiação direta horizontal quando aplicadas as equações de Liu (1960). Essas equações também podem ter contribuído no surgimento desses valores inválidos, dada a origem das equações em trabalhos realizados predominantemente em altas latitudes. No entanto, sem o uso de coeficientes de correção, o método de Pitta fez uso dessas mesmas equações, produzindo para o Pecém valores sempre positivos e semelhantes aos de Fortaleza. As Figuras 8, 9 e 10 comparam os histogramas de radiação dos arquivos climáticos TRY das duas localidades, operando uma subtração entre valores do Pecém e Fortaleza, respectivamente. Percebem-se diferenças menores nos horários próximos de meio dia, e valores maiores de radiação direta normal no Pecém durante as primeiras e últimas horas do dia, provavelmente devido à adaptação à curva máxima calculada pelos coeficientes da ASHRAE (2001).

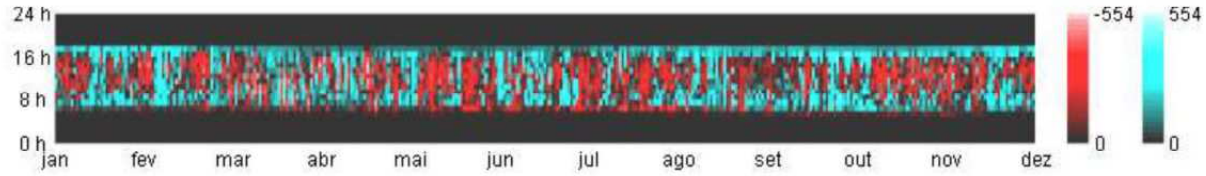
Os resultados sugerem que seja proposta uma melhor forma de reduzir os valores estimados para dentro das curvas de valores máximos conhecidos, técnica ainda simples demais para a mediação entre processos tanto dedutivos (estimativas) quanto indutivos (cálculos de limites máximos).

Figura 8 – Diferença de valores de radiação global horizontal (W/m²) entre os TRY do Pecém e de Fortaleza



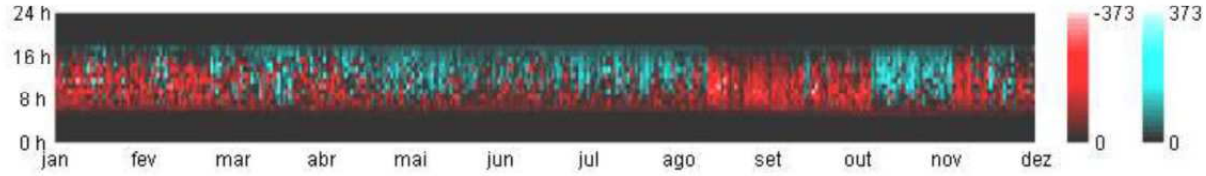
Fonte: os autores

Figura 9 – Histograma de diferença de valores de radiação direta normal (W/m²) entre os Anos Climáticos Referência do Pecém e de Fortaleza



Fonte: os autores

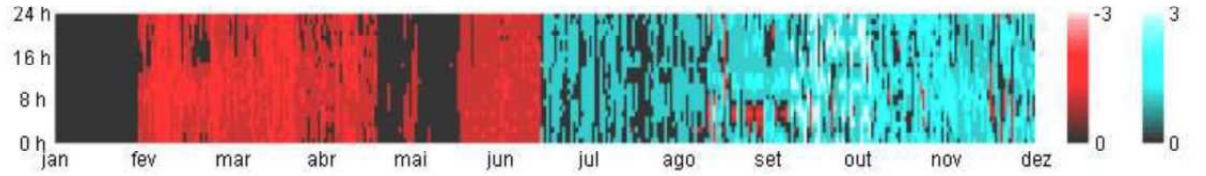
Figura 10 – Diferença de valores de radiação difusa horizontal (W/m²) entre os TRY do Pecém e de Fortaleza



Fonte: os autores

Ainda, a Figura 11, que compara a nebulosidade das duas localidades, mostra valores bem mais altos no Pecém durante exatamente os mesmos meses de menores temperaturas obtidas nas simulações termoenergéticas, o que sugere uma relação explicativa entre as variáveis.

Figura 11 –Diferença de valores de nebulosidade (décimos) entre os TRY do Pecém e de Fortaleza



Fonte: os autores

Portanto, mesmo tratanto de localidades próximas a cidades que possuem arquivos climáticos, propor que todas as variáveis de clima serão idênticas pode ser uma suposição enganada. Devido a diferentes condições de vegetação, urbanização, maior presença de corpos hídricos, dentre outros, adaptações a dados climáticos já obtidos podem ser necessárias. Como passos futuros, este trabalho pretende estender o método desenvolvido de estimativa do TRY usando mais localidades próximas, incorporando técnicas de regressão estatística para o tratamento de um número maior de informações de mais fácil obtenção do que medições in loco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ANEEL/EDP pelo financiamento e encorajamento que possibilitaram esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Fundamentals Handbook.** Atlanta: ASHRAE, 2001.

BARNABY, S. C.; CRAWLEY, B. D. **Weather data for building performance simulation.** In: HENSEN, J.; LAMBERTS, R. Building Performance Simulation for Design and Operation. London: Spon Press, 2011. p.37-55.

FERREIRA, T. S.; BUORO, A. B. **Estudo de alternativas para melhoria do desempenho energético de uma edificação comercial em São Paulo.** Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística. Edição Temática em Sustentabilidade, São Paulo, v. 5, n. 3, dez. 2015. p. 85-100.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Florianópolis: UFSC, 1997. 345p.

KASTEN, F. **The Linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleight optical thickness.** Solar Energy, [S. l.], v. 56, n. 3, p. 239-244, mar.,1996.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Relatório 200504:** processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações. Florianópolis: 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf>. Acesso em: 06 abril 2018.

LIU, B. Y. H.; JORDAN, R. C. **The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation.** Solar Energy, v. 4, 1960. p.1-19. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(60)90062-1>. Acesso em: 06 abril 2018.

PITTA, T. O. **Estudo de métodos diretos e indiretos de estimativa de irradiação solar global diária horizontal a partir de observações superficiais de cobertura total de nuvens em Florianópolis, SC.** 2001, 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SWERA. **Solar and Wind Energy Resource Assessment.** Disponível em: <https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA)>. Acesso em: 06 abril 2018.

THEVENARD, D.; BRUNGER, A. **Typical weather years for international locations.** Final Report Research Project 1015-RP. ASHRAE, 2001.

WORLD WEATHER ONLINE. Disponível em: <https://www.worldweatheronline.com/>. Acesso em: 06 abril 2018.