

APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DE DADOS DO CLIMA LOCAL PARA AVALIAÇÃO DE DIRETRIZES BIOCLIMÁTICAS EM SINOP-MT¹

LUZ, E. G., Universidade Federal de Mato Grosso, email: emiliagl@fisica.ufmt.br; CANDIDO, C. R., Universidade Federal do Paraná, email: rossattoc@gmail.com; NOGUEIRA, M. C. J. A., Universidade Federal de Mato Grosso, email: mcjanp@gmail.com; SANTOS, F. M. M., Universidade Federal de Mato Grosso, email: flavia_mms@hotmail.com; LEÃO, E. F. T. B., Universidade do Estado de Mato Grosso, email: borgesleao@unemat-net.br

ABSTRACT

Knowledge of the climatic conditions to establish requirements for projects depends on meteorological data, which in many cases are not available or are not directed to professionals in the field of construction, requiring a previous statistical treatment for their application. Therefore, the scope of this work was to generate a database for projects for the city of Sinop-MT, located at latitude 11°58'S. For this purpose, data provided by automatic stations were treated and then compiled in climatic files based on the reference year 2007, TRY and CSV, whose missing data were obtained by psychrometric equations. The files were used as input data for plotting the bioclimatic chart, solar chart and wind rose, providing strategies and guidelines for the design of buildings.

Keywords: Meteorological data. Climate files. Passive strategies.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições climáticas externas é premissa básica para se estabelecer requisitos básicos e diretrizes projetuais visando redução do consumo energético e o aumento do conforto do usuário nas edificações. No entanto, os dados meteorológicos muitas vezes não estão disponíveis ou não são direcionados para solucionar problemas de projetos de edificações (GOULART et al., 1998).

Dentre as variáveis intervenientes no consumo energético estão os arquivos climáticos, cujos dados registram condições que representam na simulação o ambiente externo dentro do qual a edificação está inserida (CARLO, 2002). Eles possibilitam a criação de situações de referência para estudos paramétricos, cujo intuito é a otimização de estratégias e sistemas aplicados às edificações.

Este trabalho visa o tratamento de dados para a geração de arquivos climáticos de entrada de softwares cujos produtos são diagramas auxiliares para obtenção de diretrizes bioclimáticas para projetos de arquitetura no município de Sinop, Mato Grosso, latitude 11°58'S e longitude 58°33'W.

¹ LUZ, E. G. , CANDIDO, C. R. , NOGUEIRA, M. C. J. A. , SANTOS, F. M. M. , LEÃO, E. F. T. B. Aplicação de metodologias de tratamento de dados do clima local para avaliação de diretrizes bioclimáticas em Sinop-MT. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização do clima de Sinop-MT

Segundo Maitelli (2005), Sinop está compreendido na faixa climática correspondente a Unidade Climática Equatorial Continental. A unidade ainda é dividida em três subunidades, I-A, I-B e I-C, das quais foi adotada a subunidade I-B para esta pesquisa. O Quadro 1 traz o resumo das características referentes à zona utilizada.

Quadro 1 – Clima Equatorial Continental: subunidade I-B

Relevo	Altitude (m)	200-400
Temperatura anual (°C)	Média anual	26,8 – 24,3
	Janeiro	25,6 – 24,3
	Julho	26,7 – 22,5
Precipitação (mm)	Total anual	1.800 a 2.200
	Estação chuvosa	out – mar
	Trimestre + chuvoso	jan – fev - mar
	Estação seca	abr – set

Fonte: Adaptado de Maitelli (2005)

Com isto, foram convenionadas duas estações principais para o município: inverno seco, que corresponde aos meses de abril a setembro, e verão úmido, atribuída aos meses de outubro a março.

2.2 Elaboração dos arquivos climáticos

2.2.1 Levantamento e tratamento de dados

Os dados utilizados foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), que abriga dados meteorológicos das diversas estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Dados obtidos de outubro de 2006 a outubro de 2016 foram tratados com o processo por interpolação para os dados ausentes através da análise da tendência de variação, conforme Loureiro (2003) e Grigoletti (2015).

Para a elaboração dos arquivos climáticos TRY e CSV, foi necessário calcular algumas variáveis não disponibilizadas pelas estações automáticas. A temperatura de bulbo úmido foi calculada pela metodologia de Jensen e outros (1990), citado por Kuemmel (1998). A umidade absoluta e a entalpia foram obtidas pelas equações de Hermann *et al.* (2009), citados pela ASHRAE (2009). Por último, os dados de radiação solar foram estimados pelas equações descritas em Liu & Jordan (1960) e em Duffie e Beckmann (2013).

Consideraram-se alguns critérios para verificar a consistência dos dados. A temperatura de bulbo úmido não pode ser superior à de bulbo seco, e a radiação global horizontal não pode ser maior do que a radiação

extraterrestre global horizontal. No caso de inconsistência, deve-se igualar as respectivas variáveis. (Guimarães & Carlo, 2010).

2.2.2 Test Reference Year – TRY

A segunda etapa consistiu na eleição do Ano Climático de Referência dos arquivos climáticos, o *Test Reference Year (TRY)*, com base na metodologia de Stamper (1977), descrita em Goulart *et al.* (1998) e Leão (2007).

Calcularam-se as médias mensais da temperatura de bulbo seco de todos os anos da amostra, e, então, os meses foram classificados por ordem de importância energética, para depois serem eliminados os anos cujos meses apresentaram extremos de temperatura.

De acordo com Carvalho *et al.* (2002), no TRY considera-se um período de, no mínimo, dez anos consecutivos de séries de dados climáticos para a obtenção de um ano representativo de um determinado lugar geográfico. No entanto, verificou-se uma elevada ausência de dados em alguns meses, sendo necessário descartá-los da determinação do TRY, conforme Grigoletti *et al.* (2015).

2.2.3 Arquivo CSV LabEEE–UFSC

O arquivo CSV é formado por dados separados por vírgulas a partir de dados obtidos de arquivos TRY. Ele possui um cabeçalho próprio e é utilizado como arquivo de entrada para o *software* Analysis SOL-AR, disponibilizado pelo LabEEE, com dados respectivos à cidade estudada.

Os dados foram transferidos para uma planilha, em colunas, conforme a ordem do cabeçalho, apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Cabeçalho padrão do CSV

Mês	Dia	Hora	TBS {C}
TBU {C}	T. Pto. Orvalho {C}	Pressão Atmosférica {kPa}	Umidade {kg/kg}
U.R. {%}	Densidade do ar {kg/m ³ }	Entalpia {BTU/LB}	Velocidade do Vento {m/s}
Direção do Vento {graus}	Cobertura Total de Nuvens {decimais}	Rad. Horizontal Extraterrestre {Wh/m ² }	Rad. Global Horizontal {Wh/m ² }
Rad. Direta {Wh/m ² }	Rad. Direta Normal {Wh/m ² }	Rad. Difusa Horizontal {Wh/m ² }	

Fonte: Adaptado de Carlo & Lamberts (2005)

Após obter todas as variáveis ausentes no cabeçalho, os dados foram transpostos em linhas e compilados em outra planilha com formatação compatível à do arquivo CSV, com extensão *.csv, disponível dentre as opções de extensão do programa utilizado.

2.3 Elaboração dos diagramas

2.3.1 Carta Bioclimática de Givoni

Para a plotagem da carta bioclimática, foram necessários o TRY e o download do programa Analysis-BIO, disponibilizado gratuitamente no site www.labeeee.ufsc.br.

O arquivo de entrada é gerado no programa a partir do TRY obtido, e, com ele, obtém-se a carta bioclimática com o relatório da porcentagem de horas do ano nas zonas definidas e as estratégias recomendadas.

2.3.2 Carta Solar

Para a plotagem da carta solar, foi utilizado o programa Analysis SOL-AR, de livre acesso e disponível em www.labeeee.ufsc.br, para inserção do arquivo CSV gerado previamente.

O programa fornece as cartas solares a partir da inclusão de uma nova cidade, com opções de visualização para temperaturas, radiação global horizontal e radiação direta, auxiliando o projeto de proteções solares com a visualização gráfica dos ângulos de proteção desejados sobre os diagramas gerados, para todas as orientações.

2.3.3 Rosa dos Ventos

O mesmo programa foi utilizado para a obtenção da rosa dos ventos, que pode ser visualizada para as velocidades predominantes dos ventos ou para a frequência de ocorrência em cada estação do ano e para oito orientações (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO).

3 RESULTADOS

Os dados disponibilizados para a pesquisa configuram uma amostra de dez anos. Alguns meses apresentaram elevada quantidade de células em branco, sendo necessário descartá-los para realizar a eleição do ano climático de referência, conforme prescrito nas metodologias citadas. A Tabela 2 apresenta as médias mensais de temperaturas para os anos utilizados e a classificação energética dos meses.

Tabela 2 – Temperaturas médias mensais de Sinop

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2007	25,0	24,7	25,9	25,7	24,8	25,2	24,8	25,8	27,2	26,2	25,4	24,6
2008	24,0	24,0	24,4	24,7	24,1	24,1	25,2	27,5	26,9	26,2	25,1	24,4
2009	24,9	24,8	25,4	24,8	24,5	24,0	25,3	26,3	26,1	26,0	25,6	24,3
2010	24,5	25,6	25,6	25,6	25,0	25,2	24,7	25,8	28,1	26,7	25,4	24,9

2012	23,8	24,4	24,8	25,1	24,3	24,8	24,8	26,4	27,4	26,9	25,2	25,1
MÉDIAS	24,4	24,7	25,2	25,2	24,5	24,7	25,0	26,4	27,1	26,4	25,4	24,7
	1° +F	5° +F	5° +Q	6° +Q	2° +F	3° +F	6° +F	3° +Q	1° +Q	2° +Q	4° +Q	4° +F

Fonte: Os autores (2017)

Os meses seleccionados com temperaturas mais extremas foram dispostos conforme a Tabela 3, para eliminação dos anos.

Tabela 3 – Sequência de eliminação dos anos

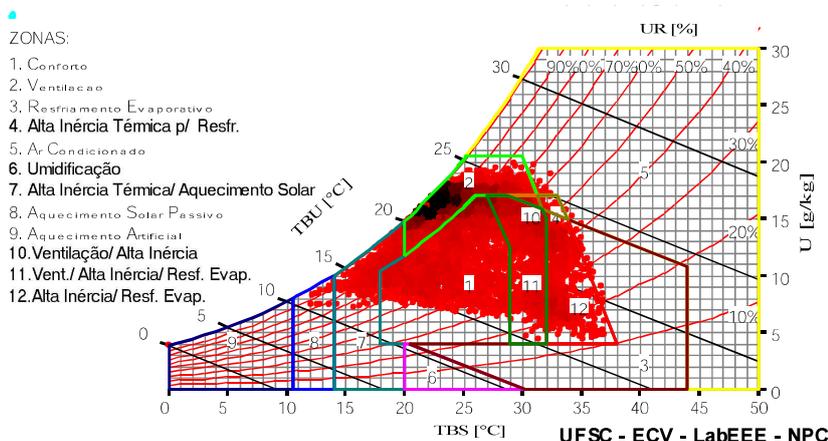
Ordem de eliminação	Classificação	TBS (°C)	Ano
1	Setembro +Q	28,1	2010
2	Janeiro +F	23,8	2012
3	Outubro +Q	26,2	2008
4	Maio +F	24,5	2009
5	Agosto +Q	25,8	2007

Fonte: Os autores (2017)

O ano restante foi o de 2007, que apareceu por último na classificação. Portanto, este foi o ano designado como Ano Climático de Referência (TRY).

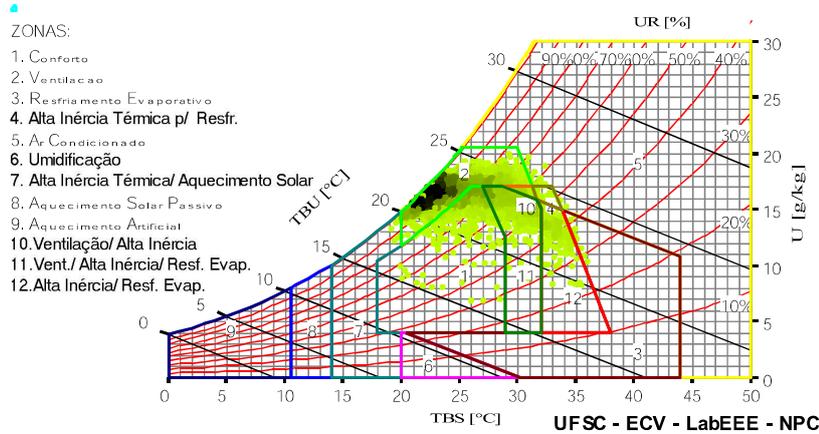
Com o arquivo de entrada, foram obtidas as cartas bioclimáticas - e seus respectivos relatórios - para as 8760 horas do ano (Figura 1), e para as estações de verão úmido (Figura 2) e de inverno seco (Figura 3).

Figura 1 – Carta Bioclimática de Sinpop-MT plotada para o ano TRY



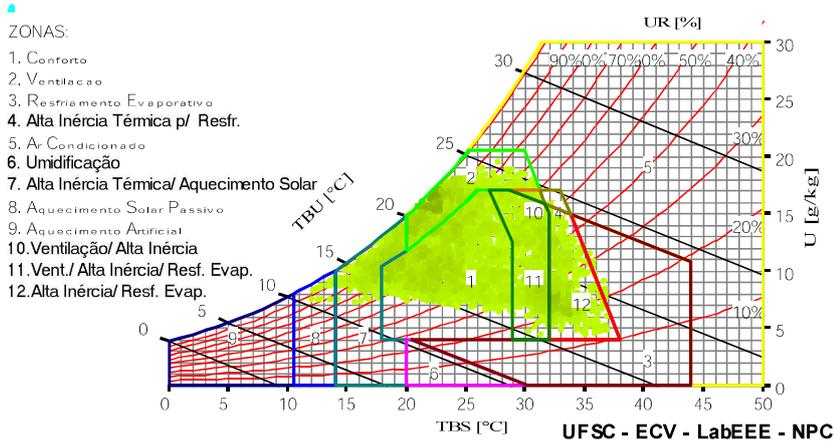
Fonte: Analysis-BIO (2017)

Figura 2 - Carta bioclimática plotada para os meses de verão úmido



Fonte: Analysis-BIO (2017)

Figura 3 – Carta bioclimática plotada para os meses de inverno seco



Fonte: Analysis-BIO (2017)

Os relatórios dos diagramas foram organizados com as estratégias por zonas bioclimáticas, indicadas para cada período definido no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparativo do relatório de estratégias recomendadas por zonas bioclimáticas indicadas por período

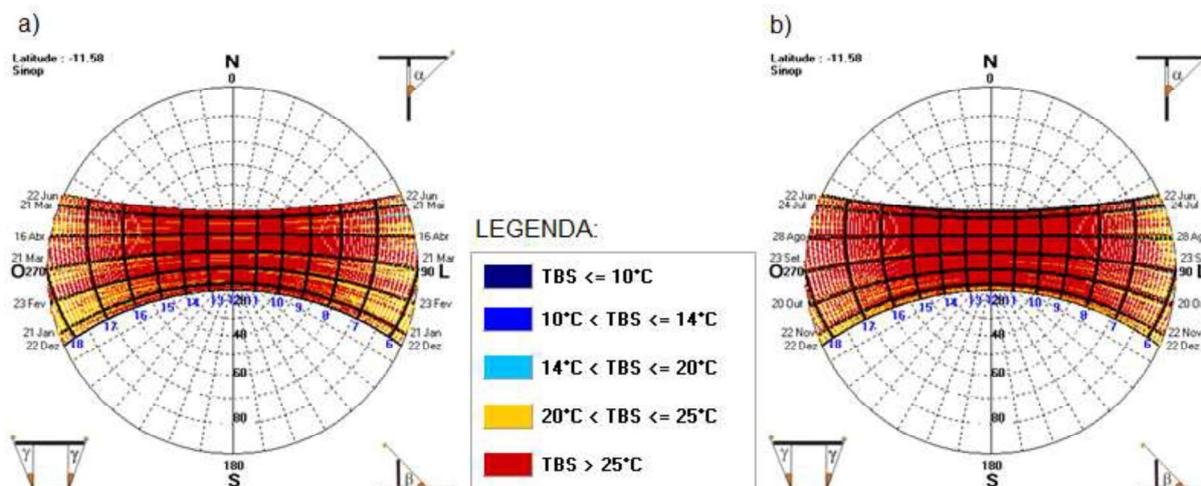
Estratégias/Período	Ano todo (%)	Verão Úmido (%)	Inverno Seco (%)
1. Conforto	27,2	12,8	41,6
2. Ventilação	42,4	66,8	18,2
3. Resfriamento Evaporativo	0,24	0,275	0,228
4. Ventilação/Alta Inércia	0,913	1,24	0,592
5. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo	14,4	13,2	15,6
6. Alta Inércia Térmica p/ Resfriamento	0,251	0,458	0,0455
7. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	9,49	4,56	14,4
8. Alta Inércia Térmica/ Aquecimento Solar	4,6	0,137	9,04
9. Aquecimento Artificial	0,0114	0	0
10. Aquecimento Solar Passivo	0,16	0	0,319
11. Ar Condicionado	0,274	0,549	0
12. Sombreamento	93,2	99,9	86,5

Fonte: Adaptado do Analysis-BIO (2017)

O sombreamento é a estratégia mais recomendada para amenizar as 72,8% de horas do ano em desconforto, visto que uma porcentagem expressiva de dados se encontra em zonas com temperaturas acima de 20 °C. Dessa maneira, o estudo das proteções solares deve ser considerado para a adequação do projeto arquitetônico.

Utilizando a visualização de temperaturas sobrepostas ao diagrama solar disponível no *software* Analysis SOL-AR, foram gerados dois diagramas solares para os períodos de 22 de Dezembro a 22 de Junho (Figura 4a) e 22 de Junho a 22 de Dezembro (Figura 4b) para a opção de visualização de temperaturas, conforme indicações da legenda.

Figura 4 – Cartas solares com opção de visualização para temperaturas

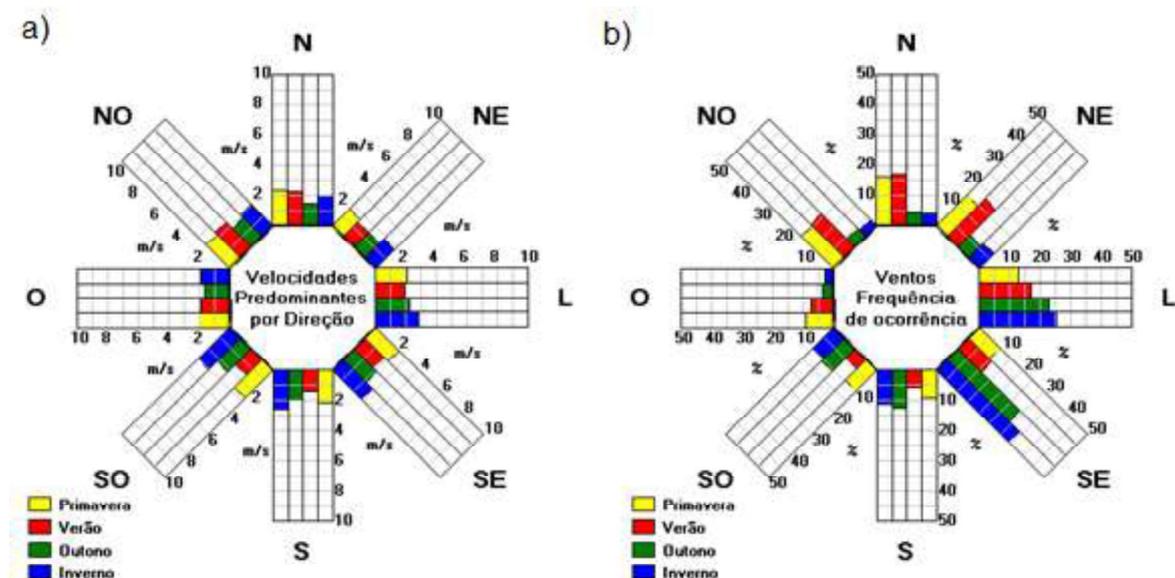


Fonte: Adaptado do Analysis SOL-AR (2017)

Em função da latitude e incidência solar, todas as orientações demandam o uso de brises horizontais para as orientações N e S e, preferencialmente associados a brises verticais, para proteção solar nas orientações Leste e Oeste.

A rosa dos ventos de Sinop-MT (Figura 5) permitiu identificar as orientações mais recomendadas para otimizar a ventilação cruzada em edificações.

Figura 5 – Rosa dos ventos para as opções de a) velocidades predominantes por direção; e b) frequência de ocorrência dos ventos por estação



Fonte: Adaptado do Analysis SOL-AR (2017)

Observa-se que não há variação significativa na velocidade dos ventos em todas as orientações. Por outro lado, com relação à frequência, os ventos são mais frequentes nas orientações Norte, Noroeste e Leste na estação de verão úmido (Primavera e Verão), sendo estas as orientações mais favoráveis para o posicionamento de aberturas, e Leste e Sudeste na estação de inverno seco (Outono e Inverno). As esquadrias devem ser projetadas visando à proteção contra as chuvas na estação de verão úmido, e devem ser manipuladas adequadamente pelo usuário para permitir a ventilação quando a umidade interna estiver elevada.

4 CONCLUSÕES

Conforme as cartas bioclimáticas geradas, foi possível delimitar estratégias recomendadas para o ano inteiro, que podem ser otimizadas conforme a estação. As estratégias mais evidentes foram sombreamento (93.2%), ventilação (57.7%), alta inércia para resfriamento (25%) e resfriamento evaporativo (24.1%).

A ventilação e o sombreamento são imprescindíveis para promover o conforto do usuário nas edificações do município, podendo ser obtidos pela adequada

orientação da edificação para reduzir a incidência solar em fachadas menos favorecidas e potencializar a ventilação cruzada nos ambientes, além do dimensionamento de proteções solares em conformidade com a carta solar.

Recomenda-se, ainda, inserir um maior número de cidades nos programas disponíveis e utilizados para divulgar diagramas e estratégias pertinentes à cada localidade.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. New York, ASHRAE, 2009.
- BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA. [Página Eletrônica]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 17 dez. 2016.
- CARLO, J.; LAMBERTS, R. Processamento de Arquivos Climáticos Para Simulação do Desempenho Energético de Edificações. In: **Arquivos Climáticos**. Florianópolis: UFSC/LabEEE. 2005. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 24 out. 2016.
- CARVALHO, H. J. M.; ARAÚJO, T. G. H.; SILVA, F. A. G. Tratamento de dados climáticos da cidade de João Pessoa-PB, para o uso em projetos de arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2002.
- DUFFIE, J.; BECKMAN, W. **Solar Engineering of Thermal Processes**. New York: John Wiley & Sons, 2013. 910p.
- GOULART, S., LAMBERTS, R., FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345 p. 2ª ed.
- GRIGOLETTI, G. C.; FLORES, M. F.; SANTOS, J. C. P. **Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 123-141, jan/mar. 2016
- GUIMARÃES, I.; CARLO, J. Desenvolvimento do Arquivo Climático de Viçosa Para Simulação Computacional de Desempenho Termo-Energético. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 1., Viçosa, 2010. **Anais...** Viçosa, 2010.
- KUEMMEL, B. **Temp, Humidity & Dew Point: ONA (Often Needed Answers)**, 1998. Disponível em: <<http://www.faqs.org/faqs/meteorology/temp-dewpoint/>>. Acesso em: 17 dez. 2016.
- LEÃO, E. F. B. T. **Carta bioclimática de Cuiabá – Mato Grosso**. 147 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

LIU, B. Y. H.; JORDAN, R. C. A Rational Procedure for Predicting the Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar-Energy Collectors. **Solar Energy**, v. 7, p. 53, 1963.

LOUREIRO, K. C. G. **Análise de Desempenho Térmico e Consumo de Energia de Residências da Cidade de Manaus**. Florianópolis, 2003. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MAITELLI, G. T. **Interações atmosfera-superfície**. In: MORENO, G.; HIGA, T. C. S (Org.). Geografia de Mato Grosso: Território, sociedade, ambiente. Cuiabá: Entrelinhas, 2005. Cap. 13, p. 238-249.