

## Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geiger e de Thornthwaite

Marcelly da Silva Sampaio <sup>1</sup>

Marcelo de Carvalho Alves <sup>1</sup>

Luiz Gonsaga de Carvalho <sup>2</sup>

Luciana Sanches <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Cuiabá - MT, Brasil

marcellysampaio@gmail.com

marcelocarvalhoalves@gmail.com

lsanches@ufmt.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA

Lavras – MG, Brasil

lgonsaga@ufla.br

**Abstract.** Climatic classifications systems are important to analyze and define the climatic types of regions. The Koppen-Geiger and Thornthwaite system are widely applied on different topics related to climate research and climate change. The first is based on seasonal and annual and monthly average values of air temperature and precipitation, but is very laborious and complex. On the other hand, the second is based on concepts of potential evapotranspiration by water balance, but presents problems for classifying regions of polar and cold climates. The use of geographic information systems (GIS) for the study of complex situations has shown effective results especially in the modeling of climate prediction. In this context, the objective of this study was to compare the climatic classification of Thornthwaite with the Koppen-Geiger both applied to the boundaries of Brazil using GIS in order to observe the correlation between climate classes for the two systems. The evaluation of comparing the two climatic classifications were developed through the use of two maps representing each of the systems of climatic classification, through the process of overlapping and intersecting verifying the occurrence between the two classes of systems by developing a matrix of confusion. The overlap of the two maps showed that, even though both are generated by different methodologies, showed consistency in the representation of climatic types in a region, and the arid and semi-arid climate classes showed the most significant.

**Palavras-chave:** climate classes, map overlays, intersection, classes climáticas, sobreposição de mapas, intersecção.

### 1 Introdução

Os sistemas de classificações climáticas são utilizados para analisar e definir os climas das diferentes regiões levando em consideração vários elementos climáticos. A análise depende da disponibilidade de série histórica de dados meteorológicos observados. Os elementos de temperatura e precipitação são muitas vezes utilizados nos sistemas de classificação. Porém, dados relacionados à vegetação, altitude, longitude, latitude e evapotranspiração orientam algumas classificações climáticas.

A identificação e classificação das diferentes regiões climáticas são utilizadas para facilitar a descrição e proceder ao mapeamento dessas regiões. As classificações climáticas são direcionadas por três objetivos: ordenar grande quantidade de informação, facilitar a rápida recuperação e facilitar a comunicação. O alcance dos três objetivos é facilitado pela técnica de mapeamento (VIANELLO e ALVES, 1991).

A primeira classificação climática global foi desenvolvida por Wladimir Köppen em 1900. O método proposto foi posteriormente atualizado por Rudolf Geiger em 1961

(KOTTEK et al., 2006). A classificação Climática de Köppen-Geiger é baseada no pressuposto, de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima nela prevalecente. Na determinação dos tipos climáticos foram considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação.

Em 1941, Charles Warren Thornthwaite introduziu o conceito de evapotranspiração potencial e balanço hídrico, bem como métodos elaborados para a sua quantificação e estimativa. Ele comparou a evapotranspiração potencial com a precipitação de várias regiões do planeta, a fim de se obter índices de umidade, visto que o excesso ou a deficiência de água ocorrem em diversos locais e em diferentes estações do ano. Com isso foi proposta uma nova classificação climática global baseada em conceitos de evapotranspiração potencial por meio de balanço hídrico (THORNTWAITE, 1944, 1946, 1948).

Essas duas classificações climáticas ainda são largamente aplicada em diferentes tópicos relacionados ao clima e a pesquisas de mudanças climáticas (BECK et al., 2005), bem como em geofísica, hidrologia, agricultura e biologia (VIANELLO; ALVES, 1991; PEEL et al., 2007). Zhang et al. (2008) utilizou evapotranspiração na caracterização de bacias hidrográficas, Woods (2009) utilizou modelos analíticos para identificar impactos climáticos sobre a neve. Sá Júnior, (2009) aplicou a classificação de Köppen-Geiger no desenvolvimento do zoneamento climático do Estado de Minas Gerais.

No entanto, o método de Köppen-Geiger possui limitações como a falta de base racional na seleção dos valores de temperatura e precipitação para diferentes zonas climáticas, além do mais, sua utilização prática implica na análise de uma chave dicotômica como critério para descrever aproximadamente 30 classes climáticas, tornando este método muito laborioso, complexo e passível a erros, quando não utilizado por especialistas (VIANELLO e ALVES, 1991)

Por outro lado, o sistema de classificação climática de Thornthwaite tem sido utilizado com sucesso em estudos de zoneamento ecológico econômico, funciona adequadamente em climas úmidos, no entanto em clima muito seco subestima bastante a evapotranspiração por não considerar a energia advectiva (deslocamento do ar aquecido) recebida das áreas secas distantes (CAMARGO, 2000), além de apresentar problemas para classificar regiões de climas frios e polares (THORNTWAITE, 1948).

O uso de sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto e técnicas de análise espacial (estatística espacial, geoestatística, modelos de distribuição espacial) para o estudo de situações complexas, têm mostrado eficientes resultados de grande utilidade e boa qualidade na modelagem de previsão de tempo e clima.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar a comparação da classificação climática desenvolvida por Thornthwaite com a de Köppen-Geiger ambas aplicadas para os limites do Brasil utilizando SIG, com a finalidade de observar a correspondência entre as classes climáticas dos dois sistemas de classificação.

## 2. Metodologia

O Brasil possui uma grande diversidade climática atribuída dentre vários fatores a sua fisionomia geográfica, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. Este último fator é de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na pluviosidade, provocando as diferenciações climáticas regionais.

A classificação climática de Köppen-Geiger divide os climas em cinco grandes grupos e diversos tipos e subtipos. Cada clima é representado por um conjunto variável de letras com dois ou três caracteres. A primeira letra maiúscula ("A", "B", "C", "D", "E") denota a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático. A

segunda letra minúscula estabelece o tipo de clima dentro do grupo, e denota as particularidades do regime pluviométrico, ou seja, a quantidade e distribuição da precipitação. Nos grupos cuja primeira letra é "B" ou "E", a segunda letra é também uma maiúscula, denotando a quantidade da precipitação total anual (no caso "B") ou a temperatura média anual do ar (no caso "E"). A terceira letra também minúscula indica a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes (nos casos em que a primeira letra seja "C" ou "D") ou a temperatura média anual do ar (no caso da primeira letra ser "B") (VIANELLO e ALVES, 1991).

A Classificação Climática de Thornthwaite consiste na comparação de dados de evapotranspiração potencial com dados de precipitação e com base nesses dados, foram calculados vários índices que compõem o balanço hídrico. O índice de umidade total –  $I_m$  avalia a efetividade da precipitação, visto que é necessário saber se a precipitação é maior ou menor do que evapotranspiração. Ele é usado para classificar o clima em 9 classes, numa escala de umidade que vai do seco ao muito úmido (VIANELLO; ALVES, 1991).

A avaliação da comparação das duas classificações climáticas foi estruturada no Sistema de Informações Geográficas – SIG sendo o trabalho desenvolvido por meio da utilização de dois mapas no formato raster. O mapa de Koppen-Geiger utilizado como base para comparação foi o atualizado por Peel et al. (2007). Este mapa foi construído com dados mensais de temperatura do ar e de precipitação pluvial obtidos da rede meteorológica global histórica (GHCN) versão 2.0 (PETERSON e VOSE, 1997), composta por 12.396 estações de precipitação e 4.844 estações de temperatura. O mapa de Thornthwaite para o Brasil utilizado foi o obtido Alves e Carvalho (2008) na determinação de modelos de índice de umidade para a classificação de zonas com climas áridos, tropicais e temperados com base em observações de temperatura e precipitação.

O processamento de dados foi realizado por meio do software ArcGis versão 9.2®. Para se desenvolver as análises, partiu-se primeiramente para a conversão dos mapas em formato raster para o formato vetorial, de modo a ter acesso ao limite dos polígonos entre as classes climáticas. Desta forma, o mapa de Koppen-Geiger foi processado, separando-se somente a representação do Brasil, como apresentado na Figura 1.

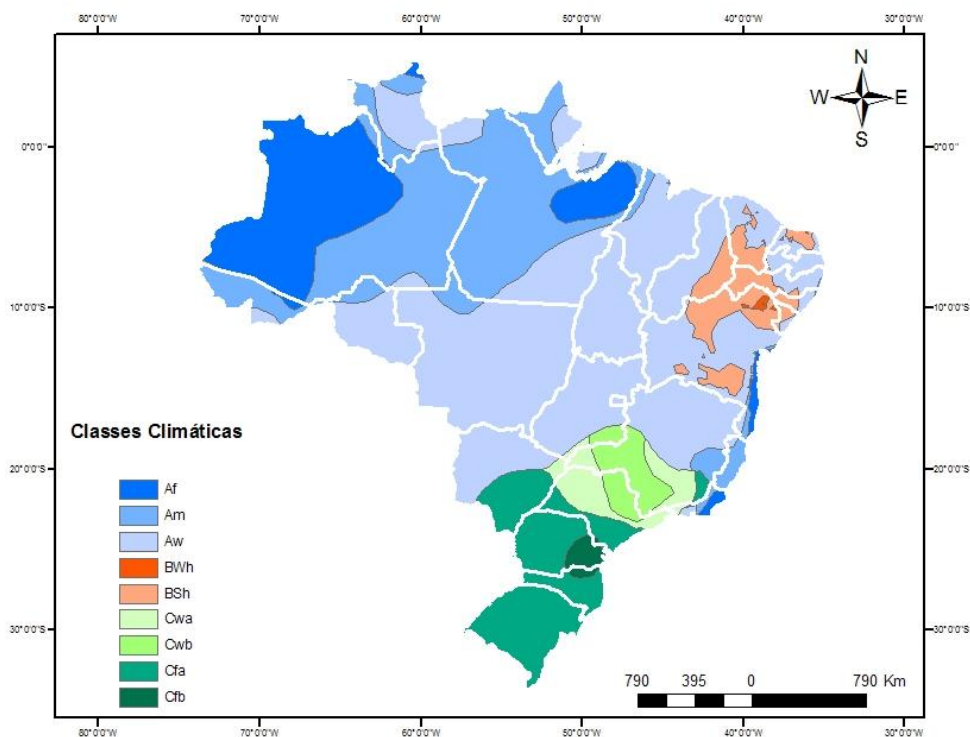


Figura 1. Mapa de classificação climática de Koppen-Geiger para o Brasil.

De acordo com essa classificação o Brasil é dividido em nove classes climáticas, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos climáticos de Koppen-Geiger para o Brasil.

Tipos climáticos de Koppen-Geiger	
Af	Equatorial úmido
Am	Tropical de monção (chuvas no verão)
Aw	Tropical de savana com estação seca de inverno
BWh	Árido desértico seco e quente
BSh	Semiárido seco e quente
Cfa	Temperado úmido com verão quente
Cfb	Temperado úmido com verão temperado
Cwa	Temperado úmido com inverno seco e verão quente
Cwb	Temperado úmido com inverno seco e verão morno

O mapa apresentado na Figura 2 espacializa as 9 classes climáticas definidas por Thornthwaite.

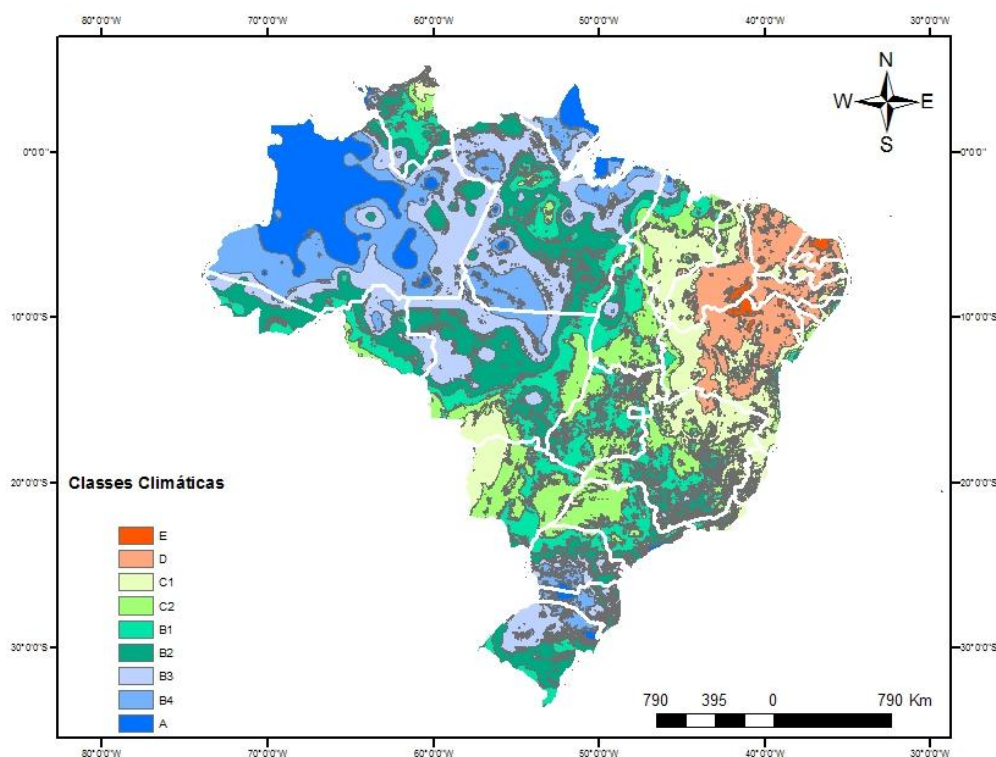


Figura 2. Classificação climática de Thornthwaite para o Brasil.

De posse dessas duas bases de dados foi possível realizar a intersecção dos dois mapas para verificar a ocorrência entre as classes climáticas. A intersecção proporcionou um entrecorte geométrico das características de entrada de forma que as características que se sobpuseram em todas as regiões do objeto em estudo foram enviados para o arquivo de saída final. Em ambos os mapas a intersecção ocorreu por meio das classes climáticas definidas previamente. O mapa de Thornthwaite foi sobreposto ao de Koppen-Geiger, tendo como um dos resultados uma planilha de atributos que foi exportada e convertida para o formato de planilhas eletrônicas.

Tabela 2 – Tipos climáticos segundo Thornthwaite – 1948, baseados no índice de umidade.

Tipos Climáticos		Índice de Umidade ( $I_m$ )
A	Super-úmido	$I_m \geq 100$
B <sub>4</sub>	Úmido	$80 \leq I_m < 100$
B <sub>3</sub>	Úmido	$60 \leq I_m < 80$
B <sub>2</sub>	Úmido	$40 \leq I_m < 60$
B <sub>1</sub>	Úmido	$20 \leq I_m < 40$
C <sub>2</sub>	Sub-úmido	$0 \leq I_m < 20$
C <sub>1</sub>	Sub-úmido seco	$-20 \leq I_m < 0$
D	Semi-árido	$-40 \leq I_m < -20$
E	Árido	$-60 \leq I_m < -40$

Com o resultado da intersecção dos mapas elaborou-se uma matriz de confusão, para verificar as ocorrências entre as classes, ou seja, a que classe climática do mapa de Koppen-Geiger apareceu às classes climáticas do mapa de Thornthwaite. Segundo Campbell (1987) uma matriz de confusão pode ser utilizada para reportar erros em locais específicos, assim como para identificar como se deram as interações entre as categorias analisadas.

Por meio dos mecanismos elucidados foi possível inferir a respeito das principais discrepâncias entre as classificações.

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta o resultado da sobreposição dos dois planos de informações na forma de porcentagem de ocorrência das classes climáticas de Thornthwaite em relação às de Koppen-Geiger.

Tabela 3 – Matriz de confusão entre as classes climáticas de Koppen-Geiger e Thornthwaite

Classes Climáticas		Classificação de Thornthwaite								
		E	D	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	A
Classificação de Koppen-Geiger	<b>Af</b>	0	0,6	6,9	12,8	10,3	12,1	20,8	28,5	8,1
	<b>Am</b>	0	0,1	2,5	9,9	13,0	21,9	25,8	21,0	5,8
	<b>Aw</b>	0,5	5,2	13,9	21,2	21,7	19,1	12,7	4,9	0,8
	<b>BWh</b>	63,0	25,9	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<b>BSh</b>	21,7	36,5	38,2	3,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	<b>Cfa</b>	0	0,0	7,0	14,2	24,3	20,8	19,1	11,2	3,5
	<b>Cfb</b>	0	0,0	2,2	14,7	28,0	28,1	20,3	5,5	1,2
	<b>Cwa</b>	0	0,0	0,9	6,4	15,9	19,1	29,4	21,8	6,4
	<b>Cwb</b>	0	0,0	0,0	2,9	0,0	32,7	43,8	18,8	1,8

Analisando a matriz, observou-se que o clima *Af* apresentou as maiores ocorrências com os climas *B<sub>3</sub>* e *B<sub>4</sub>*. O clima *Af* é caracterizado como equatorial quente com estação seca, apresentando elevada pluviosidade, desta forma, sua concordância com as duas classes climáticas de Thornthwaite encontradas apresentou coerência, visto que estas classes representam tipos climáticos úmidos com  $I_m \geq 60$ mm.

A classe climática *Am*, apresentou maior interação com os tipos *B<sub>2</sub>*, *B<sub>3</sub>* e *B<sub>4</sub>*. O clima *Am* é caracterizado como tropical de monção, apresentando chuvas no verão e temperaturas elevadas, apresentando certa coerência com os climas de Thornthwaite encontrados que apresentam tipo climático Úmido diferenciando-se apenas pelo valor limite do *I<sub>m</sub>*.

A classe climática *Aw* apresentou as maiores interações com as classes *C<sub>2</sub>*, *B<sub>1</sub>* e *B<sub>2</sub>*. O clima *Aw* é caracterizado como tropical de savana com estação seca de inverno. As classes *C<sub>2</sub>*, *B<sub>1</sub>* e *B<sub>2</sub>*, compreendem os tipos climático sub-úmido e úmido, no qual apresentam *I<sub>m</sub>* entre 0-60mm, demonstrando concordância na interação entre essas classes.

A classe *BWh* caracteriza-se como clima árido desértico seco e quente. Apresentou maior interação na classe *E* de Thornthwaite, que também se refere ao tipo climático árido. Analogamente, o tipo climático *BSh* caracterizado como semi-árido seco e quente correlacionou-se mais com os tipos climáticos sub-úmido seco (*C<sub>1</sub>*), semi-árido (*D*) e árido (*E*). Estas classes apresentaram as maiores coerências nas integrações.

A classe climática *Cfa* caracterizada como clima temperado úmido, ou sub-tropical, com chuvas bem distribuídas e verões rigorosos apresentou a maior interação com os tipos climáticos *B<sub>2</sub>* e *B<sub>1</sub>* caracterizados como climas úmidos. O tipo climático *Cfb* caracterizado como temperado úmido, ou sub-tropical com verão temperado, chuvas bem distribuídas e verões brandos, também interagiu com os tipos climáticos *B<sub>2</sub>* e *B<sub>1</sub>*.

A classe climática *Cwa* caracterizada como clima temperado úmido, com inverno seco e verão quente, apresentou maior interação com os tipos climáticos *B<sub>3</sub>* e *B<sub>4</sub>*. E a classe climática *Cwb* caracterizada como clima temperado úmido, com inverno seco e verão morno interagiu mais com as classes *B<sub>2</sub>* e *B<sub>3</sub>*. Esta interação também apresentou coerência, visto que esses tipos climáticos de Thornthwaite caracterizam-se como úmidos.

A sobreposição dos dois mapas demonstrou que, apesar de ambos serem gerados por metodologias diferentes, apresentaram coerência na representação dos tipos climáticos de uma região. O mapa de Thornthwaite ofereceu mais detalhes em relação aos climas encontrados para o Brasil, visto que foram considerados os valores de evapotranspiração das regiões no cálculo do índice de umidade, enquanto que o mapa de Koppen-Geiger, apresentou uma classificação mais generalizada, fundamentada na distribuição dos valores de temperatura e precipitação.

Assim, observou-se que maioria das classes climáticas de Koppen-Geiger apresentou interação com quase todas as classes climáticas de Thornthwaite, devido a sua abrangência. Não foi possível definir para os climas tropicais e sub-tropicais de Koppen-Geiger a interação mais significativa com as classes de Thornthwaite, visto que esses climas interagiram com os tipos climáticos caracterizado como úmidos. Mas a interação entre os climas áridos de ambos os sistemas foi significativa. Apesar de não apresentar expressiva integração com nenhuma classe de Koppen-Geiger, o tipo climático super-úmido (*A*), apresentou coerência ao interagir com as classes *Af* e *Cwa*.

A utilização de SIG na avaliação da comparação climática foi satisfatória, mostrando grande aplicabilidade no tocante a intersecção de mapas. SIG tem sido amplamente utilizado atualmente em estudos climáticos, devido à possibilidade de espacialização e estimativas de dados em pontos não amostrados (ASSAD e SANO, 1998). De forma análoga, pesquisadores têm demonstrado cada vez mais a importância da utilização do índice de umidade na análise do potencial hídrico de uma região, seja para o manejo de atividades agrícolas ou determinação de tipos climáticos mais representativos.

Silva e Assad (1998) avaliaram a disponibilidade hídrica do Estado de Goiás com uso de SIG para o período de floração da safrinha, encontrando excesso hídrico climático com comportamento descendente de norte para sul e de noroeste para leste. Estes autores afirmaram que o uso de SIG contribuiu para uma interpretação mais abrangente dos resultados a partir da espacialização dos parâmetros agroclimáticos. Carvalho et al. (2006)

utilizou SIG e geoestatística na caracterização do clima do Estado de Minas Gerais com base no índice de umidade, observando a ocorrência de uma diversidade de tipos climáticos em Minas Gerais, variando de semi-árido a super-úmido com predominância dos tipos sub-úmido à úmido.

A utilização das classificações de Koppen-Geiger e Thornthwaite para o Brasil foi relacionada, todavia a classificação de Thornthwaite apresentou maiores informações, principalmente, nas regiões de clima árido e semiárido. A comparação dos dois sistemas de classificação foi um passo inicial para estudos posteriores que proponham a unificação desses sistemas para superar as limitações dos sistemas climáticos avaliados.

#### 4. Conclusão

O emprego de Sistema de Informação Geográfica foi eficiente na análise da comparação dos sistemas de classificação climática de Koppen-Geiger e Thornthwaite.

A intersecção entre os dois sistemas de classificação demonstrou coerência na comparação entre as classes climáticas representativas dos climas árido e semi-árido.

#### Referências Bibliográficas

- Alves, M. C.; Carvalho, L. G. Moisture index model for classification of Earth zones with arid, tropical and temperate climates based on temperature and rainfall information. In: International Scientific Conference: Amazon in Perspective - Integrated Science for a Sustainable Future (LBA GEOMA PPBio), 2008, Manaus. Amazon in Perspective: Integrated Science for a Sustainable Future, 2008.
- Assad, E. D.; Sano, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1998.
- Beck, C., et al. Characterizing global climate change by means of Köppen Climate Classification. **Klimastatusbericht**, Offenbach, 2005, pp. 139-149.
- Camargo, A.P.; Camargo, M.B.P. Uma Revisão Analítica da Evapotranspiração Potencial. **Bragantina**, Campinas, v.59, p.125-137, 2000.
- Campbell, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York, The Guilford Press, 1987. 551p.
- Carvalho, L. G. et al. Uso de Sistema de Informações Geográficas e Geoestatística para a caracterização do clima de Minas Gerais com base no índice de umidade de Thornthwaite. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. A Meteorologia a Serviço da Sociedade, 2006.
- Kottek, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, 2006, pp. 259-263.
- Peel, M.C.; et al. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, Germany, 2007, pp. 439-473.
- Peterson, T. C.; Vose, R. S. An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78(12), 2837-2849, 1997.
- Sá Junior, A. Aplicação da Classificação de Köppen para o zoneamento de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras – MG. 2009. 101p
- Silva, F. A. M.; Assad, E. D. Análise espaço-temporal do potencial hídrico climático do Estado de Goiás. In: Assad, E. D.; Sano, E. E. (Org) **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1998, 2ª ed. p. 273-309.
- Thornthwaite, C.W. The moisture factor in climate. **Transaction of the American Geographical Union**, v. 27, p.41-48, 1946.

Thornthwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.**, v.38, p.55-94, 1948.

Thornthwaite, C.W. Wilm, H.G. Report of the Comite of evapotranspiration and transpiration, 1943-1944. Washington, D.C.: **Transaction of the American Geographic Union**, p. 686-693, 1944.

Vianello, R. L.; Alves, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária/UFV, 1991. 449 p.

Zhang, Linyan, Hong Jiang, Xiaohua Wei, Qiuhan Zhu, Shirong Liu, Pengsen Sun, and Jingtao Liu, 2008. Evapotranspiration in the meso-scale forested watersheds in Minjiang Valley, West China. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)** 44(5):1154-1163. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2008.

Woods, A. et al. Is an Unprecedented Dothistroma Needle Blight Epidemic Related to Climate Change? **BioScience**: v.55, n.9, p.761-769, 2005.