

## CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA O ESTADO DO CEARÁ UTILIZANDO DISTINTOS SISTEMAS DE CARACTERIZAÇÃO

*Lucas Falcão Muniz<sup>1\*</sup>; José Marcelo Rodrigues Pereira<sup>12</sup>; Celso Lira Ximenes Júnior<sup>3</sup>; Ticiane Marinho de Carvalho Studar<sup>1</sup>*

**Resumo** – As classificações climáticas de Köppen e Thornthwaite têm como parâmetros de entrada a precipitação e a temperatura média, onde, tradicionalmente, utiliza-se dados das normais climatológicas publicados pelo INMET. Neste trabalho, para o estado do Ceará, optou-se por inovar nesse aspecto incorporando a densa rede de postos pluviométricos da FUNCEME espalhados pelo estado do Ceará e dados de temperatura média do *Climatic Research Unit* (CRU). Dessa maneira, investigamos com mais detalhes as classificações a partir de dados mais abrangentes, verificando a correlação entre os métodos e a sensibilidade dos mesmos aos dados de entrada. Os resultados apontam que a classificação climática de Köppen apresenta três tipos climáticos para o estado do Ceará (Aw, BSh e BWh) com grande predominância do clima tropical com inverno seco (Aw), 63% do Estado. Para Thornthwaite, foram identificados quatro tipos climáticos (E, D, C1 e C2) com grande predominância do clima Semiárido (D), 85% do estado. Com relação à equivalência dos métodos, notou-se baixa iteração entre tipos climáticos similares. Entretanto, os resultados mostram sensibilidade aos dados de entrada utilizados para a classificação de Thornthwaite, sendo possível a delimitação de pequenas áreas que possuem características geográficas e físicas distintas de suas adjacências, o mesmo não foi observado para Köppen.

**Palavras-Chave** – classificação climática, Köppen, Thornthwaite.

## CLIMATE CLASSIFICATION FOR THE STATE OF CEARÁ USING VARIOUS CHARACTERIZATION SYSTEMS

**Abstract** – The climatic classifications of Köppen and Thornthwaite are based on precipitation and temperature, where data from the normal climatological published by INMET are traditionally used to estimate this classifications. In this work, for the state of Ceará, it was decided to innovate by incorporating the dense network of rain gauges of FUNCEME spread throughout the state of Ceará and data of average temperature from Climatic Research Unit (CRU). In this way, we investigate in more detail the classifications from more comprehensive data, verifying the correlation between the methods and their sensitivity to the input data. The results indicate that the climatic classification of Köppen presents three climatic types for the state of Ceará (Aw, BSh and BWh), with a predominance of tropical climate with dry winter (Aw), 63% of the State. Thornthwaite, four climatic types (E, D, C1 and C2) were identified, with a predominance of Semiarid climate (D), 85% of the state. Regarding the equivalence of the methods, it was observed low iteration between similar climatic types. However, the results show sensitivity to the input data used for the Thornthwaite classification, and it is possible to delimit small areas that have distinct geographic and physical characteristics of their surroundings, but this was not observed for Köppen.

**Keywords** – climate classification, Köppen, Thornthwaite

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), lucasfalcaomuniz@gmail.com, ticiane@ufc.br

<sup>2</sup> Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), marcelorodrigues@gmail.com

<sup>3</sup> Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), clirajr@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A classificação climática identifica e agrupa diversos elementos climáticos em uma combinação singular, de maneira a definir áreas com características climáticas relativamente uniformes em diversos lugares do planeta (Ayoade, 2003). Esse arranjo de informações delimitam as chamadas regiões climáticas que trazem em sua definição a potencialidade do meio físico em estudo, bem como indicadores do meio ambiente existente em determinada região. Contudo, a simples delimitação de áreas com climas uniformes não é o objetivo final de uma classificação climática, ao passo que informações obtidas por tal processo podem ser tomadas como subsídio para o planejamento específico de desenvolvimento sustentável de cada região.

No estado do Ceará, região localizada no Semiárido do Nordeste Brasileiro, os recursos hídricos são constantemente objetos de preocupação pelo poder gestor, afetando diretamente aspectos socioeconômicos do estado. A quantificação precisa da disponibilidade hídrica de uma região é essencial para a tomada de decisão quanto à quais tipos de atividades econômicas poderão ser estimuladas para consubstanciar o desenvolvimento eficiente do estado (Jabloun e Sahli, 2008).

Ayoade (2003) define que existem duas abordagens fundamentais para a classificação climática: a classificação genética e a genérica (empírica). A abordagem genética faz uso dos fatores que determinam ou causam diferentes climas, como os padrões de circulação aérea, a radiação líquida e os fluxos de umidade. Na segunda, a classificação utiliza os próprios elementos climáticos observados, ou seus efeitos sobre outros fenômenos. Como os controles de clima são mais difíceis de mensurar, além de haver escassez de dados, a maior parte das classificações climáticas utiliza a abordagem empírica.

Dos numerosos modelos de classificação que adotam a abordagem empírica cabe destacar Köppen, desenvolvido entre 1900 e 1936 e Thornthwaite apresentado em 1948, os dois métodos utilizam dados de precipitação e temperatura, e são métodos amplamente difundidos e estudados.

Entretanto, as séries históricas de precipitação e temperatura disponíveis em estações meteorológicas são normalmente restritas, escassas e pouco especializadas, especialmente para o estado do Ceará.

Dessa forma, este trabalho procurou aplicar distintos métodos de classificação climática, (Köppen e Thornthwaite) para o estado do Ceará, fazendo uso de uma densa rede de dados de precipitação e temperatura, utilizando os parâmetros de precipitação disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e de temperatura disponibilizados pelo *Climate Research Unit (CRU)*, visando verificar a sensibilidade dos métodos aos dados utilizados.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Ao analisar o levantamento bibliográfico, percebe-se que há dificuldade na definição de uma classificação climática satisfatória para todas as regiões do planeta. Entretanto, o entendimento do processo de cada metodologia com suas respectivas limitações são fundamentais para que se haja o encaixe do método mais conveniente para determinada região.

A importância unânime de se realizar uma classificação climática esta na possibilidade de sintetizar todos os elementos climáticos em tipos climáticos e com isso agrupá-los por tipos uniformes, possibilitando o mapeamento dos limites de regiões climáticas (Ayoade, 2003).

Nóbrega (2010) relata que os Sistemas de Classificações Climáticas (SCC) são abordados de maneira multidisciplinar variando em função dos objetivos. Macmahon *et al.* (1992) e Pell *et al.*

(2004) realizaram classificações com o objetivo de agrupamento de rios em função do clima em todo planeta. Pell et al (2007) apresentaram uma classificação mais robusta, utilizando o método de Köppen-Geiger com 12.396 postos pluviométricos e 4.844 postos de coleta de temperatura em todo planeta. Zang et al. (2008) utilizou apenas a evapotranspiração para caracterizar bacias hidrográficas.

Na mesma linha que se seguiu este trabalho, Sá Júnior (2009) utilizou Köppen-Geiger na delimitação climática do Estado de Minas Gerais. Andrade Júnior *et al.* (2005) utilizou o índice de umidade de Thornthwaite para apresentar uma nova proposta de classificação climática e regionalização da região semiárida do Piauí e Nobrega *et al.* (2016) realizou o balanço hídrico, cálculo do índice de aridez e a classificação climática para a bacia do Rio Pajeú utilizando o método de Thornthwaite-Mather.

A necessidade de espacialização de dados climáticos pontuais é fundamental aos trabalhos de classificação climática. Entretanto, a escassez de postos meteorológicos distribuídos no território cearense pode gerar erros na homogeneização final. O uso da extrapolação dos dados dos 12 postos meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) existentes no território cearense poderia levar a desconsideração de microclimas gerados por variações topográficas, geográficas ou outros aspectos físicos.

Para contornar essa situação, optou-se por calcular a climatologia da precipitação disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), que atualmente conta com 934 postos monitorados diariamente e permite fácil acesso ao seu banco de dados por meio da página eletrônica <http://www.funceme.br>.

Alguns pesquisadores no Brasil e no mundo, vêm procurando contornar essa escassez de parâmetros e passaram a utilizar dados advindos de radares e estações que registram dados por meio de grades de informações meteorológicas (Kitzmilller *et al.*, 2013).

Especificamente para o CRU, que possui dados em grade interpolados das estações meteorológicas que reportam a Organização Meteorológica Mundial (OMM), Trenberth *et al.* (2007) avaliou tendências de longo prazo dos dados meteorológicos em grade, destacando suas anomalias e comparando-os com um conjunto de parâmetros de outra base de dados, obtendo bons resultados.

Com a mesma finalidade de contornar a inexistência de dados massivos na região da bacia do rio Madeira, Ribeiro et al. (2008) utilizou as informações de precipitação do CRU para corrigir a precipitação diária do modelo global COLA. Nobrega et al. (2011) utilizou dados do CRU como condições de contorno para delinear a construção de linha base para comparação com resultados de cenários de modelos climáticos globais.

Dessa forma, os dados do CRU já são utilizados de maneira difundida por pesquisadores de diversas áreas. Para esse estudo os dados em grade do CRU foram utilizados para servir de alternativa na utilização dos parâmetros de temperatura.

## METODOLOGIA E DADOS

A Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2011), recomenda no seu guia a utilização da série histórica de 1981 a 2010 para fins de classificação climática. A FUNCEME dispõe no território do estado do Ceará, 595 possuem séries com poucas ou sem nenhuma falha, disponíveis para o período recomendado, sendo possível atingir uma boa densidade de postos e abrangendo satisfatoriamente o estado do Ceará, como pode ser verificado na figura 1.

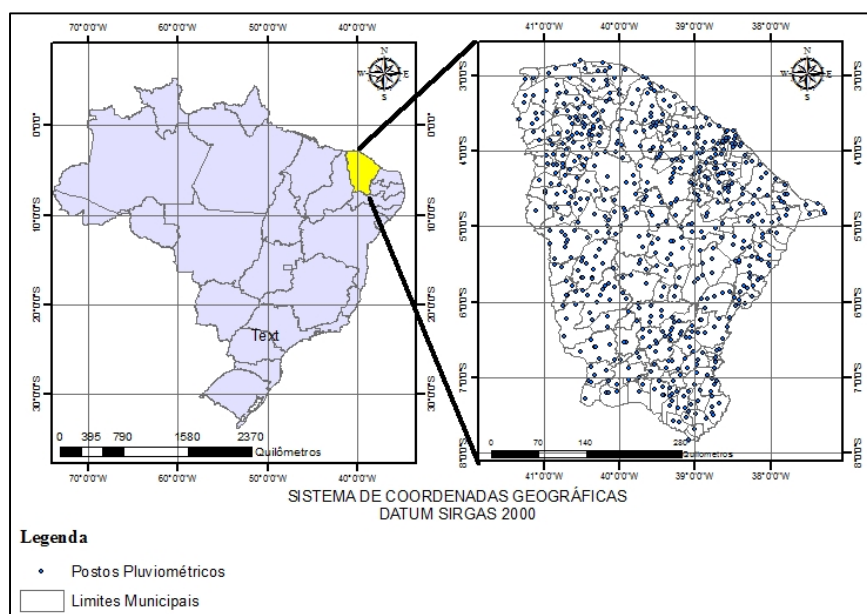


Figura 1 – Mapa de localização das estações pluviométricas utilizadas no estado

Além da precipitação acumulada média anual, os métodos de classificação climática de Köppen e Thornthwaite utilizam também a temperatura média anual. Os valores de temperatura foram obtidos através dos dados do CRU interpolados para as mesmas longitudes e latitudes dos postos pluviométricos da FUNCEME.

Para o cálculo das evapotranspirações médias mensais e anuais, fator essencial para a classificação climática de Thornthwaite, foi utilizado o método de Thornthwaite (1948).

Tal método de determinação da evapotranspiração utiliza além das médias de temperatura e precipitação, a capacidade de armazenamento de água do solo (CAD), Alexandre et al (2005) em estudo realizado para a FUNCEME, concluíram que para o estado do Ceará o CAD varia entre 45mm e 115 mm, valores estes utilizados para a determinação das evapotranspirações.

A partir da rede de postos pluviométricos foi realizada a espacialização dos dados de precipitação, visando à obtenção das chuvas médias anuais e mensais para todo o estado do Ceará. Devido à vasta extensão de postos optou-se pela interpolação utilizando o método da ponderação do inverso da distância ou *Inverse Distance Weighting* (IDW), utilizado por Rodrigues et al (2012) que encontrou bons resultados para a espacialização da chuva. A figura 2 apresenta o resultado da espacialização da chuva média anual e mensal para mês de abril.

Para a espacialização dos dados de evapotranspiração também foi utilizado o método IDW, mesmo método utilizado por Silva (2013) para o estado do Ceará. A figura 3 apresenta a espacialização da evapotranspiração média anual e média mensal para o mês de abril.

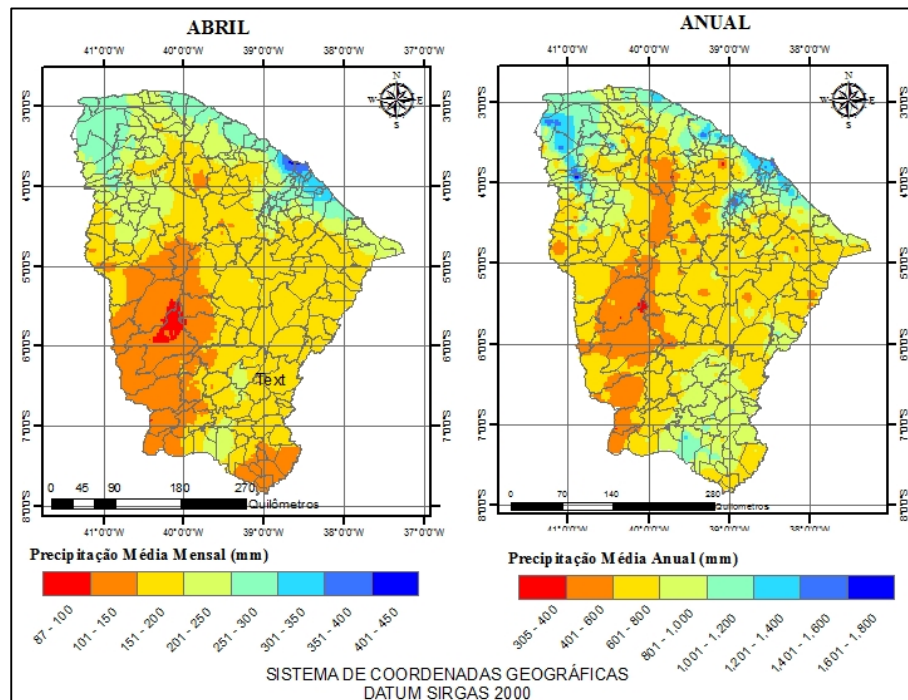


Figura 2 – Precipitação média anual e mensal para o mês de abril

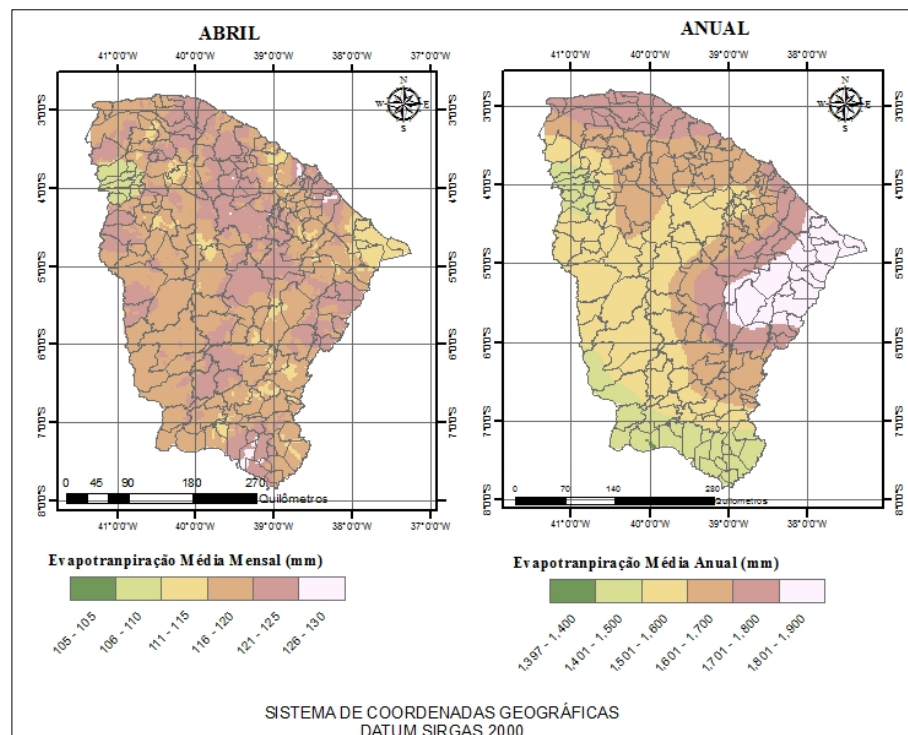


Figura 3 – Evapotranspiração média anual e mensal para o mês de abril

Para a determinação da classificação de Köppen foram utilizados os parâmetros propostos por (PEEL et al, 2007), quando realizaram a atualização das classificações de Köppen para todo o globo. No caso da classificação de Thornthwaite foram utilizados os parâmetros definidos por Thornthwaite (1948).

## RESULTADOS

A classificação climática de Köppen identificou três tipos de clima para o estado do Ceará, Aw, BSh e BWh, como pode ser verificado na figura 4. O clima Tropical com Inverno Seco (Aw) é predominante no estado e está presente em aproximadamente 63,7% do território cearense, esse clima foi percebido em toda a faixa litorânea e também em grande parte região sul e leste do estado.

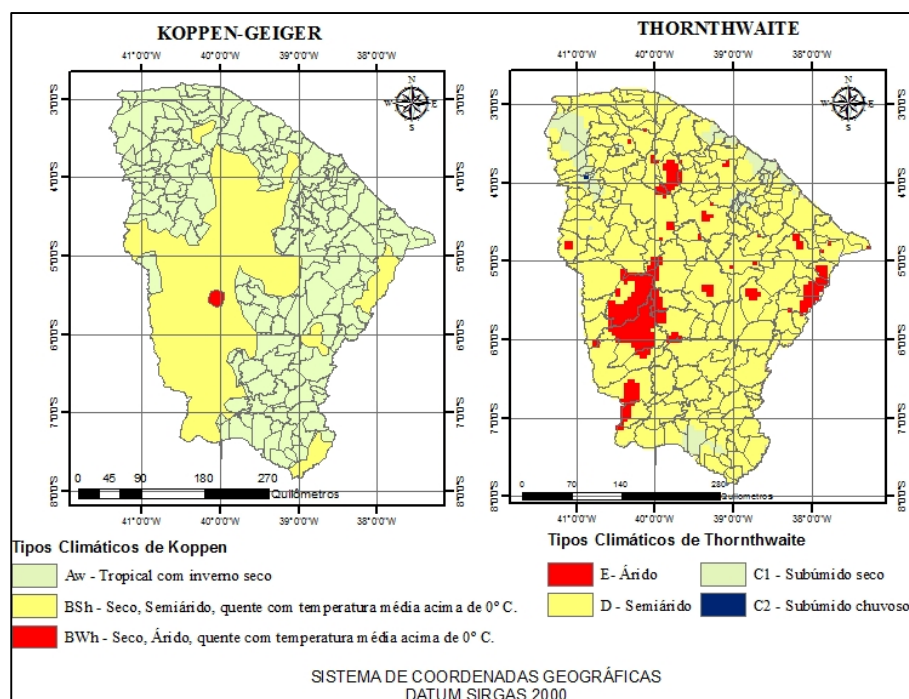


Figura 4 – Mapas de classificação climática de Thornthwaite e Köppen para o estado do Ceará

Na porção centro oeste do estado onde as precipitações podem chegar abaixo dos 600 mm anuais, e a evapotranspiração supera os facilmente 1.500 mm anuais, predomina o clima Seco, semiárido e quente com temperaturas médias acima de 0° (Bsh), que está presente em aproximadamente 36% do território estudado.

Representando a menor parcela dos tipos climáticos de Köppen para o Ceará, percebe-se o clima seco, árido, quente com temperaturas médias anuais acima de 0°C (BWh), tal tipo climático está presente em menos 0,5 % do território cearense, mais especificamente no município de Tauá e adjacências.

Com relação à classificação de Thornthwaite o estudo apontou quatro tipos climáticos, conforme apresentado na figura 4, apresentando regiões Áridas (E) até regiões com climas subúmidos chuvosos (C2). O clima com maior predominância no Ceará é o Semiárido (D), presente em diversas regiões do estado e ocupando aproximadamente 85% do território. Em seguida percebe-se o clima árido, presente em 8% do estado, seguidos pelo clima subúmido seco (C1), 5,68%, e em menor proporção o clima subúmido chuvoso (C2) com 0,04% de representatividade.

## CONCLUSÕES

Com relação à comparação entre os métodos foram percebidas grandes divergências no estado do Ceará. Os climas que possuem similaridades entre os dois métodos seriam Aw e C1 (Climas pouco úmidos), BSh e D (climas semiáridos) e por fim BWh e E (climas áridos).

Entretanto, o método de Köppen apresentou predominância do clima tropical com inverno seco (63,7%) e no caso do método de Thornthwaite prevaleceu o tipo semiárido (D), 85%. Demonstrando a baixa interação dos métodos entre classes climáticas semelhantes.

No tocante a sensibilidade da base dados, a classificação de Köppen não apresentou grande variação para as diferentes regiões do estado, não conseguindo perceber os microclimas em regiões com características geográficas e físicas peculiares, com pequenas exceções no município de Tauá e nas porções mais ao leste do estado.

Para Thornthwaite a delimitação do clima C1 mostrou-se bastante eficaz e sensível à precipitação, apontando climas diferentes nas regiões com topografia elevada, que historicamente são conhecidas por possuírem climas mais amenos e com precipitações médias mais elevadas que o restante do Estado, como é o caso do maciço de Baturité, da serra da Ibiapaba, da serra da Meruoca e da chapada do Araripe.

Com relação aos climas do tipo Árido (E) percebe-se alta sensibilidade à vasta extensão de dados, como é o caso do sertão dos Inhamuns, região que em alguns anos apresenta precipitação anual inferior aos 400 mm.

Assim, percebe-se que a classificação de Thornthwaite mostrou-se mais sensível a uma vasta rede de dados, sendo possível a delimitação de subclimas distintos em pequenas áreas de forma coerente, como é o caso dos climas subúmidos secos (C1) e dos climas áridos (E).

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, A. M. B., MARTINS, E. S., CLARKE, R. T., & REIS JR, D. S. (2005). Regionalização de parâmetros de modelos hidrológicos. In *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH.
- ANDRADE JR., A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A.H.C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. (2005). Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. *Revista Ciência Agronômica*, v. 36, n.2, pp. 143 – 151.
- AYOADE, J.O (2003). Dos Santos, Maria Juraci Zani. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 9 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- DA SILVA, M. G., ARRAES, F. D. D., LEDO, E. R. F., SANTOS, N. T., & DA SILVA FILHO, J. A. (2013). Avaliação da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith usando dados climáticos mínimos no sertão do Ceará. *Revista Agro@mbiente On-line*, 7(3), pp 284-293.
- JABLOUN, M.;SAHLI,A.(2008). Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. *Agricultural Water Management*, v. 95, n.6, pp.707-715.
- KITZMILLER, D.; MILLER, D; FULTON, R; DING, F. (2013). Radar and Multisensor Precipitation Estimation Techniques in National Weather Service Hydrologic Operations. *Journal of Hydrology*, v.18, n.2, pp. 133–142.

MACMAHON, T.A.; FINLAYSON, B.L.; HAINES, A.T.; SRIKANTHAN, R. (1992). *Global Runoff - Continental Comparisons of Annual Flows and Peak Discharges*. Catena Verlag – Cremlingen - Destedt, 166p, 1992.

NÓBREGA, R. S. (2010). Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.3, n. 1 pp. 18-22.

NOBREGA, M. T.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M; PAZ, A. R. (2011). Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.15, n. 2, pp.585–595.

NOBREGA, R. S.; RIBEIRO, E. P.; MOTA FILHO, F. O.; SOARES, D. B. (2016). Climatic water balance and climatic classification of the pajeu. *Journal of Environmental hydrology*. vol. 24, n. 2, pp. 1 -16.

PEEL, M.C.; MCMAHON, T.A.; FINLAYSON, B.L. (2004). Continental differences in the variability of annual runoff – update and reassessment. *Journal of Hydrology*, v. 295, n. 1, pp. 185–197.

PELL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 4, n.2, pp. 439-473.

RIBEIRO NETO, A.; SILVA, R.C.V.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. (2008). Simulação na bacia Amazônica com dados limitados: rio Madeira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 3, pp. 47-58.

RODRIGUES, M. T., RODRIGUES, B. T., & MONTE, B. E. (2012). Apreciação de métodos de interpolação em dados pluviométricos e sua distribuição espacial. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, pp 01-07.

SOUZA, S. A.; NÓBREGA, M. T (2013). Avaliação de dados do CRU TS em comparação com dados observados de pluviometria no Brasil (HIDRO-ANA). In XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Nov. 2013, pp.1-8.

SÁ JUNIOR, A. (2009). Aplicação da Classificação de Köppen para o zoneamento de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras – MG. 2009. 101p

THORNTHWAITE, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, v. 38, n.1, pp. 55-94.

TRENBERTH, K.E.; JONES, P.D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; PARKER, D.; RAHIMZADEH, F.; RENWICK, J.A.; RUSTICUCCI, M.; SODEN, B.; ZHAI, P.; MOTE, P.W. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ZHANG, L.; HONG, J.; XIAOHUA, W.; ZHU, Q.; LIU, S.; PENGSEN, S.; LIU, J. (2008). Evapotranspiration in the meso-scale forested watersheds in Minjiang Valley, West China. *Journal of the American Water Resources Association*. v. 44, n.5, pp.1154-1163.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2011). *Guide to climatological practices*. Geneva, 2011, 117 p.