

## Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana

Geraldo L. Diniz<sup>1</sup>

DMAT, ICET–UFMT, 78.060-900 – Cuiabá/MT.

Marcio Fonseca<sup>2</sup>

Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente,

ICET–UFMT, 78.060-900 – Cuiabá/MT.

José Holanda Campelo Jr.<sup>3</sup>

Depto de Solos, FAMEV–UFMT, 78.060-900, Cuiabá, MT

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo estudar e modelar o comportamento do regime de precipitação em dois municípios da baixada cuiabana/MT, com duas séries históricas: uma de 95 anos e outra de 20 anos. Com o auxílio das séries de Fourier e ajuste pelo método dos mínimos quadrados foi obtido um modelo matemático, elaborado a partir de uma função que melhor se ajustava aos dados fornecidos. O modelo comprovou a ocorrência de periodicidade no regime pluviométrico na área estudada. Foram comparados os picos de máximo e de mínimo da precipitação anual acumulada e foi percebida uma influência das mudanças climáticas. A obtenção de um modelo aproximado para a precipitação local favorece a previsão para os anos com maior ou menor precipitação, ajudando na elaboração de políticas públicas, tanto na área urbana como na área rural.

**Palavras-chave:** *Modelo matemático; ajuste de curvas; séries de Fourier; análise pluviométrica.*

## 1 Introdução

O homem começou a expandir a área para o cultivo de seus alimentos, quando passou a ter a preocupação de utilizar áreas agricultáveis para o seu próprio sustento e, com o conseqüente aumento populacional, veio à necessidade de aumentar a produção agrícola.

---

<sup>1</sup>gerald@ufmt.br

<sup>2</sup>marcioprof@yahoo.com.br

<sup>3</sup>campelo@ufmt.br

No Brasil, esse acontecimento remonta desde a colonização. Porém, nas décadas de 1970 e 1980, ocorreu uma expansão da área agrícola em direção às regiões Centro-Oeste e Norte, ocasionando um processo de desmatamento sem precedentes, ocupando áreas tanto no cerrado como na floresta, levando a alterações climáticas Steinke (2004).

Dentre essas alterações, encontra-se o ciclo das chuvas, que por sua vez, está ligado diretamente ao fluxo de calor latente e a evapotranspiração, os quais têm sido afetados continuamente pelo desmatamento, queimadas e o aumento dos gases do efeito estufa, mudando a característica hidrográfica nacional e regional.

As características atmosféricas de um determinado local são influenciadas pelas condições reinantes no lugar, resultantes da combinação de algumas grandezas físicas, denominadas elementos climáticos. Tais condições são denominadas de tempo meteorológico, popularmente chamadas de “condições do tempo” Ayoade (2002).

O clima seria em síntese: a generalização das diferentes condições de tempo prevalentes nesse lugar e considera um número bem maior de dados, como a frequência de alguns fenômenos meteorológicos mais comuns no local, além das condições médias de tempo.

O tempo varia em curto período cronológico, por exemplo, um dia. O clima, entretanto, varia de um local para outro, principalmente devido às variações da intensidade, quantidade e distribuição dos elementos climáticos, entre os quais, os mais simples de serem obtidos, e mais importantes, são a temperatura e a precipitação (Pereira et al., 2002).

De acordo com Bastos et al. (1997), a maior flutuação na radiação solar, na temperatura do ar e na umidade atmosférica está associada ao padrão das chuvas, verificando-se que, por ocasião do período mais chuvoso, ocorre redução na temperatura do ar, na radiação solar global, no brilho solar e aumento na umidade do ar, ocorrendo o oposto no período de menor pluviosidade.

A chuva é um elemento climático fundamental para as plantas, pois a água é elemento essencial para o crescimento, desempenha importante papel na fotossíntese e, portanto, na produção vegetal. Essa importância se torna maior nas regiões tropicais úmidas e na Amazônia porque, ao contrário das regiões fora dos trópicos onde o cronograma agrícola é determinado pela temperatura, o elemento regulador da agricultura é a chuva, dada a sua função na disponibilidade de água para as

plantas durante o ano.

O ciclo hidrológico é parte integrante do clima. O clima é fator determinante das características superficiais e atua na formação do solo, tipo de vegetação, tipo de relevo e sistema de drenagem. Concomitantemente, a superfície possui uma influência sobre o clima, através de fatores físicos e biológicos - no qual, destaca-se, a vegetação.

Esse conjunto de fatores determina a interação entre a umidade atmosférica, a precipitação, o escoamento superficial e o balanço de energia na forma de calor latente e sensível, apesar de Nobre e Shulka (1991), sugerirem que existe independência entre os processos de superfície e o clima.

Além da mudança da composição química da atmosfera, a influência humana também ocorre através das alterações físicas da superfície continental (Castanho, 1999). As alterações na troca de vegetação ou urbanização podem ter influências significativas no clima, sendo seus efeitos pouco conhecidos (Steinke, 2004). Portanto, é importante conhecer os efeitos das alterações da vegetação sobre o meio ambiente.

A absorção de energia solar na vegetação depende das dimensões do dossel (parte formada pela copa das árvores que formam o estrato superior da floresta, de acordo com a Resolução CONAMA 012/94) e da fração de cobertura e de solo nu.

Os dosséis altos e densos exercem um arrasto aerodinâmico, reduzindo o vento próximo à superfície e gerando turbulência que estimula a transpiração, a evaporação da precipitação interceptada e a difusão turbulenta de vapor d'água na camada limite planetária. A interação entre o tipo de solo e a vegetação é importante para hidrologia, infiltração da precipitação e escoamento superficial (Souza Filho et al., 2005).

O estudo da vulnerabilidade hidrológica em relação às mudanças climáticas se faz importante, pois essas mudanças não alteram somente as vazões dos rios, mas também os elementos que dão sustentabilidade ao meio ambiente, como a fauna e a flora. Ao longo do tempo, a modificação climática gera outros ambientes em função da ocorrência de maior ou menor precipitação, temperatura, umidade, etc.

Este trabalho está voltado ao estudo e modelagem da precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. Ajustando um modelo matemático aos dados, de modo a obter uma representação do comportamento da variação da pluviosidade

anual acumulada, que pudesse prever índices pluviométricos futuros num sentido mais qualitativo, isto é, em termos de previsões de secas mais prolongadas ou regime de chuvas acima do normal.

Desta forma, poderia servir como ferramenta de suporte aos órgãos de decisão para a adoção de políticas públicas preventivas, que envolvam questões ligadas a seca ou a inundação.

## 2 Caracterização da área de estudo

Os dados obtidos, se referem a dois pontos na Baixada Cuiabana/MT, o primeiro na cidade de Cuiabá, fornecidos pela estação meteorológica do 9º distrito do Instituto Nacional de Meteorologia–INMET, com latitude de 15°36' S e longitude de 50°06' W; altitude 176 m, e o segundo ponto, para a Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter, situada na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), em Santo Antônio do Leverger, latitude: 15°47'11" S; longitude: 56°04'17" W; altitude: 140 m, obtidos pelo Prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior<sup>1</sup>, fornecidos em uma comunicação pessoal. Ambos os pontos se localizam na região central do Brasil, denominada depressão cuiabana.

Esta área é caracterizada pelo clima tropical semi-úmido (tipo Aw<sup>2</sup>), com quatro a cinco meses secos e duas estações bem definidas, uma seca: outono-inverno e uma chuvosa: primavera-verão (cf. Maitelli, 1994).

Para Nimer (1979), as características regionais das chuvas são tipicamente tropicais, ou seja, máximas no verão e mínimas no inverno e se devem, quase exclusivamente, aos sistemas de circulação atmosférica, principalmente, aos três sistemas: o de correntes perturbadas de Oeste, de Norte e de Sul. Segundo este autor, os sistemas de correntes perturbadas de Oeste se caracterizam pela invasão de ventos de Oeste e Noroeste, no final da primavera e verão. Os sistemas de correntes perturbadas de Norte acarretam chuvas no verão e os sistemas de correntes perturbadas de Sul são representados pela invasão do anticiclone polar.

---

<sup>1</sup>Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Faculdade de Agricultura e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso.

<sup>2</sup>Segundo classificação do clima de Köppen, onde A indica que temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C, e w indica que a seca é bem definida.

A caracterização da pluviosidade da região se deve quase que exclusivamente ao sistema de circulação atmosférico. A pluviosidade média anual varia de 2.000 a 3.000 mm ao norte de Mato Grosso e de 1.250 a 2.200 mm no Pantanal Mato-Grossense.

Apesar dessa desigualdade, a região é bem provida de chuvas. Sua sazonalidade é tipicamente tropical, com máxima no verão e mínima no inverno. Mais de 70% do total de chuvas acumuladas durante o ano se precipitam de novembro a março. O inverno é excessivamente seco, pois as chuvas são muito raras.

### **3 Modelos para a precipitação**

A ocorrência de precipitação é um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência. As características de precipitação como a intensidade, a duração e a frequência variam de um local para outro e só podem ser determinados mediante análise estatística de uma longa série de observações dos seus registros históricos ou através da elaboração de um modelo teórico. Essas três características de precipitação variam conforme a latitude, longitude, tipo de cobertura do solo e época do ano.

Segundo Garcez (1974), não há possibilidade de se estender resultados obtidos em uma região para outra. Os estudos estatísticos permitem verificar com que frequência as precipitações ocorrem numa dada magnitude estimando as probabilidades teóricas de ocorrência das mesmas.

De acordo com Bernadara et al. (2007), a maioria dos modelos de disponibilidade de chuva na literatura é do tipo de fluxo, que são representações da variabilidade da intensidade e da quantidade de chuva em uma área e em determinado período.

As previsões de tempo, de acordo com Clarke e Dias (2003), são normalmente divididas nas seguintes escalas temporais: até 12 horas - muito curto prazo ou nowcasting; de 12 a 48 horas - curto prazo; até 10 dias - médio prazo e de 10 a 60 dias - longo prazo ou intrasazonal.

No Brasil as previsões de tempo tiveram um grande avanço com a introdução da análise numérica para o tempo, produzida através de computadores de alto desempenho, pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), órgão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Tanto o CPTEC, como outros

centros, utilizam-se de métodos estatísticos para previsões climáticas, porém com dificuldade no que se refere à regionalização e falha em condições não típicas.

De acordo com Assis et al. (1996), o comportamento de um evento climatológico ao longo do tempo deve ser considerado como resultante da ação de três componentes: a tendência, vários componentes periódicos ou cíclicos e a aleatoriedade. Segundo os autores, o principal objetivo da análise harmônica é isolar as componentes periódicas dominantes que expliquem o comportamento analisado. Assim, dessa análise pode resultar formas de ondas muito complexas resultantes da adição de várias harmônicas sucessivas.

Para esses autores ao considerar uma série de valores  $(y_1, y_2, \dots, y_t)$  representando certo evento climatológico, tal conjunto de dados pode ser representado por uma soma de ondas senoidais, ou harmônicas, tal que

$$y_t = \sum_{k=0}^m P_k \text{sen} \left( \frac{2k\pi t}{T} \right) + \sum_{k=m}^n Q_k \text{cos} \left( \frac{2k\pi t}{T} \right) \quad (1)$$

onde  $m = n/2$  se  $n$  for par, ou  $m = (n - 1)/2$  se  $n$  for ímpar, sendo  $n$  o número de observações da amostra e  $t$  a unidade de tempo.

A equação (1) é denominada série harmônica representativa da amostragem.

## 4 Método de ajuste para a série harmônica

O conhecimento das características climáticas, assim como as modelagens estudadas para o regime de precipitação em diversas pesquisas, demonstram a importância e a necessidade de se trabalhar com modelos matemáticos, em especial a série harmônica. Neste trabalho, foi feita a opção de trabalhar com uma série temporal, para os dados fornecidos da área de estudo.

Uma série temporal, também denominada série histórica, é uma seqüência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico.

A característica mais importante deste tipo de dado é que as observações vizinhas são dependentes e estamos interessados em analisar e modelar esta dependência. Ao analisar uma série temporal, deseja-se modelar o fenômeno estudado para descrever seu comportamento, fazer estimativas e avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, definindo relações de causa e efeito entre duas ou mais séries.

Existe um conjunto de técnicas estatísticas disponíveis que dependem do modelo definido, assim como do tipo de série analisada e do objetivo do trabalho. O problema está em achar uma curva que melhor se ajuste a um conjunto de pontos dados, no caso, os valores da precipitação.

De acordo com Poole (2004), ao se considerar uma coleção de pares ordenados obtidos em função de algum experimento, como  $\{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$ , dentre os processos matemáticos que resolvem tal problema, um dos mais utilizados é o método dos mínimos quadrados.

Para Burden e Faires (2003), dado um conjunto discreto de pontos  $\{(x_i, f(x_i)), i = 1, 2, \dots, n\}$ , o ajuste de curva pelo método de mínimos quadrados consiste em encontrar uma função  $\varphi(x)$  de tal forma que os desvios  $d_k = f(x_k) - \varphi(x_k)$  satisfaça a condição de que a soma  $\sum_{k=0}^n d_k^2$  seja mínima.

## 5 Resultados

Os dados foram organizados em duas planilhas, uma para a série de Cuiabá e outra para a série de Santo Antônio de Leverger, onde foi registrada a altura pluviométrica mensal, desde o ano de 1912 até o ano de 2006 (para a série de Cuiabá) e do ano de 1987 ao ano de 2006 (para a série de Santo Antônio de Leverger).

Com esse registro mensal foi obtida a precipitação anual acumulada. Após essa primeira organização, foram utilizados os dados de precipitação acumulada.

Foram calculadas as médias de cada grupo de precipitações (Cuiabá e Santo Antônio de Lerverger) no intervalo estudado e a totalização mês a mês. Com a somatória total de cada mês e a precipitação total de toda a série, foi calculada a representatividade de cada mês, em porcentagem, em relação à precipitação total para cada série, de modo verificar se havia periodicidade da precipitação ao longo

do ano, cujos resultados estão apresentados nas Figuras 1 e 2, a seguir.

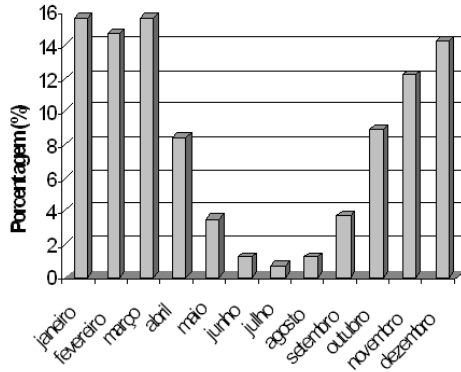


Figura 1: Histograma de porcentagem da precipitação acumulada mensal em Cuiabá (1912 a 2006)

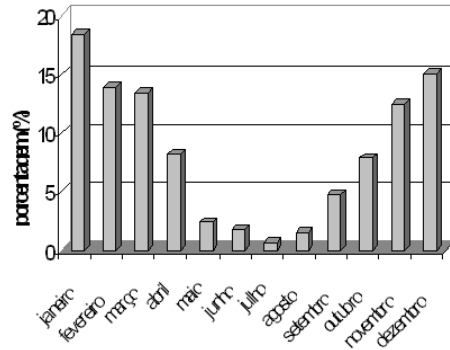


Figura 2: Histograma de porcentagem da precipitação acumulada mensal em Santo Antônio de Lerveger (1987 a 2006)

Foi calculada a Normal Climatológica que, segundo Pereira et al. (2002), é o valor médio incluindo os desvios para mais e para menos. Esse valor médio é calculado para um período mínimo de 30 anos, conforme estabelece a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) com base em princípios estatísticos.

Após o cálculo da Normal Climatológica, foram identificados os valores, acima e abaixo da faixa correspondente a média com o desvio padrão, identificando-os como picos de máximo e picos de mínimo. A partir dessa identificação, foi gerado em um único gráfico a dispersão para cada pico, junto com a Normal Climatológica e foram calculados os valores do coeficiente de determinação, representado por  $R^2$ , dado por  $R^2 = \frac{b^2 \sum x_i^2}{\sum y_i^2}$ , sendo  $b$  a inclinação (ou coeficiente de regressão) para  $x$ , representando o valor da variação de  $y$  (aumento ou diminuição) para cada variação de uma unidade em  $x$ .

O cálculo do coeficiente de determinação foi realizado para cada reta de regressão, esse cálculo foi realizado com o intuito de verificar a ocorrência ou não de uma mudança (climática) no regime de chuvas durante a série estudada, foi utilizada



uma regressão linear para os picos de máximo e de mínimo da precipitação anual acumulada.

Na Figura 3 é apresentado o gráfico para as regressões lineares obtidas para Cuiabá, dos picos de pluviosidade, conforme descrito acima.

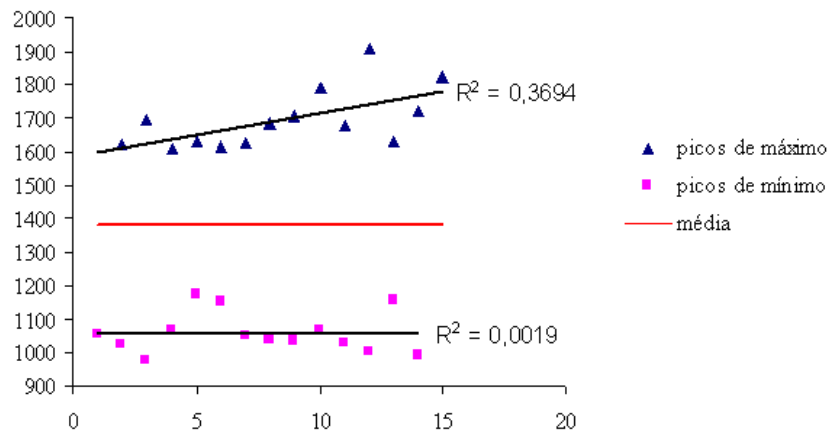


Figura 3: Picos de precipitação máxima e mínima em 95 anos

Para a precipitação acumulada de Cuiabá, a altura pluviométrica total registrada ao longo da série foi 131.110,6 mm, tendo como média 1.380,11 mm, uma variância de 44.161,42 mm<sup>2</sup> e desvio padrão de 210,14 mm. Sendo a menor altura pluviométrica registrada no ano de 1941 com 976,6 mm e a maior no ano de 1995 com 1.907,3 mm. A figura 5, mostra a dispersão dos dados da precipitação acumulada ao longo da série, juntamente com a curva de ajuste, obtida através do software Mathematica®.

Para a precipitação acumulada de Santo Antônio de Lerverger, a média ou Normal Climatológica obtida foi de 1.347,88 mm, com um desvio padrão de 268,81 mm, cujos valores estão compreendidos entre 1.028,20 mm no ano de 1987 e 1.905,60 mm em 1995. O diagrama de dispersão dos dados (ver Figura 5) sugere uma tendência de ciclo na precipitação acumulada.

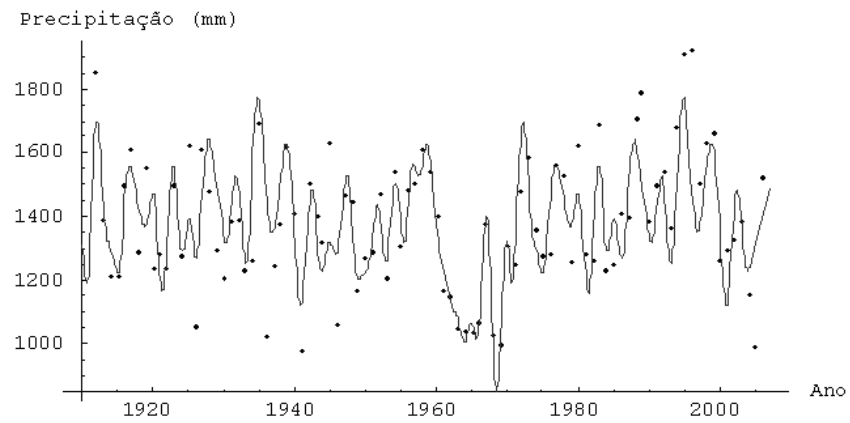


Figura 4: Curva de ajuste pela série de Fourier para a precipitação acumulada de Cuiabá (1912-2006)

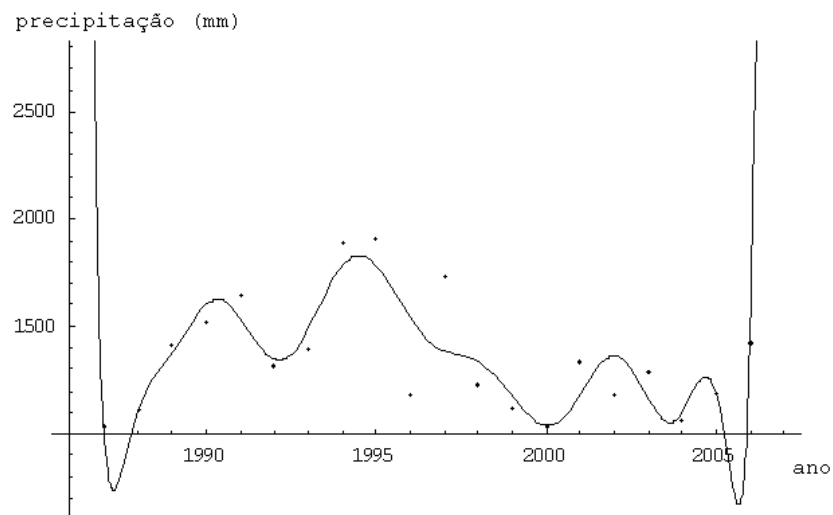


Figura 5: Curva de ajuste pela série de Fourier para a precipitação acumulada de Santo Antônio de Lerverger (1987-2006) – fonte: Prof. Dr. José Holanda Campelo Jr.

## 6 Considerações finais

Os métodos utilizados comprovaram haver uma periodicidade no regime de precipitação na área de estudo e os testes estatísticos demonstraram que não há variação significativa entre as duas localidades.

Nota-se que a pluviosidade anual acumulada aumentou ao longo da série, principalmente, a partir da década de 1970. Pela análise de regressão linear, o coeficiente de regressão demonstra a existência de mudança comportamental no pico de máximo da precipitação acumulada de Cuiabá. O que não acontece com o pico de mínimo, mantendo seu comportamento estável.

Essa mudança mostra que há alteração no ciclo hidrológico, com o conseqüente aumento dos picos de precipitação máxima, isso sugere que a região está sendo afetada pelas mudanças climáticas. Essa constatação merece uma investigação melhor, para outras regiões, de modo que se possa estudar se tais efeitos estão ocorrendo em escala global.

## Referências

- Assis, F. N., Arruda, H. V., e Pereira, A. R. (1996). *Análise Harmônica. In: Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática*. Ed. Universitária/UFPel, Pelotas.
- Ayoade, J. O. (2002). *Introdução a Climatologia para os Trópicos*. Bertrand Brasil, R. Janeiro.
- Bastos, T. X., Gomes, M. R. A., e Corrêa, M. (1997). Padrão climático e variabilidade das chuvas em tomé-açu e sua implicação para as culturas da pimenta-do-reino e cupuaçu. Anais de Embrapa Amazônia Oriental: JICA, EMBRAPA.
- Bernadara, P., de Michele, C., e Rosso, R. (2007). A simple model of rain in time: An alternating renewal process of wet and dry states with a fractional (non-gaussian) rain intensity. *Atmospheric Research*, 84:291–301.
- Burden, R. L. e Faires, J. D. (2003). *Análise Numérica*. Thomson Learning, São Paulo.

- Castanho, A. D. A. (1999). A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IF – USP, São Paulo/SP.
- Clarke, R. T. e Dias, P. L. S. (2003). As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos. Positon Paper, CT-HIDRO CGEE.
- Garcez, L. N. (1974). *Hidrologia*. Edgar Blücher, São Paulo.
- Maitelli, G. T. (1994). *Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT*. Tese de Doutorado, FAFILCH – USP, São Paulo/SP.
- Nimer, E. (1979). *E. Climatologia do Brasil*, volume 4. SUPREN/IBGE.
- Nobre, C. A. e Shulka, J. (1991). Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical atlantic and south america. *Journal Climate*, 9:2464–2479.
- Pereira, A. R., Angelocci, L. R., e Sentelhas, P. C. (2002). Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.
- Poole, D. (2004). *Álgebra linear*. Thomson Learning, São Paulo.
- Souza Filho, J. D. C., Ribeiro, A., Costa, M. H., e Cohen, J. C. P. (2005). Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da amazônia. *Acta Amazônica*, 35(2):223–229.
- Steinke, E. T. (2004). *Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos Recursos Hídricos e informação ao grande público*. Tese de Doutorado, ICB – UnB, Brasília/DF.