



Análise de Fourier e Wavelets aplicada à temperatura do ar em diferentes tipologias de ocupação

Maricéia T. Vilani¹ & Luciana Sanches²

RESUMO

Comumente, séries temporais de temperatura do ar são usadas nos estudos de clima devido à natureza temporal de seus sinais, que requerem investigações baseadas no espaço tempo-frequência a fim de revelar características espectrais em função do tempo. A transformada Wavelet fornece a representação precisa de um sinal em função do tempo e da frequência, simultaneamente, além de permitir analisar qualquer tipo de sinal ao qual a Série de Fourier se limita em determinadas análises. Desta forma, o presente trabalho fez uma análise da série temporal da temperatura do ar utilizando a série de Fourier e a transformada de Wavelet em quatro pontos, três de área urbana e um de área rural, em 2007. A intensidade de energia na alta escala de frequência para a temperatura do ar foi 24 h verificando-se potências significativas no decorrer do ano todo, nas escalas temporais de 2 a 32 dias, para os quatro pontos de estudo cuja variância mais acentuada foi no centro da área urbana.

Palavras-chave: microclima, série temporal, Wavelet de Morlet

Fourier analysis and Wavelet applied to air temperature in different types of occupation

ABSTRACT

Temperature time-series are commonly used to study the climate and due to the temporal nature of their signals, require investigations based on time-frequency space in order to reveal the spectral characteristics as a function of time and the Wavelet transform provides an accurate representation of a signal as a function of time and frequency simultaneously, as well as, to analyse any signal, to which the Fourier series is limited to certain tests. Thus, this study made a descriptive analysis using the monthly series of Fourier and Wavelet transform of the variable air temperature at four points of the study, three urban and one rural area, for the year 2007. For the variable air temperature it was found that the energy intensity in the high frequency was 24 and significant powers over the whole year was verified, in time scales from 2 to 32 days for the four studied points, whose variance is more pronounced at the center of urban area.

Key words: microclimate, time series, Morlet Wavelet

¹ UNIVAG. Av. Dom Orlando Chaves, 2655, Cristo Rei, CEP 78118-900, Várzea Grande, MT. Fone: (65) 9998-2175. E-mail: mtvilani@gmail.com

² Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, FAET/UFMT. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá, MT. Fone: (65) 3615-8735. E-mail: lsanches@ufmt.br

INTRODUÇÃO

No contexto atual de mudanças ambientais globais e climáticas, o conhecimento e as novas ideias são necessários sobre as modalidades de variações de processos ambientais (como exemplo, geofísico, hidrológico, ecológico) principalmente para distinguir e caracterizar as variações desses processos e as mudanças que os afetam (Rossi et al., 2011). Essas variações climáticas abrangem as regiões rurais e as urbanas tornando-as essenciais à compreensão dos problemas ambientais e urbanísticos que resultam da ocupação desordenada auxiliando na gestão e no planejamento urbano ambiental (Franco et al., 2010). Simulações vêm demonstrando um pequeno impacto da mudança climática sobre o incremento urbano (Mues et al., 2013), podendo afetar a saúde humana, ecossistemas, biodiversidade e recursos hídricos enquanto em áreas urbanizadas podem, ainda, afetar a infraestrutura urbana, tais como assentamentos e sistemas de água (Eum et al., 2013).

Entre as análises climáticas relativas às alterações no padrão global, sua detecção se destaca baseada em métodos de estatística de indícios de mudanças climáticas em longas séries temporais (ST), facilitando o melhor conhecimento da sua dinâmica temporal.

Entre as técnicas de análise de séries temporais de variáveis meteorológicas tem-se a série de Fourier, a transformada de ondeletas e as análises de ondeletas, como a morlet. A análise de Fourier (AF) tradicional, pode caracterizar o ciclo diário de brisas e outros fenômenos de menores escalas de frequência mas, a rigor, esta não é a melhor opção visto que tais sinais são característicos de fenômenos (não-estacionários) tipicamente caóticos tornando-se necessário, portanto, o uso da transformada de Wavelet (Blain & Lulu, 2011). Wavelets são funções que satisfazem a certos requisitos matemáticos e são usadas na representação de dados ou de outras funções. Elas utilizam a ideia de aproximação usando a superposição de funções; esta ideia tem sua origem no trabalho de Joseph Fourier, que no século XIX descobriu que poderia utilizar senos e cossenos para representar outras funções.

A transformada de Wavelet foi desenvolvida por Morlet na década de 80 (Rocha, 2008) que demonstrou as condições de ortogonalidade deste novo operador matemático oferecendo condições seguras para a aplicação da nova técnica. A ideia central da análise em Wavelet consiste em decompor um sinal a diferentes níveis de resolução, processo conhecido como multirresolução. A representação de multirresolução

fornece uma moldura hierárquica simples para interpretação de informação do sinal. As diferentes resoluções e os detalhes de um sinal geralmente caracterizam diferentes estruturas físicas do mesmo. Assim, a Wavelet é uma função capaz de decompor e descrever outras funções no domínio da frequência em diferentes escalas de frequência e de tempo, ou seja, em três dimensões (tempo, escala e intensidade de energia) tornando-se ferramentas poderosas para a análise de sinais e compressão de dados (Magalhães, 2007; Furon et al., 2008), inclusive na interpretação de dados complexos como o nível de atividade magnética solar (Johnson, 2010). A decomposição de uma função com o uso de Wavelets é conhecida como transformada de Wavelet e tem suas variantes, contínua e discreta. A Wavelet tem sido aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento por ser uma ferramenta qualitativa a serviço da ciência. As séries-temporais não-estacionárias são caracterizadas por possuírem média, variâncias etc., que variam em quaisquer segmentos tomados desta série (Bolzan, 2006; Rehman & Siddiqi, 2009).

Durante a última década tem-se constatado um interesse considerável na análise estocástica das tendências de temperatura. Esta atenção se concentra normalmente em séries temporais globais e hemisféricas. As análises das temperaturas globais são de importância óbvia mas é igualmente de interesse analisar as questões de aquecimento em uma microescala (Capilla, 2008).

Neste contexto o objetivo deste trabalho foi analisar a temperatura do ar por meio de séries de Fourier e Wavelets em três pontos localizados no município de Cuiabá e um ponto na cidade de Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, no ano de 2007.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido com dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas instaladas em três pontos na cidade de Cuiabá e um ponto na cidade de Chapada dos Guimarães, Mato Grosso. As características dos pontos de localização das torres meteorológicas estão descritas na Tabela 1. Em Cuiabá o clima apresenta duas estações definidas pela distribuição das chuvas: estação chuvosa (outubro a março) e estação seca (abril a setembro), segundo Gomes et al. (2012), que consideraram seis meses para cada estação, em função da média anual da precipitação das normais climatológicas de 1931 a 1969 e de 1961 a 1990.

Tabela 1. Descrição das características dos pontos de estudo

Cidade	Ponto	Coordenadas	Altitude	Descrição	Endereço
Cuiabá	Centro	15° 36' 1" S; 56° 5' 29" O	187 m	Área de alta densidade construtiva na zona central urbana	Rua Manoel Ferreira de Mendonça, n. 260, Bairro Bandeirantes
	SEPLAN/MT	15° 33' 59" S; 56° 4' 30" O	239 m	Área de média de densidade construtiva e próximo a lagoa Paiaгуás	Rua C, Secretaria Estadual de Planejamento, Centro Político Administrativo
	UNICAMPO	15° 45' 45" S; 56° 3' 57" O	202 m	Área rural do município	Estrada Cuiabá Santo Antonio de Leverger, km 15, sede do Unicampo
Chapada dos Guimarães	Chapada	15° 27' 32" S; 55° 45' 15" O	809 m	Área urbana de baixa densidade e clima característico de regiões serranas	Rua Penn Gomes, n. 89, Bairro Jardim Bom Clima

Os dados de temperatura do ar (T) foram obtidos por estações meteorológicas (modelo WM 918 com Dataloger e console Vantage Pro2 do Fabricante Davis Instruments) programadas para armazenamento de dados a cada 30 min instalados em cada um dos pontos em estudo, entre janeiro e dezembro de 2007.

Para a análise dos picos dominantes da série temporal foi utilizada a Série de Fourier, em que A_0 , A_n e B_n são os coeficientes de Fourier relacionados com as propriedades periódicas da função $f(x)$ em que, A_n e B_n são coeficientes representados pelas Eqs. 1 e 2.

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(nt) dt \tag{1}$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(nt) dt \tag{2}$$

No caso de função periódica, com o intervalo $[-\pi, \pi]$, $\sin x$ é ímpar e $\cos x$ é uma função par de x . Se $f(x)$ é constante, 0 será 0 se $f(x)$ for ímpar, para todo $B_n = 0$. Eqs. 3 e 4:

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos nx \quad (\text{par}) \tag{3}$$

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin nx \quad (\text{ímpar}) \tag{4}$$

Essas propriedades possuem intervalo de validade da função que varia de 0 a 2π . Para este trabalho a variável x seria o tempo; logo, a função $f(x)$ vale num intervalo correspondente ao número de dados dispostos ao longo do tempo. Segundo a teoria das séries de Fourier, se o intervalo de validade da função for de 0 a $2L$, em que $2L$ corresponderia ao número de dados disponível, pode-se escrever a Eq. 5, representada pelas Eqs. 6 e 7:

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos \frac{n\pi x}{L} + B_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right] \tag{5}$$

em que:

$$A_n = \frac{1}{L} \int_0^{2L} f(t) \cos \frac{n\pi t}{L} dt, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \tag{6}$$

$$B_n = \frac{1}{L} \int_0^{2L} f(t) \sin \frac{n\pi t}{L} dt, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \tag{7}$$

As Eqs. 6 e 7 são utilizadas na expressão analítica de $f(t)$. Para dados experimentais, que são discretos, ou seja, um dado em cada tempo, os coeficientes A_n e B_n podem ser calculados conforme Eqs. 8 e 9:

$$A_n = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{2L} f_j \cos \frac{n\pi j}{L} \tag{8}$$

$$B_n = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{2L} f_j \sin \frac{n\pi j}{L} \tag{9}$$

em que:

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$ f_j são os dados experimentais e L é a metade da largura do intervalo de dados. Os cálculos neste trabalho utilizaram as Eqs. 8 e 9.

Os períodos foram calculados pela Eq. 10:

$$P = \frac{\Delta t}{n} \tag{10}$$

sendo:

P - período, dias

Δt - quantidade de dias correspondente a cada série temporal analisada (com Δt aproximadamente 30, para séries de um mês)

n - ordem do coeficiente correspondente ao pico (Pinheiro & Paulo, 2011)

A Wavelet de Morlet foi utilizada para transformada de Wavelet, que pertence à família de Wavelets complexas não-ortogonais e é definida pela Eq. 11.

$$\psi(t) = \pi^{-0,25} e^{iw_0 t} e^{-1/2t^2}, \quad \text{para } w_0 \geq 5 \tag{11}$$

em que:

ψ - valor da Wavelet para um parâmetro não-adimensional

t e w_0 - frequência (fornece o número de oscilações dentro da própria Wavelet), conforme Torrence & Compo (1998) e Silva et al. (2010) adota-se $w_0 = 6$ para satisfazer a condição de admissibilidade, significando este valor que os erros devidos a médias não iguais a zero, são menores que os erros típicos de arredondamento e t refere-se ao período ou escala temporal de análise (adimensional)

Torrence & Compo (1998), Guedes et al. (2005), Landim et al. (2011), Beecham & Chowdhury (2010), Yi & Shu (2012) e Blain & Lulu (2011) descrevem que a Wavelet de Morlet pode ser entendida como função periódica cuja amplitude é modulada por uma gaussiana sendo que o envelope Gaussiano é definido pela segunda exponencial do produto da Eq. 11 enquanto a onda exponencial complexa é a primeira exponencial, definida como função de Wavelet básica.

Autores como Torrence & Compo (1998), Torrence & Webster (1999), Nakken (1998), Guedes et al. (2005) e Blain & Moraes (2011) utilizaram esta ondaleta-mãe na análise de séries temporais da precipitação.

No presente estudo a análise de Wavelet foi aplicada utilizando-se o algoritmo elaborado por C. Torrence disponível em <http://paos.colorado.edu/research/Wavelets>, na linguagem utilizada pelo Software Matlab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar (T) apresentou sazonalidade similar nos quatro pontos estudados, com maiores valores médios diários

durante os meses de início da precipitação (setembro-outubro) e menores valores durante julho-agosto (Figura 1).

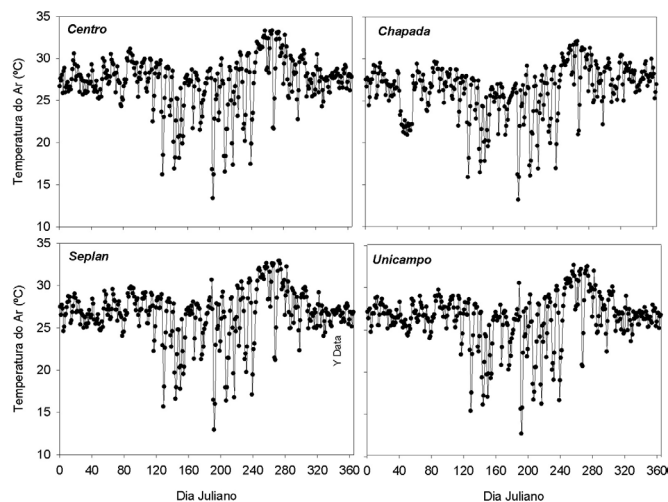


Figura 1. Média diária da temperatura do ar no Centro, Chapada, SEPLAN/MT e UNICAMPO em 2007

A temperatura do ar no Centro foi maior que nos demais pontos de estudo, tanto na estação úmida como na estação seca visto que, provavelmente, o centro da cidade pode ser considerado uma ilha de calor com maior quantidade de áreas edificadas e impermeabilizadas, além de maior tráfego de carros. As modificações dos parâmetros da superfície e da atmosfera pela urbanização alteram significativamente o clima local (Vilanova & Matielle, 2009) provocando alterações dos balanços de energia, de massa (de componentes atmosféricos) e de momento na interface atmosfera-superfície terrestre, o que conduz as modificações na camada limite atmosférica e as consequentes alterações dos processos meteorológicos (Gomes et al., 2012). Assim como quanto maior a concentração de usos, isto é, elementos contendo atividades industriais, comerciais e de prestação de serviços, maior também será a transmissão de calor e de poluentes para a atmosfera.

Áreas urbanas exercem influência nas distribuições de temperatura, nos padrões do vento e na qualidade do ar; apesar disto, as áreas urbanas podem afetar o desenvolvimento das nuvens e da precipitação e, dentre as causas de modificação da precipitação convectiva induzida pela urbanização, os estudos sugerem, na sua maioria, que a desestabilização atmosférica associada à ilha de calor urbana e à rugosidade da superfície é a mais significativa assumindo, em geral, maior importância do que aspectos microfísicos ou o aumento da umidade (Carraça & Colloier, 2008).

Na Figura 2 são apresentados os períodos dominantes do coeficiente A_n da temperatura do ar nos quatro pontos de estudo; no Centro, a maior amplitude foi 3,354 em janeiro e menor 0,294 em fevereiro, com período maior 1,758 correspondendo a 42 h em janeiro e a menor 0,284 (correspondendo a 7 h) também em janeiro. Quanto ao erro, o maior valor foi 0,346 em janeiro correspondendo à menor amplitude e ao menor erro 0,005 em outubro.

Na Chapada a maior amplitude 5,179 ocorreu em agosto e a menor 3,21 em janeiro, com maior período 3,875 (correspondente a 93 h) em agosto e menor 0,250 (correspondendo a 6 h) em

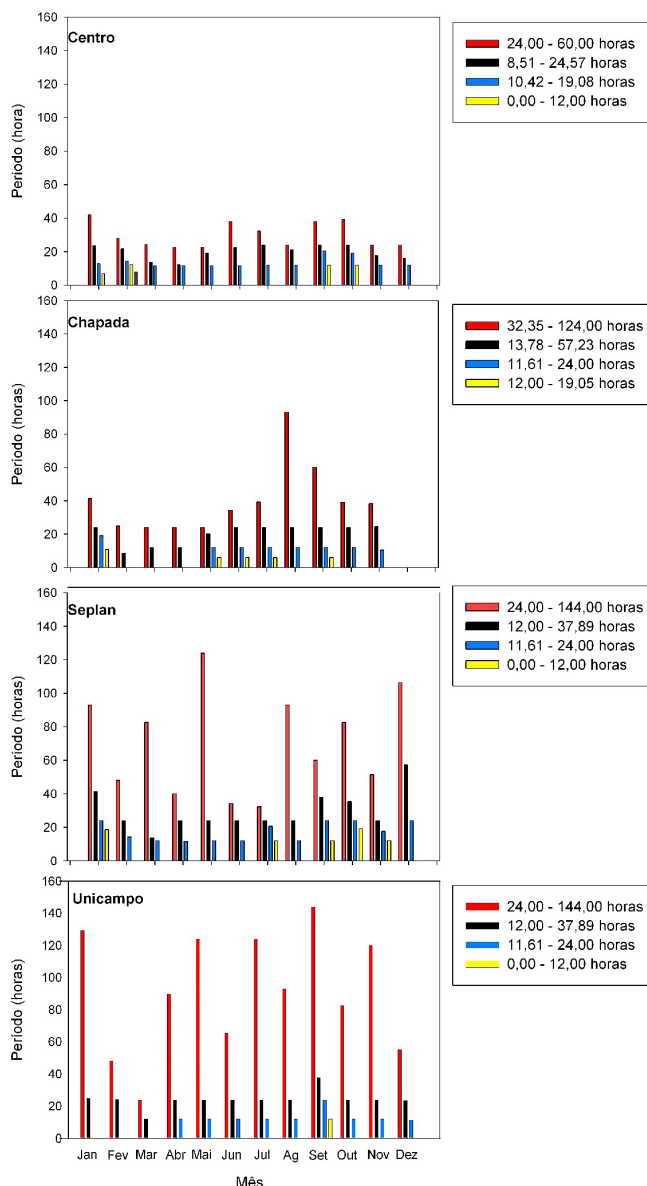


Figura 2. Períodos dominantes do coeficiente A_n (horas) da temperatura do ar no Centro, Chapada, SEPLAN/MT e UNICAMPO

maio e junho. O menor erro 0,001 foi observado em março com amplitude de 3,819. Na SEPLAN/MT o maior período foi 5,167 (que corresponde a 124 h) ocorrendo em maio e o menor 0,484 (que corresponde a 12 h) em abril, para a maior amplitude 3,233 em maio e menor 0,336 em fevereiro. O menor erro foi 0,009 em outubro. Na UNICAMPO, o maior período dominante foi de 6,000 (correspondendo a 144 h) em setembro e menor valor 0,484 (que corresponde a 12 h) em dezembro, em que a maior amplitude foi 3,362 em julho e menor de 0,279 em setembro, cujo menor erro foi 0,012 em março.

Observando as áreas dos pontos de estudo quanto aos picos dominantes do coeficiente A_n na temperatura do ar, a maior amplitude foi na Chapada em agosto e menor valor na UNICAMPO em setembro; entretanto, nos pontos Centro e SEPLAN/MT os menores valores foram em fevereiro. O maior período dominante foi 6,000 que corresponde a 144 h constatado em setembro no ponto UNICAMPO e menor valor

0,484 correspondente a 12 h em abril e dezembro nos pontos SEPLAN/MT e UNICAMPO, respectivamente. No Centro houve pico dominante 7 h em janeiro e no ponto Chapada 6 h em maio e junho às 12 h; o menor erro foi 0,001 em março na Chapada.

De acordo com Pinheiro & Paulo (2011), o erro tem influência na análise de pico de vez que, quanto menor o erro, mais influência tem o pico e mais significativa é a amplitude.

Na Figura 3 são apresentados os períodos dominantes do coeficiente B_n da temperatura do ar nos quatro pontos de estudo.

No Centro a maior amplitude foi 5,213 em agosto e menor 0,027 em fevereiro, em que o maior período foi 1,722 correspondendo a 41 h em dezembro e menor valor 0,250 correspondente a 6 h em agosto e setembro; quanto ao erro, o menor valor foi 0,003 em agosto, que corresponde ao valor da maior amplitude. Na Chapada o maior período foi 3,444

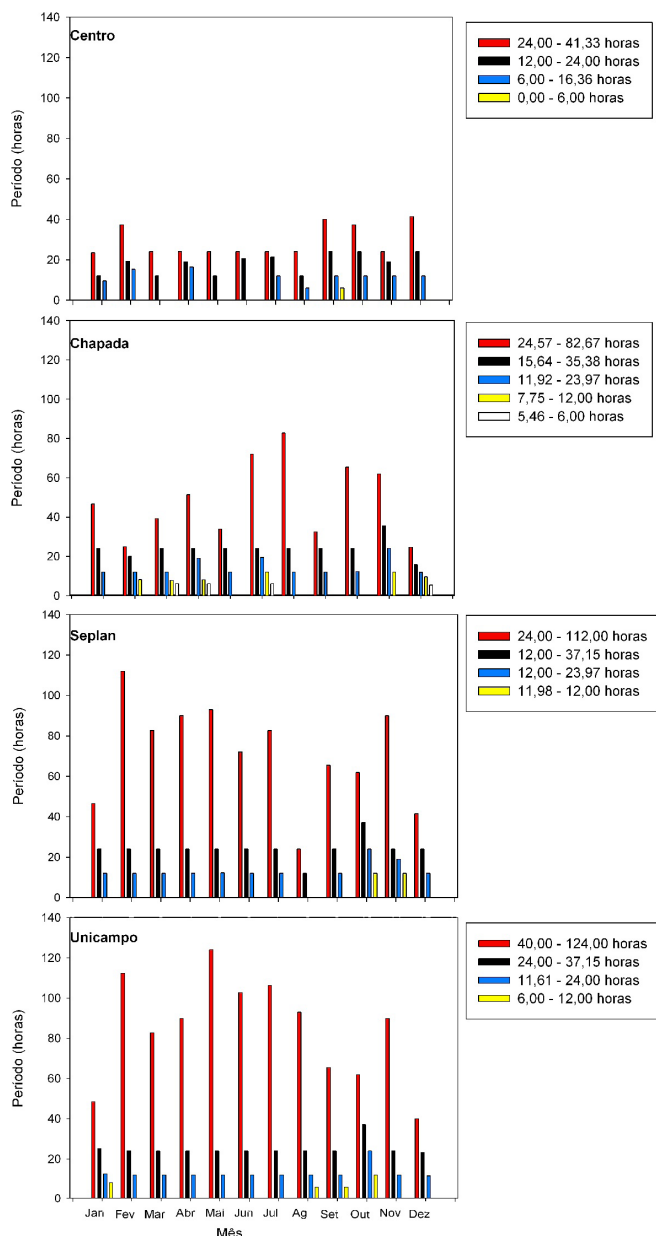


Figura 3. Períodos dominantes do coeficiente B_n (horas) da temperatura do ar no Centro, Chapada, SEPLAN/MT e UNICAMPO

correspondendo a 83 h em julho e menor 0,228 correspondendo a 5 h em dezembro, com maior amplitude 3,802 em junho e menor amplitude 0,186 em março, com menor erro 0,005 em junho. Na SEPLAN/MT o maior período foi 4,667 (112 h) em fevereiro e menor 0,499 (12 h) em outubro, a maior amplitude foi 5,233 em agosto e menor 0,081 em outubro, com menor erro 0,004 em abril. Na UNICAMPO o maior período foi 5,167 (124 h) em maio e menor valor 0,250 (6 h) em agosto e setembro com maior amplitude 5,248 em agosto e menor valor 0,389 em setembro com o menor erro de 0,005 em dezembro.

Ao comparar os pontos de estudo observa-se, quanto aos picos dominantes do coeficiente B_n da temperatura do ar, que o maior período foi 5,167 (124 h) em maio na UNICAMPO e menor valor foi 0,228 (5 h) em dezembro na Chapada. Da amplitude tem-se que o maior valor foi 5,248 em agosto nos quatro pontos de estudo e menor valor de amplitude 0,027 em fevereiro no Centro, com menor erro no valor de 0,003 em agosto no ponto Centro.

A Wavelet decompõe a série temporal no espaço de tempo e frequência simultaneamente, obtendo informações tanto da amplitude de qualquer sinal “periódico” dentro da série como esta amplitude varia com o tempo. Potência Global (GWP), no eixo das ordenadas (eixo y) se refere ao período em dias e o eixo da abscissa (eixo x) representa a variância (energia) associada com cada período em dias (Bolzan, 2004), em que é possível verificar a importância da análise de picos de variância espectral com base no espaço tempo-frequência. De forma semelhante à análise de Fourier, a GWP analisa o sinal apenas com base no domínio frequência indicando o ciclo diário conhecido.

No espectro de energia (WPS), o eixo x apresenta o comprimento temporal em dias da série, o eixo y os períodos em dias presentes na série e a escala de cores indica a energia associada a cada período da série. WPS indica a amplitude observada (níveis de cores) no tempo (eixo das abscissas), de acordo com o período (equivalente à frequência) que contribuiu para a série temporal. Contornos tracejados correspondem a valores de variância normalizados variando de 1 a 10, conforme representado na barra horizontal. Contornos sombreados englobam áreas com variâncias significativas a nível de 95% de confiança. Para WPS os picos significativos de variância foram indicados por contornos negros e a linha contínua em forma de cone variando em ambos os eixos. A região compreendida por esta linha foi denominada influência de cone (COI), em que o efeito da borda diminui a confiabilidade da análise, ou seja, os períodos fora deste cone devem ser negligenciados por não possuírem uma confiança estatística adequada.

A Figura 4 apresenta as aplicações de análises horárias de Wavelets em escalogramas tridimensionais (escala, tempo e intensidade de energia) no Centro, SEPLAN/MT, Chapada e UNICAMPO, da temperatura do ar.

A variável temperatura do ar para os quatro pontos de estudos tem grande intensidade de energia na alta escala de frequência 24 h com significância estatística, com potências temporalmente significativas de forma esparsa para o ano todo, com escalas temporais de 2 a 32 dias (WPS), com variância mais acentuada de GWP nos pontos Centro e Chapada (Figura 4). Esta frequência significativa de 24 h e que também pode ser vista em GWP, em que o ponto Centro apresenta uma

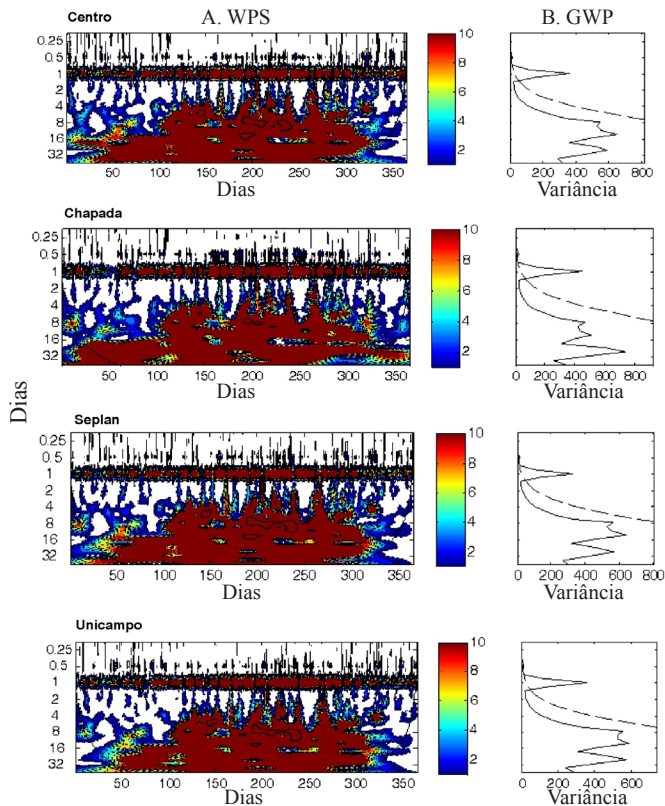


Figura 4. (A) Espectro Horário de energia local da Wavelet (WPS) da temperatura do ar; (B) Espectro Horário global de Wavelet (GWP), no Centro, Chapada, SEPLAN/MT e UNICAMPO de 2007

variância mais significativa em alguns pontos com maior valor que o ponto UNICAMPO. A frequência dominante de 24 h, que é observada no espectro de energia assim como na Potência Global, pode estar associada a outros fatores, como variação diária da radiação solar no período de 1 dia, pois ocorrem processos de inversão térmica. Quanto às variâncias significativas evidenciadas em GWP podem estar associadas ao clima local da área de estudo sendo que o ponto Centro possui temperatura do ar mais acentuada que o ponto UNICAMPO devido, provavelmente, ao evento das ilhas de calor serem de altas concentrações de fontes de calor.

A Figura 5 apresenta as aplicações de análises diárias de Wavelets em escalogramas tridimensionais (escala, tempo e intensidade de energia), no Centro, SEPLAN/MT, Chapada e UNICAMPO, da temperatura do ar.

Analisando a temperatura do ar observaram-se, em ambos os pontos de estudo, períodos dominantes variando entre 4 e 16 dias entre o DJ 100 (correspondendo a abril) e dos DJ 150 a 250 (correspondendo a junho a setembro). Nesta mesma escala temporal também houve período significativo de 64 dias entre os DJ 100 a 250. Esses picos significativos mencionados podem ser visualizados no espectro global (GWP), com maiores variâncias no ponto Centro, SEPLAN/MT e UNICAMPO (Figura 5).

CONCLUSÕES

1. Os elementos naturais e construtivos do entorno dos pontos demonstraram sua influência na variável temperatura do

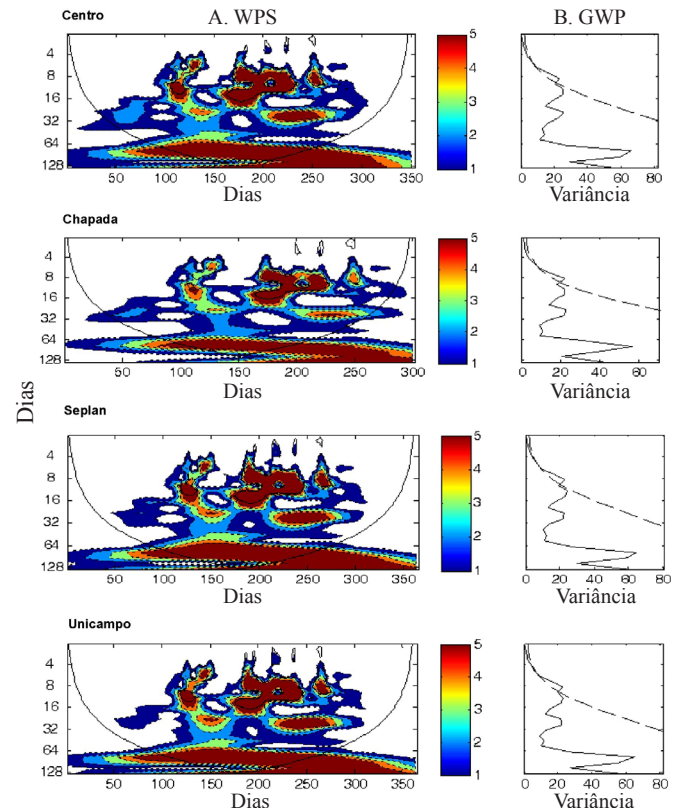


Figura 5. (A) Espectro diário de energia local de Wavelet (WPS) da temperatura do ar; (B) Espectro diário global de Wavelet (GWP), no Centro, Chapada, SEPLAN/MT e UNICAMPO em 2007

ar, com maiores médias anuais nos pontos mais urbanizados e as menores nas estações mais afastadas, observadas tanto pela análise de Fourier como pela Wavelets.

2. Ambas as análises indicaram os picos de frequência dominante; entretanto, as Wavelets apresentaram uma visão espacial com predominância na seca, que se torna ferramenta de análise robusta de séries-temporais em virtude da grande aplicabilidade.

LITERATURA CITADA

- Beecham, S.; Chowdhury, R. K. Temporal characteristics and variability of point rainfall: a statistical and Wavelet analysis. *International Journal of Climatology*, v.30, p.458-473, 2010.
- Blain, G. C.; Lulu, J. Valores anuais absolutos de séries diárias de temperatura máxima e mínima do ar no estado de São Paulo: Tendências, periodicidades e probabilidades associadas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, p.29-40, 2011.
- Blain, G. C.; Moraes, S. O. Caracterização estatística de oito séries de precipitação pluvial máxima diária da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, p.225-234, 2011.
- Bolzan, M. J. A. Transformada em ondeleta: Uma necessidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.26, p.37-41, 2004.
- Bolzan, M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicadas em sinal geofísico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.28, p.563-567, 2006.

- Capilla, C. Time series analysis and identification of trends in a Mediterranean urban area. *Global and Planetary Change*, v.63, p.275-281, 2008.
- Carraça, M. G. D.; Collier, C. G. Influência da morfologia urbana na distribuição da precipitação na Grande Manchester, cidades e alterações climáticas. Que futuro? In: Conferência Internacional de Lisboa, Anais... Lisboa: CEG, Universidade de Lisboa, 2008. p.15-16.
- Eum, J. H.; Schereb, D.; Fehrenbach, U.; Koppelt, J.; Wood, J. H. Integrating urban climate into urban master plans using spatially distributed information—The Seoul example. *Land Use Policy*, v.34, p.223-232, 2013.
- Franco, F. M. ; Souza, L.; Musis, C. R. de ; Nogueira, J. S.; Nogueira, M. C. de J. A. Configuração urbana e sua interferência no microclima local. In: Musis, C. R. de; Nogueira, M. C. de J. A. (org.). Contribuições ao estudo de conforto ambiental e sistemas urbanos na Grande Cuiabá. Cuiabá: EdUnic, 2010, v.2, p.21-44.
- Furon, A. C.; Riddle, C. W.; Smith, R.; Warland, J. S. Wavelets analysis of wintertime and spring thaw CO₂ and N₂O fluxes from agricultural fields. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.48, p.305-317, 2008.
- Gomes, F. D.; Sanches, L; Alves, M. de C.; Nogueira, M. C. de J. A.; Nogueira, J. de Souza. The relationship between meteorological variables and clearness index for four urban/suburban areas of Brazilian cities. *Journal of Environmental Science and Engineering*, v.1, p.1-12, 2012.
- Guedes, R. L.; Andreoli, R. V.; Kayano, M. T.; Oyana, M. D.; Alves, M. A. S. Série temporal de precipitação mensal de Fortaleza, Brasil: Comparação entre observações e dados de reanálise do NCEP/NCAR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, p.83-92, 2005.
- Johnson, R. W. Edge adapted wavelets, solar magnetic activity, and climate change. *Astrophysics and Space Science*, v.326, p.181-189, 2010.
- Landim, R. B. T. V.; Silva, D. F.; Almeida, H. R. R. C. Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de possíveis causas climáticas e antrópicas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.1, p.1-21, 2011.
- Magalhães, H. O. Análise de sinais para engenheiros: Uma abordagem via Wavelet. 1. ed., Rio de Janeiro: Brasport, 2007. 268p.
- Mues, A.; Manders, A.; van Ulft, L.H.; van Meijgaard, E.; Builtjes, P. Differences in particulate matter concentrations between urban and rural regions under current and changing climate conditions. *Atmospheric Environment*, v.80, p.232-247, 2013.
- Nakken, M. Wavelet analysis of rainfall-runoff variability isolating climatic from anthropogenic patterns. *Environmental Modelling & Software*, v.14, p.283-295, 1998.
- Pinheiro, M. R.; Paulo, S.R. Utilização da análise de Fourier no estudo de variáveis micrometeorológicas de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso. *Acta Amazonica*, v.41, p.39-46, 2011.
- Rehman, S.; Siddiqi, A. H. Wavelet based correlation coefficient of time series of Saudi meteorological data. *Chaos, Solitons and Fractals*, v.39, p.1764-1789, 2009.
- Rocha, V.B. Uma abordagem de Wavelets aplicada à combinação de previsões: Uma análise teórica e experimental. Curitiba: UFP, 2008. 155p. Dissertação Mestrado
- Rossi N.; Maseia, A.; Laignela, B. A synthesis of the time-scale variability of commonly used climate indices using continuous Wavelet transform. *Global and Planetary Change*, v.78, p.1-13, 2011.
- Silva, D. F. da; Sousa, F. A. S.; Kayano, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.324-332, 2010.
- Torrence, C.; Compo, Y. G. P. A practical guide to Wavelet analysis. *Bulletins of American Meteorological Society*, v.79, p.61-78, 1998.
- Torrence, C.; Webster, P. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system, *Journal of Climate*, v.12, p.2679-2690, 1999.
- Vilanova, S. R. F.; Maitelli, G. T. A importância da Conservação de áreas verdes remanescentes no Centro Político Administrativo de Cuiabá-MT. *UNICiência*, v.13, p.55-71, 2009.
- Yi, H.; Shu, H. The improvement of the Morlet wavelet for multi-period analysis of climate data. *Comptes Rendus Geoscience*. v.344, p.483-497, 2012.