



ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES

Análise espectral da temperatura média diária em cinco municípios no estado de Mato Grosso

Mestre Erondina Azevedo de Lima

Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Instituto de Física Universidade Federal de Mato Grosso. Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança. Cuiabá- MT. **E-mail:** erondinaazevedo@hotmail.com

Mestre Carolina de Rezende Maciel

Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Instituto de Física Universidade Federal de Mato Grosso. Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança. Cuiabá- MT. **E-mail:** carolhotmeio@hotmail.com

Mestre Stéfano Teixeira Silva

Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Instituto de Física Universidade Federal de Mato Grosso. Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança. Cuiabá- MT. **E-mail:** silva_stefano@hotmail.com

Doutor Carlo Ralph De Musis¹

Professor do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Instituto de Física Universidade Federal de Mato Grosso. Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança. Cuiabá- MT. **E-mail:** carlo.demusis@gmail.com

ARTICLE HISTORY

Received: 07 July 2012

Accepted: 22 December 2012

PALAVRAS-CHAVE:

Análise espectral
Temperatura do ar
Séries temporais

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise espectral das séries temporais dos dados de temperatura do ar (°C) referentes a 5 estações localizadas em 4 cidades do estado de Mato Grosso (Cáceres, Matupá, São José do Rio Claro e São Vicente) e 1 no estado de Goiás, junto à divisa com MT (Aragarças). O período compreendido foi de 10 anos (Janeiro de 2000 a Agosto de 2010). Por meio dos resultados da análise espectral pode-se observar que os períodos mais pronunciados

foram ciclos anuais (324,16; 353,23 e 389 dias) e semi-
anuais (185,23 e 176,81 dias) marcantes, próprios da
dinâmica mais estável da variável estudada.

KEY-WORDS:

Spectral analysis
Air temperature
Time series

**ABSTRACT – SPECTRAL ANALYSIS OF THE AVERAGE
DAILY TEMPERATURE IN FIVE MUNICIPALITIES IN MATO
GROSSO STATE.** The objective of this study was to
perform a spectral analysis of time series data of air
temperature (° C) for the five stations located in four
cities in the state of MatoGrosso (Caceres, Matupá, São
José do Rio Claro and São Vicente) and 1 in the state of
Goiás, near the border with MT (Aragarças). The period
was 10 years (January 2000 to August 2010). Through
the results of spectral analysis can be seen that the most
pronounced periods were annual cycles (324.16, 353.23
and 389 days) and semi-annual (185.23 and 176.81 days)
marked, characteristic of more stable dynamics of the
variable studied.

PALABRAS-CLAVE:

Análisis espectral
Temperatura del aire
Series temporales

**RESUMEN ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA TEMPERATURA
MEDIA DIARIA EN CINCO CIUDADES EN LA PROVINCIA DE
MATO GROSSO (MT).** El objetivo de este estudio fue
realizar un análisis espectral de las series temporales de
los datos de temperatura del aire (°C) referentes a cinco
estaciones ubicadas en cuatro ciudades de la provincia de
Mato Grosso (Cáceres, Matupá, Sao José do Rio Claro y
São Vicente) y una en la provincia de Goiás, cerca de la
frontera con MT (Aragarças). El periodo comprendido
fue de 10 años (Enero de 2000 hasta Agosto de 2010). A
través de los resultados del análisis espectral se puede
observar que los periodos más pronunciados fueron
ciclos anuales (324.16, 353.23 y 389 días) y semi-
anuales (185.23 y 176.81 días) marcantes, propios de la
dinámica más estable de la variable estudiada.

Introdução

As áreas urbanas concentram atualmente grande parte da população mundial e das atividades econômicas, sociais, culturais, o que resulta numa demanda e consumo crescentes de energia, água e outras matérias primas. Em âmbito mundial, de acordo com números divulgados pela ONU – Organização das Nações Unidas – em seu relatório intitulado Perspectivas Mundiais de Urbanização do ano de 2007, a quantidade de pessoas que vivem nas cidades atingiu a marca de 50% da população mundial pela primeira vez na história e destaca que o crescimento urbano deve continuar acontecendo.

No Brasil, 87% da população vivem organizadas em áreas urbanas, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). E, de acordo com projeções das Nações Unidas (ONU, 2008), em 2050, a população urbana mundial aumentará em duas vezes o valor da população referente a 2007, passando de 3,3 bilhões para 6,4 bilhões de pessoas.

O Estado de Mato Grosso, localizado na região central do Brasil, a partir da segunda metade da década de 1960, passou a ser considerado “Portal da Amazônia”, devido à sua posição estratégica de única alternativa de acesso por terra para ocupação da região norte do país. O intenso crescimento e a concentração populacional dos seus centros urbanos favoreceram o processo acelerado de mudanças ambientais, em função das alterações nas coberturas das superfícies do solo, (CALLEJAS et al., 2011).

Mato Grosso também está em foco atualmente devido à expansão agropecuária e as questões ambientais, alguns fatores têm contribuído como: desmatamento (ALVES, 2001), queimada (CUNHA, 1994) e crescimento agropecuário. (SIQUEIRA JUNIOR ET AL., 2001).

De acordo com Koenigsberger et al. (1973), o clima é o resultado dinâmico de fatores globais (latitude, altitude, continentalidade, etc), locais (revestimento do solo, topografia) e elementos (temperatura, umidade, velocidade dos ventos, etc) que dão feição a certa localidade. Para Ayoade (2002), a temperatura do ar em uma localidade pode variar com o decorrer do tempo conforme o local analisado. Em seu estudo, afirma ainda que a quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, à distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas podem influenciar na temperatura sobre a superfície da Terra ou parte dela.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise espectral das séries temporais dos dados de temperatura do ar (°C) de 5 cidades do estado de Mato Grosso, para o período de 10 anos (de 2000 a 2010).

Material e Métodos

O estudo foi realizado com dados diários de temperatura obtidos em cinco estações meteorológicas no Mato Grosso junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Estação Aragarças, Estação Cáceres, Estação Matupá, Estação São José do Rio Claro e Estação São Vicente da Serra).



Figura 1– Mapa de Mato Grosso com as cidades em estudo
Fonte: Adaptado de Google Earth (2012)

A figura 1 mostra a localização espacial dos municípios: Cáceres, Aragarças, São José do Rio Claro e Serra de São Vicente no Estado de Mato Grosso que foram definidos como área de estudo. Apesar da cidade de Aragarças pertencer ao estado de Goiás (GO), ela foi incluída neste estudo pela proximidade geográfica, pois a mesma localiza-se na divisa entre MT e GO (Tabela 1).

Tabela 1. Coordenadas geográficas e populações das cidades estudadas

Município	Localização geográfica	População
Aragarças	15° 53' 52" S, 52° 15' 3" O	18 436 hab
Cáceres	16° 4' 16" S, 57° 40' 44" O	87 912 hab
Matupá	10° 3' 25" S, 54° 55' 58" O	14 172 hab
São José do Rio Claro	13° 26' 49" S, 56° 43' 15" O	17 128 hab
Serra de São Vicente	15°50'5"S 55°30'30"O	*

Censo IBGE/2010

*Dados não encontrados no Censo do IBGE

Utilizou-se para a realização deste estudo dados diários de temperatura do ar coletados no período de janeiro de 2000 a agosto de 2010. As medidas de temperatura foram feitas por meio de sensores de temperatura do ar (°C) instalados em Estações Meteorológicas de Observação de Superfície do INMET.

Os dados foram organizados inicialmente em planilhas eletrônicas para depois serem submetidos à análise espectral. As falhas nos dados foram preenchidas por meio de médias aritméticas entre o dia anterior e posterior, naturalmente, este expediente é aceitável quando não há uma grande falha no registro dos dados (MARIANO, 2008).

A série de Fourier permite representar qualquer sinal periódico em uma somatória de ondas senoidais cujas frequências são múltiplos da frequência do sinal considerado.

As análises de séries temporais que se propõem a identificar as frequências de ciclos regulares – ou seja, não fractais, como a periodicidade diária da radiação solar ($1,16 \times 10^{-5}$ Hz) – geralmente são baseadas na análise de Fourier.

Comumente, na área das Ciências Ambientais, são empregados métodos que utilizam a chamada “transformada rápida de Fourier”, ou “fast Fourier transform” (FFT), tal como o “espectro de potências” (“powerspectra”) (BALDOCCHI, 1988, 1990, PLATT & DENMAN, 1975).

A série de Fourier como uma série de senos e cossenos pode ser dada pela Equação 1:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^L a_n \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) + \sum_{n=1}^L b_n \text{sen}\left(\frac{n\pi t}{L}\right) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde t é um instante de tempo, $f(t)$ corresponde à série temporal que representa os valores medidos (ao longo do tempo) de uma variável, L corresponde à metade do número de dados da série. Os coeficientes a_0 , a_n e b_n são característicos da série de dados coletados. Cada a_n e b_n correspondem a uma frequência específica, os coeficientes a_n e b_n podem ser calculados pelas Equações 2 e 3 respectivamente:

$$a_n = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{2L} f(t_i) \cos\left(\frac{i\pi n}{L}\right) \quad \text{Eq. 2}$$

$$b_n = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{2L} f(t_i) \text{sen}\left(\frac{i\pi n}{L}\right) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde $f(t_i)$ corresponde ao valor da medida de uma variável.

As componentes $a_n \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right)$ e $b_n \sin\left(\frac{n\pi t}{L}\right)$ são conhecidos como componentes harmônicos do sinal, e a_n e b_n correspondem as amplitudes das componentes harmônicas.

Por meio da magnitude dos picos foi possível identificar os períodos dominantes para cada série temporal estudada. O periodograma apresenta no eixo das abscissas a frequência e nas ordenadas o valor do periodograma calculado pela soma dos quadrados dos coeficientes do seno e do cosseno, em cada frequência, multiplicada por $N/2$.

$$I_n = \frac{N}{2} (A_n^2 + B_n^2) \text{ Eq. 4}$$

Resultados e Discussão

Estatística Descritiva dos dados

Inicialmente, foram as séries de dados para as 5 cidades foram analisadas por meio de estatística descritiva (Tabela 2).

Tabela 2. Temperatura do ar (°C) média anual e o desvio padrão, no período de 2000 a 2010

		<i>Aragarças</i>	<i>Cáceres</i>	<i>Matupá</i>	<i>São José do Rio Claro</i>	<i>São Vicente</i>
2000	Média	26,70	26,81	25,81	25,29	23,27
	Desvio padrão	2,26	3,51	2,62	2,36	3,39
2001	Média	26,92	27,06	24,46	25,03	23,68
	Desvio padrão	2,59	3,70	4,17	3,00	2,63
2002	Média	27,66	26,86	26,41	25,24	23,52
	Desvio padrão	2,29	3,97	2,71	2,94	3,66
2003	Média	26,43	26,92	26,25	25,40	23,73
	Desvio padrão	2,18	3,21	2,23	1,65	2,31
2004	Média	26,54	26,30	25,66	24,94	23,25
	Desvio padrão	3,51	4,22	2,89	2,88	3,02
2005	Média	27,28	27,05	26,37	25,43	23,27
	Desvio padrão	2,78	3,72	2,36	2,59	3,28
2006	Média	26,97	26,18	26,25	25,12	22,67

2007	Desvio padrão	2,30	4,47	2,29	2,89	3,72
	Média	27,53	26,32	26,59	25,19	23,39
2008	Desvio padrão	2,61	4,33	2,12	2,63	3,29
	Média	27,03	27,13	26,39	25,43	21,77
2009	Desvio padrão	2,67	3,47	2,14	2,63	3,62
	Média	27,03	27,24	26,32	25,30	23,30
2010	Desvio padrão	2,66	3,93	1,99	2,79	2,96
	Média	27,02	26,42	26,59	24,73	23,22
	Desvio padrão	2,23	3,86	1,96	3,22	3,88

Na tabela 2 está apresentada uma síntese dos dados por meio da média, desvio padrão e variância das 5 cidades em estudos. Pode-se observar que os valores mais altos de temperatura durante o período analisado foram registrados pelas estações localizadas nos municípios de Aragarças,GO e Cáceres, variando de 26,54°C (em 2004) até 27,66°C (em 2002). Os valores mais baixos de temperatura para os 10 anos foram todos registrados na estação de São Vicente, variando de 21,77°C (em 2008) até 23,73°C (em 2003).

Análise Espectral dos dados

As séries de dados de temperatura das cinco regiões em estudo foram submetidas a uma análise espectral, baseada na Transformada Rápida de Fourier. Para tal análise foi usado o software estatístico STATISTICA v7.0.61.0. A Figura 2 Série Temporal da Temperatura média do ar da região de Cáceres, no eixo horizontal estão representadas as frequências e, no eixo vertical, os valores do periodograma. A série temporal de temperatura da região de Cáceres apresentou média de 26,81°C com desvio padrão de 3,15°C.

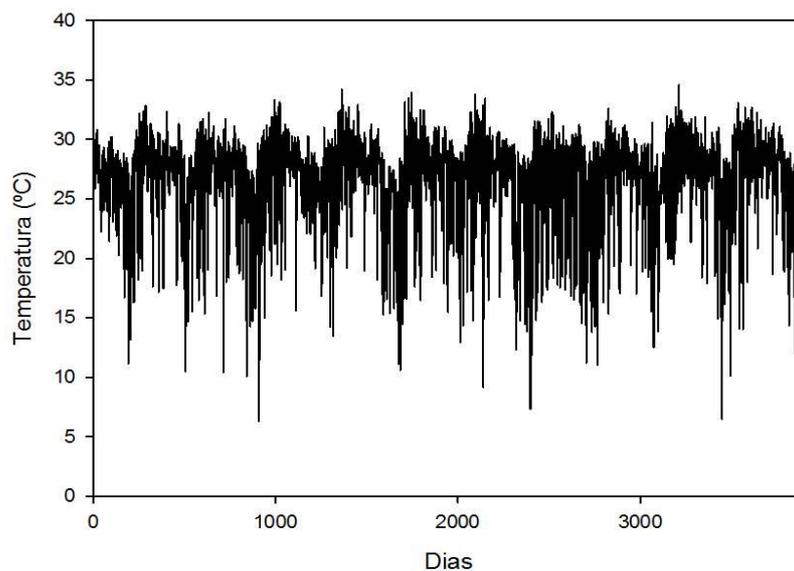


Figura 2 - Série Temporal da Temperatura média do ar da região de Cáceres

Os picos encontrados referem-se à dinâmica da variável dentro do sistema em que ela se encontra. Silva (2011) salienta para o fato de que poucos picos encontrados em uma série temporal demonstram que esta série possui poucos ruídos e que caracteriza bem a dinâmica da região.

Abaixo seguem os periodogramas dos 5 municípios estudados, onde é possível observar as principais periodicidades das séries temporais de temperatura de cada região.

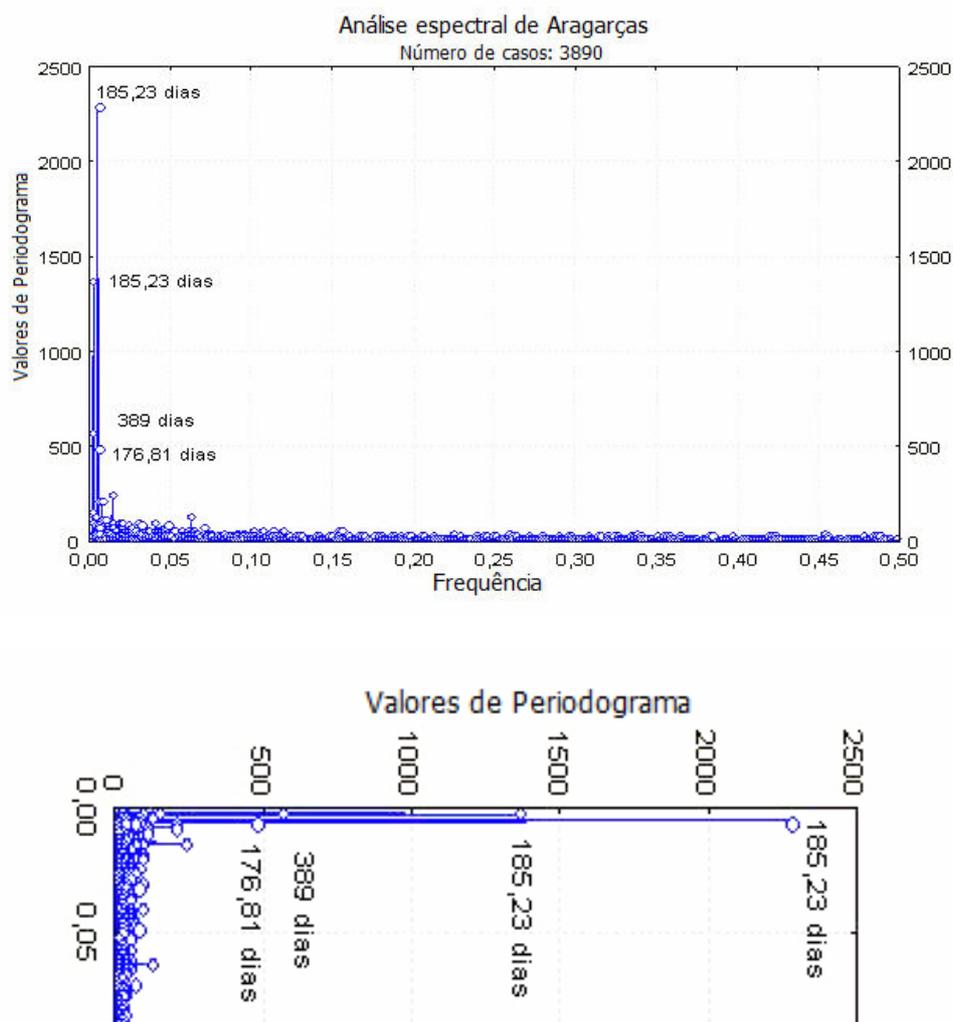


Figura 3 - Periodograma indicando os picos mais destacados para 3890 dados de temperatura para a cidade de Aragarças.

Para os dados provenientes da estação localizada em Aragarças,GO expostos na figura 3 (acima), constatou-se a presença de energia significativa nas frequências correspondentes a 185,23 dias; 389 dias e 176,81 dias. Os dados dos periodogramas apresentados indicam que a dinâmica do sistema climático das regiões estudadas é influenciada pelos ciclos anuais e semi-anuais. Isso pode caracterizar também que as regiões possuem duas estações muito bem definidas, e estações intermediárias com oscilações menores que as anuais e semi-anuais.

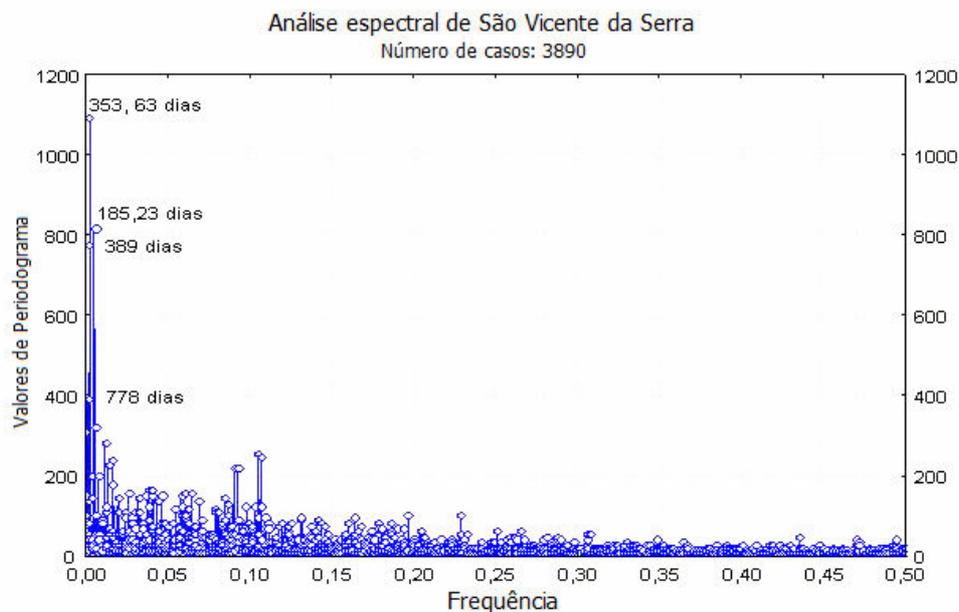


Figura 4 -Periodograma indicando os picos mais destacados para 3890 dados de temperatura para a cidade de São Vicente.

Já para a estação de São Vicente (figura 4), os períodos destacados pelos picos foram 353,63 dias, 185,23 dias; 389 dias e 778 dias.

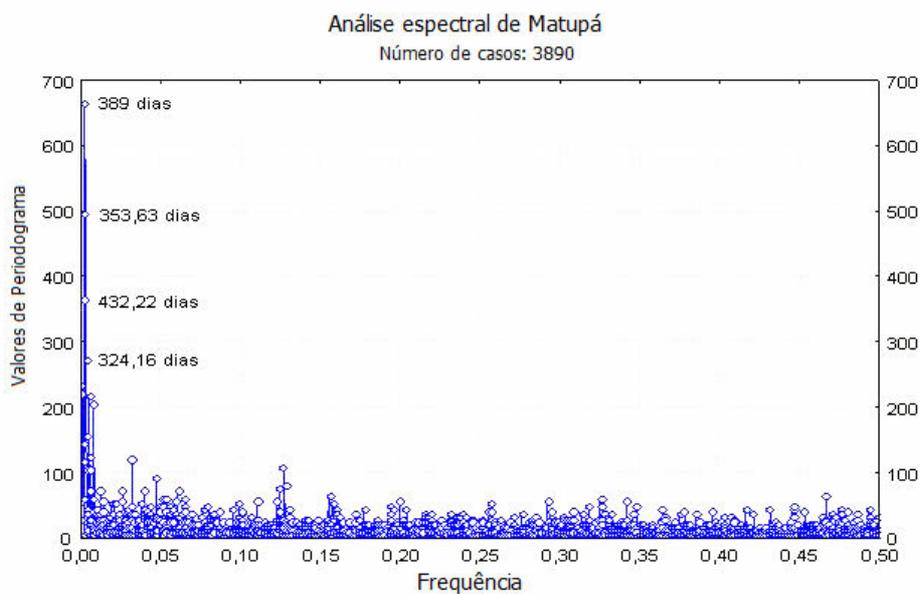


Figura 5 -Periodograma indicando os picos mais destacados para 3890 dados de temperatura para a cidade de Matupá

Para os dados da estação do município de Matupá (figura 5 acima), foram encontrados os valores de 389 dias; 353,63 dias; 432,22 dias e 324,16 dias.

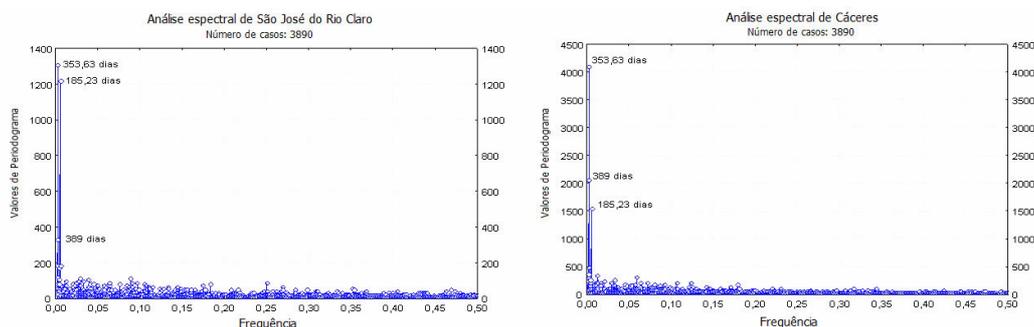


Figura 6 -Periodograma indicando os picos mais destacados para 3890 dados de temperatura para a cidade de São José do Rio Claro e Cáceres

Já para as séries provenientes das estações de São José do Rio Claro e Cáceres (figura 6 acima), foi verificada a presença da periodicidade de 353,63 dias; 369 dias e 185,23 dias. Possivelmente, os valores dos periodogramas são idênticos pelas aproximações matemáticas realizadas nos cálculos e pela dinâmica da temperatura que é uma variável mais comportada (com poucos ruídos de informação) caracterizando períodos idênticos dentro da dinâmica da região.

Conclusão

Pode-se concluir que por meio da aplicação da análise espectral nos dados diários de temperatura do ar das 5 cidades podem-se observar os períodos mais expressivos para cada município.

As periodicidades encontradas, em dias, foram de: 778; 432,22; 389; 353,63; 324,16; 185,23 e 176,81. A periodicidade anual (353,63 dias) aparece como a mais destacada para as regiões de Aragarças, Cáceres, São José do Rio Claro e São Vicente da Serra; o período de 389 dias aparece como o mais destacado no Município de Matupá, seguido do período anual.

As regiões apresentam ciclos anuais (324,16; 353,23 e 389 dias) e semi-anuais (185,23 e 176,81 dias) marcantes, próprios da dinâmica mais estável da variável estudada. Os ciclos de 432,22 dias em Matupá e 778 dias em São Vicente da Serra podem indicar que estas regiões possam estar sofrendo mudanças em sua dinâmica devido a fatores sazonais como o El Niño que é dessa ordem de grandeza.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INMET pelos dados disponibilizados para este trabalho e ao CNPq e à CAPES pelas bolsas concedidas para realização do doutorado.

Referências

- ALVES, D. S. Padrões de desmatamento na Amazônia Legal. **Parcerias estratégicas**, n 12, p 259-275, 2001
- AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 8.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 332p, 1v.
- BALDOCCHI, D. D; HICKS, B.B; MEYERS, T.P. – Measuring Biosphere-Atmosphere Exchanges of Biologically Related Gases With Micrometeorological Methods. **Ecology**, 69, 1331-1340, 1988.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: impacto no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações e previsões climáticas na agricultura**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Editora UFRGS, 2003. 110 p.
- CALLEJAS, I.J.A.; DURANTE, L.C.; OLIVEIRA, A.S.; SANTOS, F.M.M.; NOGUEIRA, M.C.J.A. Estudo comparativo de temperatura e umidade entre meio urbano e rural. In: **XI ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Búzios, RJ, 2011.
- CUNHA, A.S. Uma Avaliação da Sustentabilidade da Agricultura nos cerrados. **Relatórios de pesquisas IPEA**, 204p, 1994.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Pesquisas Geográficas. **Estimativas Populacionais 2010**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: mar/ 2011.
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, Alam; SZOKOLAY, S. V. **Manual of tropical housing and building**. Longman, London, 1973.
- MARIANO, R.T.G. **Análise Espectral de séries temporais de variáveis microclimáticas em uma área de ecótono entre os biomas Amazônia e Cerrado no norte de Mato Grosso**, 2008. 83p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- MEZZOMO, D.; DINIZ, G. B.; DA SILVA, J.B. Análise espectral da temperatura mínima média em dois trimestres numa região homogênea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.2, p. 121-132, 2007.
- PLATT, T. & DENMAM, K. L.. Spectral Analysis in Ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Vol. 6, p. 189-210. 1975.
- SILVA, S. T. **Consistência dos períodos dominantes das variáveis micrometeorológicas da floresta de transição no norte de Mato Grosso utilizando a Análise de Fourier**. Cuiabá, 2011. 99f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental).
- SIQUEIRA JUNIOR, J.C.; ESCADA, M.I. Utilização de técnicas de análise espacial no estudo da correlação entre expansão das áreas desflorestadas e da fronteira agropecuária no Estado de Mato Grosso. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 10. Foz do Iguaçu, abr. 2001. Anais. São Jorge dos Campos: INPE, 2001. Sessão Técnica Oral. p.503-508. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br> Acesso em 1/11/2012.