

ANÁLISE TEMPORAL DE DADOS CLIMATOLÓGICOS DE FEIRA DE SANTANA-BA: UMA ABORDAGEM COM MÉTODOS DA MECÂNICA ESTATÍSTICA

Andrea de Almeida Brito^{1,3}, Aloísio Machado da Silva Filho², Arleys Pereira Nunes de Castro¹, Gilney Figueira Zebende^{1,2}

Faculdade de Tecnologia Industrial SENAI CIMATEC¹
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS²
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA³

E-mails: britodea@gmail.com, aloisioestatistico@yahoo.com.br, arleys.castro@gmail.com,
gfzebende@hotmail.com

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze the temporal dynamics of climate data (temperature and relative humidity) of Feira de Santana (BA). In order to attempt this objective *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA, *Detrended cross-correlation analysis* – DCCA and DCCA cross-correlation coefficient. The results identified persistent behavior with DFA and DCCA, and the DCCA cross-correlation coefficient show negative cross-correlation for all time scales.

Keywords: Climatological data; Time series; Cross-correlation.

RESUMO

O objetivo deste artigo é analisar a dinâmica temporal de dados climatológicos (temperatura e umidade relativa do ar) do município Feira de Santana-BA de 27 de maio de 2007 a 30 setembro de 2010. A fim de cumprir tal objetivo, foram utilizados métodos conhecidos na literatura como métodos da mecânica estatística: *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA o *Detrended cross-correlation analysis* – DCCA o e coeficiente de correlação cruzada ρ_{DCCA} . Os resultados da presente pesquisa identificaram comportamento persistente com o método DFA e com o método DCCA e o coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA} constatarem correlação cruzada negativa entre a temperatura média em °C e umidade relativa do ar média (%) para todas as escalas de tempo.

Palavras-chaves: Dados climatológicos; Série temporal; Correlação cruzada.

1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade o homem se interessa por fenômenos climatológicos e atualmente com a dinâmica da sociedade que vivemos torna-se necessário um monitoramento contínuo de tais fenômenos. Quando os meios de comunicação informam as condições climáticas de uma região é informada geralmente a temperatura e umidade relativa do ar. A umidade relativa do ar de uma determinada região geográfica é uma variável que interfere diretamente nas condições de vida de seus moradores. Um decréscimo excessivo na taxa de umidade do ar pode proporcionar problemas de desidratação, sangramento nasal, dificuldade ao respirar, etc. E altas taxas de umidade relativa do ar podem gerar proliferação de fungos, tonturas entre outros problemas de saúde. A variação ou comportamento da umidade relativa do ar depende de diversos fatores, tais como cobertura vegetal, quantidade de edificações, proximidade de mares, lagos e rios.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a dinâmica temporal de dados climatológicos (temperatura e umidade relativa do ar) de Feira de Santana-BA de 27 de maio de 2007 a 30 de setembro de 2010. E para atender tal objetivo serão modelados métodos conhecidos na literatura como métodos da mecânica estatística: *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA [1] o *Detrended cross-correlation analysis* – DCCA [2] o e coeficiente de correlação cruzada ρ_{DCCA} [3].

O município de Feira de Santana trata-se de um município brasileiro do Estado da Bahia situado a 108 quilômetros de sua capital, Salvador, o qual se liga por meio da BR 324. Possui uma área de 1338,1 km² e uma população estimada, para o ano de 2014, de 612.000 habitantes. E segundo [4], Feira de Santana destaca-se pelo seu potencial de comércio e indústria. E de acordo com o mesmo autor a cidade tem também como característica um aumento significativo de prédios de grande e médio porte no centro e bairros adjacentes. Em relação à característica climática, Feira de Santana é uma cidade localizada em uma área de transição entre o clima úmido do litoral e a região seca do semi-árido [4].

Para contemplar o objetivo desta pesquisa, a próxima seção aborda os procedimentos metodológicos dos métodos quantitativos do universo da pesquisa. A terceira seção apresenta os resultados e discussões, e por fim, na quarta são apresentadas as conclusões.

2. METODOLOGIA

2.1 Método DFA – Autocorrelação

O método *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA idealizado por [1], pode ser modelado quando o interesse do pesquisador é mensurar e identificar autocorrelação (correlação do sinal com ele mesmo) de longo alcance em séries temporais em regime não estacionários. O DFA ou análise das flutuações sem tendência tem aplicação em diversas áreas do conhecimento tais como, em séries financeiras [5], biologia [6], em séries econômicas [7] entre outras.

A modelagem do DFA considera os seguintes passos [1]:

Passo 1 – Determina-se o desvio de cada ponto da série temporal em relação à sua média. Desta maneira, integrando o sinal u_i (série original) e obtendo-se a série integrada $y(k)$ por meio da seguinte expressão:

$$y(k) = \sum_{i=1}^k u_i - \langle u \rangle; k = 1, 2 \dots N.$$

em que $\langle u \rangle$ representa o valor médio de u_i e N o total de pontos da série temporal.

Passo 2 – Em seguida a série integrada $y(k)$ é dividida em intervalos de igual tamanho n não sobrepostos. E para cada intervalo de tamanho n , é ajustado um polinômio de grau maior ou igual a 1 a $y(n)$, denotado por $y_n(k)$.

Passo 3 – Em seguida a série integrada $y(k)$ é subtraída de $y_n(k)$ em cada intervalo de tamanho n . Com base na seguinte expressão:

$$F_{DFA}(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2}$$

e o cálculo anterior é repetido sistematicamente para diferentes amplitudes de tamanho n $\left(4 \leq n \leq \frac{N}{4}\right)$.

Passo 4 – Verificar se $F_{DFA}(n)$ tem comportamento do tipo $F_{DFA}(n) \sim n^\alpha$. Neste caso α denota o expoente de correlação de longo alcance.

Para séries temporais descorrelacionadas espera-se $\alpha = 0,50$, caso típico de séries aleatórias. Se $\alpha > 0,50$ pode inferir que a série apresenta comportamento persistente de longo alcance e para o caso em que $\alpha < 0,50$, espera-se um comportamento antipersistente. Com o expoente obtido com a modelagem do DFA, é possível avaliar em que medida a tendência observada na série temporal passada implica em manutenção do comportamento no futuro, podendo associar o resultado a um efeito de longa duração ou não na série temporal [8].

2.2 Método DCCA – Correlação cruzada

Existem situações em que o resultado de determinada série sofre interferência não somente dela mesma, mas também de outras séries, é nesse contexto que a análise da correlação cruzada é relevante [9]. O método *Detrended Cross-Correlation Analysis* – DCCA modelado por [2], é método estatístico capaz de estimar o expoente que caracteriza a correlação de longo alcance entre duas séries temporais, em regime não estacionário. O DCCA tem sido modelado em diversas áreas do conhecimento, com um número significativo de aplicações na área financeira e econômica. Uma das peculiaridades do método DCCA em relação a outros métodos de detecção de correlação cruzadas, é o fato deste ser capaz de retirar as tendências polinomiais que podem mascarar as verdadeiras correlações cruzadas [10]. De posse de duas

séries temporais $\{y_i\}$ e $\{y'_i\}$ com o mesmo número de observações N , para modelar o DCCA, devemos seguir os seguintes passos [2]:

Passo 1 – Integram-se as duas séries $\{y_i\}$ e $\{y'_i\}$ por meio das seguintes expressões:

$$R_k = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$$

$$R'_k = y'_1 + y'_2 + y'_3 + \dots + y'_n$$

em que $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

Passo 2 – Divide-se os sinais integrados R_k e R'_k em $(N - n)$ amplitude (com reposição) de tamanho n , cada um contendo $n+1$ valores. Para as duas séries temporais, em cada amplitude (que inicia em i e termina em $i+n$ calculamos as tendências em cada amplitude, isto é, $\tilde{R}_{k,i}$ e $\tilde{R}'_{k,i}$ ($i \leq k \leq i+n$) como sendo a ordenada do ajuste linear (Processo dos mínimos quadrados) da série somada ou integrada.

Passo 3 – Divide-se por meio do cálculo anterior a covariância dos resíduos em cada intervalo, ou seja,

$$f_{DCCA}^2(n, i) = \frac{1}{n+1} \sum_i^{i+n} (R_k - \tilde{R}_{k,i}) (R'_k - \tilde{R}'_{k,i})$$

Passo 4 – Calcula-se a função de correlação (*Detrended covariance*) expressa como:

$$F_{DCCA}^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^{N-n} f_{DCCA}^2(n, i)$$

Aplicando o procedimento supracitado em uma série temporal o DCCA será uma generalização do DFA [2]. Sendo assim, os procedimentos descritos anteriormente forem repetidos para diferentes tamanhos de n sistematicamente, é possível verificar a existência ou não de uma lei de potência:

$$F_{DCCA} \sim n^\lambda$$

em que λ denota o expoente de correlação cruzada. Na próxima seção, será apresentado o coeficiente de correlação cruzada ρ_{DCCA} , um coeficiente capaz de quantificar o nível de correlação cruzada em duas séries temporais, em regime não estacionário.

2.3 Coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA}

O coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA} modelado por [3], é um coeficiente que se destina a quantificação do nível de correlação cruzada, tendo como base o DFA e o DCCA. Segundo [3], o expoente obtido por meio do DCCA quantifica a correlação cruzada como lei de potência, mas não quantifica o nível da correlação cruzada.

O ρ_{DCCA} destina-se à estimação do coeficiente de correlação cruzada em diferentes escalas de tamanho n , cujo coeficiente possui campo de variação limitado entre -1 a 1 como outros coeficientes de correlação cruzada. Desta maneira, -1 denota anticorrelação perfeita e 1 a correlação perfeita. Por outro lado, o $\rho_{DCCA} = 0$ significa que não existe correlação cruzada entre os sinais. O campo de variação supracitado foi provado por [9], tendo como método de comprovação a *Desigualdade de Cauchy*.

O coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA} é definido como a relação entre a função de covariância sem tendência F_{DCCA}^2 e a função de variância sem tendência F_{DFA} , que pode ser denotado pela seguinte expressão [3], [11], [12] e [13]:

$$\rho_{DCCA}(n) = \frac{F_{DCCA}^2(n)}{F_{DFA1(n)}F_{DFA2(n)}}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa foi desenvolvida com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET da estação meteorológica automática de Feira de Santana (Alt. 231m; Lat. 12° 15' S; Lon. 38° 58' O). Os dados correspondem a 1.193 observações com duas variáveis, referentes ao período de 27 de maio de 2007 a 30 de setembro de 2010. Estes dados referem-se à temperatura em °C e a umidade relativa do ar (%), ambas registradas diariamente a cada hora do dia (Tabela 1).

Com o objetivo de avaliar o comportamento das variáveis objetos de estudo, calculamos algumas medidas descritivas (Tabela 1 e Tabela 2), considerando os registros diários a cada hora do dia. Após a análise descritiva, foi constatado comportamento semelhante nas variáveis temperatura e umidade relativa do ar. Em ambas variáveis, foi identificado comportamento assimétrico negativo na maioria das horas do dia o que indica concentração de observações acima da média. E, além disso, variabilidade relativa moderada ($8\% < CV < 30\%$) (Tabela 1 e Tabela 2). Por meio do excesso de curtose constatamos resultados adversos. Para a variável temperatura o coeficiente de curtose ou excesso de curtose identificou curva platicúrtica ($Curt < 0$) (Tabela 1). Já para a umidade relativa do ar a curtose oscilou em curva platicúrtica ($Curt < 0$) e leptocúrtica ($Curt > 0$) (Tabela 2).

Tabela 1 – Análise descritiva da variável temperatura (°C) do município Feira de Santana-BA, 27 de maio de 2007 a 30 de setembro de 2010.

Hora	Média (°C)	DP (°C)	CV (%)	AS	Curt
00:00	22,7	2,0	9,0	-0,1	-0,9
01:00	22,2	2,0	8,8	-0,2	-0,8
02:00	21,8	1,9	8,9	-0,2	-0,7
03:00	21,5	2,0	9,1	-0,3	-0,5
04:00	21,3	2,0	9,3	-0,3	-0,5

V WORKSHOP DE PESQUISA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (PTI)

I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA (SIINTEC)

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

05:00	21,1	2,0	9,5	-0,4	-0,5
06:00	21,0	2,0	9,6	-0,4	-0,4
07:00	20,8	2,0	9,7	-0,4	-0,3
08:00	20,7	2,0	9,8	-0,4	-0,2
09:00	21,0	2,1	10,0	-0,5	-0,2
10:00	22,5	2,2	9,6	-0,3	-1,0
11:00	24,0	2,3	9,5	-0,3	-1,0
12:00	25,4	2,4	9,6	-0,3	-0,9
13:00	26,6	2,6	9,9	-0,2	-0,8
14:00	27,6	2,9	10,5	-0,2	-0,9
15:00	28,3	3,2	11,2	-0,2	-0,9
16:00	28,7	3,4	12,0	-0,2	-1,0
17:00	28,8	3,7	12,7	-0,1	-1,0
18:00	28,5	3,7	12,9	0,0	-1,0
19:00	27,7	3,6	12,9	0,1	-0,9
20:00	26,5	3,2	12,1	0,2	-0,9
21:00	25,0	2,8	11,0	0,2	-1,0
22:00	24,1	2,4	10,0	0,1	-1,0
23:00	23,3	2,2	9,3	0,1	-0,9

Fonte: INMET. **Notas:** 1 - DP= Desvio padrão; CV=Coeficiente de variação; AS= Assimetria; Curt= Excesso de Curtose. 2 – Tanto a assimetria quanto a curtose foram definidas a partir dos momentos centrados na média.

Tabela 2 – Análise descritiva da variável umidade relativa do ar (%) do município Feira de Santana-BA, 27 de maio de 2007 a 30 de setembro de 2010.

Hora	Média (%)	DP (%)	CV (%)	AS	Curt
00:00	84,7	7,1	8,4	-0,6	-0,5
01:00	87,3	5,7	6,5	-0,7	-0,2
02:00	89,2	4,7	5,3	-0,8	0,1
03:00	90,6	4,2	4,6	-0,9	0,6
04:00	91,5	3,8	4,2	-1,0	0,8
05:00	92,2	3,6	3,9	-1,1	1,1
06:00	92,7	3,5	3,7	-1,3	2,0
07:00	93,1	3,3	3,5	-1,5	2,8
08:00	93,4	3,1	3,3	-1,6	3,6
09:00	93,2	3,7	4,0	-1,7	3,1
10:00	88,6	7,1	8,0	-0,6	-0,6
11:00	80,6	10,1	12,5	-0,2	-0,9
12:00	72,4	11,9	16,5	0,0	-0,9
13:00	65,5	13,1	20,0	0,2	-0,7
14:00	60,6	14,2	23,5	0,3	-0,6
15:00	57,5	15,5	27,0	0,4	-0,5
16:00	55,8	16,3	29,3	0,4	-0,6
17:00	55,5	16,9	30,4	0,4	-0,7
18:00	57,0	16,6	29,1	0,3	-0,7
19:00	60,6	16,1	26,5	0,1	-0,7
20:00	66,3	14,1	21,3	0,0	-0,7
21:00	72,8	12,2	16,8	-0,2	-0,9
22:00	77,5	10,7	13,8	-0,3	-0,9
23:00	81,4	8,9	11,0	-0,5	-0,8

Fonte: INMET. **Notas:** 1 - DP= Desvio padrão; CV=Coeficiente de variação; AS= Assimetria; Curt= Excesso de Curtose. 2 – Tanto a assimetria quanto a curtose foram definidas a partir dos momentos centrados na média.

Para um melhor entendimento das flutuações das séries, representamos graficamente a média diária, considerando o comportamento a cada hora do dia, com seus respectivos histogramas (Figura 1). Por meio da figura 1, é possível identificar comportamento não estacionário nas variáveis da presente pesquisa e uma relação inversa entre elas, ou seja, quando existe um pico na variável temperatura ocorre um sulco na umidade relativa do ar e tal comportamento será mensurado, a seguir, com o coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA} .

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

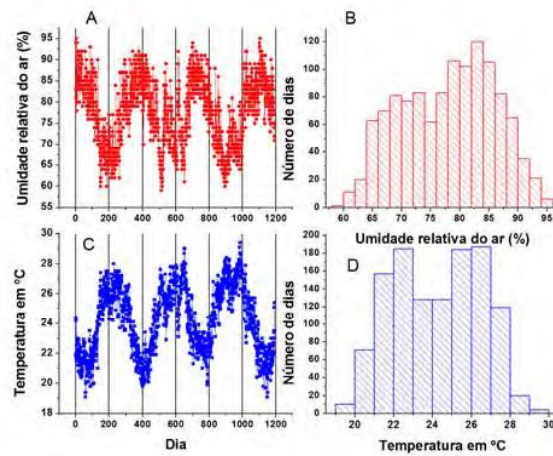


Figura 1 – Média diária da temperatura em °C e da umidade relativa do ar (%) do município Feira de Santana-BA, de 27 de maio de 2007 a 30 setembro de 2010. A – Umidade relativa diária do ar (%). B – Histograma da umidade relativa do ar (%). C – Temperatura média diária em °C. D – Histograma da temperatura em °C. Nota: Para o cálculo da média diária foram consideradas as informações a cada hora do dia. Fonte: INMET.

Para atender ao objetivo deste artigo, modelamos o DFA, DCCA e o coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA} nas séries temporais da temperatura média diária em °C e da umidade relativa média diária (%) do município de Feira de Santana-BA de 27 de maio de 2007 a 30 de setembro de 2010 (Figura 2).

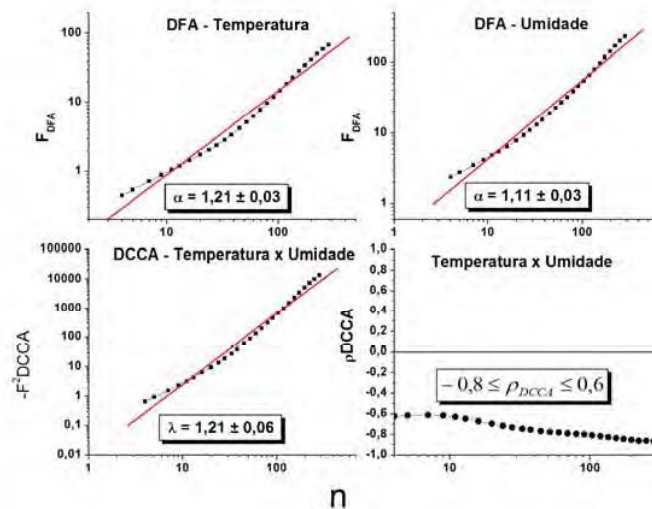


Figura 2 – Autocorrelação (DFA), correlação cruzada (DCCA) e coeficiente de correlação cruzada sem tendência nas séries temporais da temperatura média diária em °C e umidade relativa do ar média diária (%) do município de Feira de Santana-BA de 27 de maio de 2007 a

30 de setembro de 2010. Ajuste com $R^2 \geq 0,99$ e p-valor $< 0,001$. Nota: Segundo [2], quando a função de covariância sem tendência apresentar valores negativos podemos admitir $-F^2_{DCCA}$ para o cálculo do expoente de correlação cruzada.

O DFA identificou comportamento persistente e não estacionário nas séries objeto de estudo ($\alpha > 1$) (Figura 2). Sendo assim, caso exista uma tendência de crescimento ou decréscimo nas flutuações de tais variáveis esse comportamento tende a continuar ocorrendo em longo prazo.

A modelagem via DCCA identificou correlação cruzada negativa para todas as escalas temporais (Figura 2). Como o DCCA quantifica a correlação cruzada enquanto lei de potência e não mensura o nível da correlação cruzada, definimos também a correlação cruzada com o coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA} (Figura 2). E tal modelagem, como era esperado, constatou correlação cruzada negativa para todas as escalas de tempo n . E este resultado nos permite afirmar que existindo um aumento ou redução na temperatura existirá um aumento ou redução na umidade relativa do ar.

Realizamos o estudo da correlação cruzada considerando o comportamento das séries a cada hora do dia (Figura 3), com o objetivo de entender melhor a correlação entre as séries. A modelagem do ρ_{DCCA} considerando a informação a cada hora do dia identificou correlação cruzada negativa para todas as escalas temporais. Porém, tal resultado a depender da hora e escala temporal (n) em questão, apresentou valores diversos da análise com a média diária encontrada na figura 2.

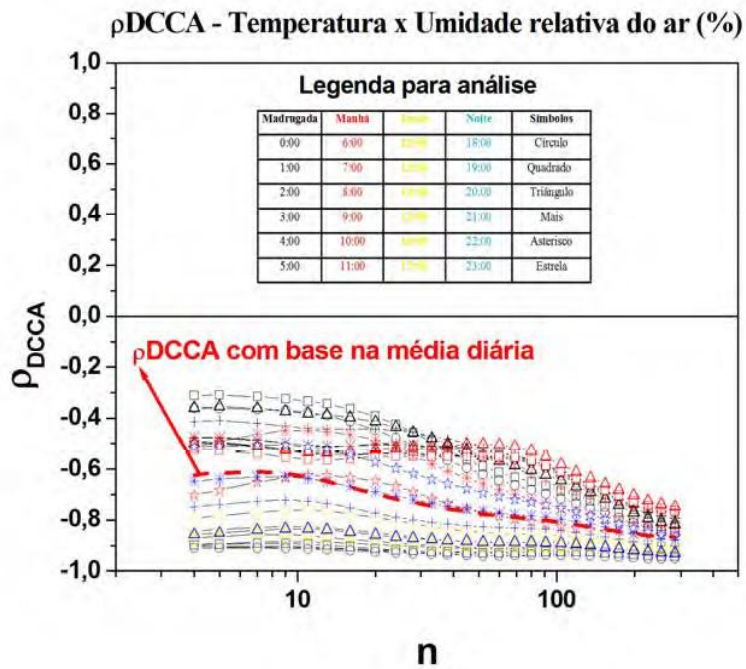


Figura 3 – Coeficiente de correlação cruzada sem tendência ρ_{DCCA} nas séries temporais da temperatura a cada hora do dia em °C e umidade relativa do ar a cada hora do dia (%) do município de Feira de Santana-BA de 27 de maio de 2007 a 30 de setembro de 2010.

A aplicação do ρ_{DCCA} considerando a hora do dia, identificou correlação negativa entre temperatura e umidade relativa do ar com maior intensidade entre 12:00 às 17:00 horas (Figura 3).

4. CONCLUSÃO

O estudo e acompanhamento de dados climatológicos têm sido realizados por diversas metodologias. Com o intuito de contribuir com pesquisas nesta área do conhecimento, este artigo teve como objetivo analisar a dinâmica temporal de dados climatológicos (temperatura em °C e umidade relativa do ar (%)) do município de Feira de Santana-BA. Para cumprir tal objetivo foram utilizados métodos da mecânica estatística: DFA, DCCA e ρ_{DCCA} .

A modelagem via DFA identificou e mensurou comportamento persistente ($\alpha > 0,50$) (Figura 2). E com este resultado, é possível afirmar que, caso exista uma tendência de crescimento ou decréscimo nas flutuações da temperatura ou umidade relativa do ar em Feira de Santana, esse comportamento tende a continuar ocorrendo em longo prazo. O resultado da correlação cruzada do método DCCA identificou correlação cruzada negativa para todas as escalas temporais, via sua função de covariância sem tendência (Figura 2). O nível de correlação cruzada entre temperatura e umidade relativa do ar do município de Feira de Santana foi negativo (Figura 2). Com este resultado podemos inferir que existe uma relação antipersistente entre temperatura e umidade relativa do ar no município de Feira de Santana. Outra constatação, via coeficiente de correlação cruzada sem tendência, é que para grandes escalas de tempo o coeficiente de correlação tendeu a -1 ($\rho_{DCCA} \rightarrow -1$) (Figura 2 e Figura 3).

A análise da correlação cruzada com o ρ_{DCCA} considerando o comportamento das séries a cada hora do dia (Figura 3), identificou também correlação cruzada negativa para todas as escalas de tempo. Mas, este resultado apresentou valores com menor ou maior grau de intensidade no nível de correlação cruzada, a depender da hora e escala temporal em questão (Figura 3).

Tendo como alicerce as propriedades dos métodos modelados na presente pesquisa é possível afirmar que com o tipo de modelagem executada neste artigo é possível caracterizar uma determinada região geográfica em relação a dados climatológicos. Como continuidade da pesquisa, pretendemos modelar outros dados climatológicos de Feira de Santana e, se possível, identificar um padrão de comportamento nesses dados.

REFERÊNCIAS

¹Peng, C. K. *et al.* Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*, College Park, MD, v. 49, p. 1685-1689, **1994**.

²Podobnik, B.; Stanley, H. E. Detrended cross-correlation analysis: a new method for analyzing two non stationary time series. *Physical Review Letters*, v. 100, p. 084102, **2008**.

³Zebende, G. F. DCCA cross-correlation coefficient: quantifying level of cross-correlation. *Physica A*, Amsterdam, v. 390, p. 614-618, **2011**.

- ⁴Santos, L. G.; Andrade, O. H. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-BA, Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, v. 40, p. 77-84, **2008**.
- ⁵Reboredo, J. C.; Rivera-Castro, M. A.; Zebende, G. F. Oil and us dollar exchange rate dependence: a detrended cross-correlation approach. *Energy Economics*, Cambridge, UK, v. 42, p. 132-139, **2014**.
- ⁶Ivanov, P. et al. Scaling and universality in heart rate variability distributions, *Physica A*, 249, 587-593, **1998**.
- ⁷Nascimento, A., Zebende, G. F., Moret, M. Self-affinity of vehicle demand, *International Journal of Modern Physics C*, 19, 665-669, **2008**.
- ⁸Soares Junior, J. S., Machado, A., Quintella, R. H., Zebende, G. F. Uma análise Estatística nos indicadores de criminalidade de Salvador, *Conjuntura e Planejamento*, 161, 40-49, **2008**.
- ⁹Podobnik, B; Jiang, Z.-Q.; Zhou, W.-X; Stanley, H. Statistical tests for Power-law cross-correlated processes. *Physical Review E*, v. 84, p. 066118, **2011**.
- ¹⁰Zebende, G. F.; Silva, P. A. D.; Machado, A. Study of cross-correlation in a self-affine time series of taxi accidents. *Physica A*, v. 390, p. 1677-1683, **2011**.
- ¹¹Vassoler, R.; Zebende, G. DCCA cross-correlation coefficient apply in time series of air temperature and air relative humidity. *Physica A*, v. 391, p. 2438-2443, **2011**.
- ¹²Machado, A.; Fernandes, S. M; Zebende, G. F. Autocorrelation and cross-correlation in time series of homicide and attempted homicide. *Physica A*, v. 400, p. 12-19, **2014**.
- ¹³Fernandes, S. M.; Pereira, E. J. A. L.; Machado, A.; Castro, A. P. N.; Zebende, G.F.; Miranda, G. V. Quantifying cross-correlation between Ibovespa and Brazilian blue-chips: The DCCA approach. *Physica A*, v. 424, p. 124-129, **2015**.