

IDENTIFICAÇÃO DE SECAS METEOROLÓGICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, USANDO O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADA (SPI)

Identification of Dry Weather in the Metropolitan Region of Fortaleza, using the Standardized Precipitation Index (SPI)

José Alegn Roberto Leite Fechine*

***Universidade de Lisboa - Lisboa - Portugal**

Rua Pedro Firmeza, 669 – Cidade dos Funcionários – Fortaleza, Ceará, Brasil – CEP: 60822-492
fechine@campus.ul.pt

RESUMO

A Região Metropolitana de Fortaleza é composta por quatorze municípios agrupados em duas microrregiões: a microrregião de Fortaleza e a microrregião de Pacajus. As microrregiões localizam-se no Nordeste do Brasil, Estado do Ceará. Estão sob o domínio de clima semiárido e são evidenciadas pela ocorrência cíclica das secas. O objetivo deste artigo foi detectar os anos de ocorrência de secas meteorológicas na Região Metropolitana de Fortaleza, entre os anos de 1974 a 2012, utilizando o índice SPI (Índice de Precipitação Padronizada) na escala de tempo de 4 meses (fev/mai). Os episódios de secas detectados pelo SPI foram correlacionados com a ocorrência de eventos atmosféricos de grande escala que atuam no Nordeste brasileiro, exemplo: *El Niño*, Dipolo do Atlântico Tropical e a posição da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical). Assim, o estudo constatou que quase todos os anos secos detectados pelo índice SPI foram anos de atuação de eventos de *El Niño*, juntamente com o gradiente meridional de anomalias da TSM, que associados comandam a incursão da ZCIT acima da linha do equador, influenciando a distribuição das chuvas sobre a região Nordeste. O estudo também observou que as principais secas na área investigada foram de categoria moderada e severa.

Palavras-chave: Secas. SPI. Semiárido. Brasil.

ABSTRACT

The Metropolitan Region of Fortaleza is composed of fourteen municipalities grouped into two micro-regions: the micro-region of Fortaleza and Pacajus. The regions are located in the Northeast of Brazil, State of Ceara. Are under the control of semiarid climate and are marked by cyclical occurrence of droughts. The aim of this paper is detect the occurrence of years of meteorological droughts in the Metropolitan Region of Fortaleza, between the years 1974-2012, using the index SPI (Standardized Precipitation Index) on the timescale of four months (Feb / May). The episodes of droughts detected by SPI were correlated with the occurrence of large-scale atmospheric events that operate in the Brazilian Northeast, for example: El Niño Tropical Atlantic Dipole and the position of the ZCIT (Intertropical Convergence Zone). Thus, the study found that almost all dry years detected by the index SPI were years of El Niño events, along with the meridional gradient of TSM anomalies, that associated, commands the incursion of the ZCIT over the equator, influencing distribution of rain over the Northeast. The study also found that major droughts in the study area have been moderate and severe category.

Keywords: Droughts. SPI. Semiarid. Brazil.

1 INTRODUÇÃO

Brito et al. (1999) revela que a variabilidade climática no Nordeste brasileiro está mais associada à irregularidade que à escassez, sendo essa, talvez, a principal dificuldade do homem não permanecer no meio rural, pois a água existente não atende suas necessidades básicas nem torna o solo apropriado para cultivo.

Estudos sobre as secas no Nordeste revelam que no século XX ocorreram mais de 20 períodos de secas, algumas das quais classificadas como extremas. Segundo Moreira Filho et al., (2002) a ocorrência cíclica das secas e seus efeitos catastróficos são por demais conhecidos e remontam aos primórdios da história do Brasil. Os anos de secas têm em comum, o fato de as precipitações se situarem, abaixo da média histórica (PESSOA; CAVALCANTI, 2002). Onde, o regime de chuvas é marcado pela escassez, acentuada irregularidade espaço-temporal e longos períodos de estiagem, enquanto a maior parte da precipitação, geralmente, ocorre em três ou quatro meses do ano e, muitas vezes num lugar restrito, mas pode passar meses sem chover em grandes áreas, com média anual inferior a 800 mm. Outro aspecto a destacar é o da distribuição espacial da seca, pois nem todas as subzonas são igualmente afetadas (PESSOA; CAVALCANTI, 2002). Como, por exemplo, as regiões localizadas a barlavento ou sobre áreas elevadas (Serras), que configuram verdadeiros enclaves úmidos e sub-úmidos; e, que segundo Ab'Sáber (2003) são submetidos às influências de mesoclimas de altitude; bem como, áreas litorâneas que sofrem influência do mar.

A descrição do contexto em que ocorrem as secas no Nordeste brasileiro mostra as dificuldades naturais e institucionais em que se dá a convivência do sertanejo com o fenômeno climático. A falta de reorganização fundiária, disponibilidade e uso adequado dos recursos hídricos e de tecnologias apropriadas para a agricultura dependente de chuvas, de culturas adaptáveis às condições de clima e solo, causam efeitos econômicos e sociais.

Estudos realizados por Brito (2000) identificaram possíveis mudanças no clima do Nordeste brasileiro associadas à variabilidade climática regional, a qual é influenciada por fatores externos a região, como por exemplo, as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) dos Oceanos Tropicais. Hastenrath e Heller (1977), Moura e Shukla (1981), Ropelewski e Halpert (1987; 1989), Xavier (2001), Xavier et al. (2003) e Silva (2004) mostram que a precipitação sobre a região Nordeste é bastante sensível a eventos extremos da TSM no Pacífico equatorial, principalmente quando associado ao evento *El Niño* - Oscilação do Sul, assim como, as anomalias de temperatura da superfície do Atlântico, associadas ao dipolo de anomalias da TSM do Atlântico Tropical norte e sul (Dipolos do Atlântico Tropical) que conjuntamente afetam o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e, por sua vez, influencia a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico e norte da América do Sul. Com alterações nos totais pluviométricos no Estado do Ceará, mantendo suas influências sobre os sistemas atmosféricos locais (MAGALHÃES; ZANELLA, 2011).

Dentro deste contexto é pertinente uma breve descrição dos principais fenômenos atuantes e que influenciam os níveis de precipitação no Nordeste brasileiro: o Dipolo do Atlântico Tropical; o *El Niño*; e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

1.1 Principais Fenômenos Atuantes no Nordeste Brasileiro

O Dipolo do Atlântico Tropical é o fenômeno oceano/atmosférico que inibe ou aumenta a formação de nuvens, diminuindo ou aumentando a pluviosidade. Esse fenômeno é identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Tropical, ou seja, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias. Existem movimentos descendentes transportando ar frio e seco dos altos níveis da atmosfera sobre o Nordeste do Brasil e em alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação (Fase Positiva do Dipolo), podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes existem aumentos nos movimentos ascendentes, intensificando a formação de nuvens e aumentando os índices pluviométricos (Fase Negativa do Dipolo) (ARAGÃO, 1996).

O *El Niño* é um fenômeno oceânico/atmosférico caracterizado por aquecimento anormal das águas superficiais no Oceano Pacífico Tropical da América do Sul, especificamente na costa do Peru/Equador, até ao oeste do Pacífico, que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento em nível mundial, afetando, assim, os regimes de chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias (GLANTZ, 2001). O fenômeno *El Niño* - Oscilação do Sul (ENOS), também designado pela expressão inglesa ENSO (*El Niño* – Southern Oscillation), constitui um fenômeno de dois componentes: um de natureza oceânica, no caso o *El Niño* e outro de natureza atmosférica, representado pela Oscilação do Sul. A Oscilação do Sul é uma variação da pressão atmosférica tropical, sendo uma resposta aérea ao *El Niño*, associada a mudanças na circulação geral da atmosfera (ARAGÃO, 1996).

O fenômeno *El Niño* tem como região de origem o Oceano Pacífico Equatorial. Nesta Região do Pacífico, em função dos ventos alísios, que sopram predominantemente de sudeste no Hemisfério Sul, há um padrão de circulação oceânica, tal que, na costa da América do Sul, as águas são normalmente frias (ressurgência de águas profundas) e, no extremo oposto, região da Indonésia e costa da Austrália, as águas são, em geral, quentes. Essas diferenças de temperatura das águas entre o lado leste e o oeste do Oceano Pacífico, resultam em diferenças de pressão atmosférica na superfície em uma circulação secundária da atmosfera nesta região conhecida como célula de Walker no sentido leste-oeste, com ascensão de ar na parte oeste do Pacífico Tropical e correntes descendentes do ar. Essa circulação atmosférica faz com que a parte oeste do Oceano Pacífico seja uma região de chuvas frequentes e, de forma oposta, a parte leste, junto à costa da América do Sul, seja uma região de chuvas escassas (secas) (CUNHA, 1999). Nobre e Molion (1988) citam que, na fase quente dos eventos ENSO (*El Niño*), o ramo ascendente da Circulação Hadley-Walker, usualmente sobre a Amazônia, é deslocado para sobre as águas anormalmente quentes do Pacífico Este ou Central, produzindo centros ciclônicos nos altos níveis sobre o norte/nordeste da América do Sul e uma forte subsidência sobre essa região e sobre o Atlântico tropical. Essa subsidência enfraqueceria a ZCIT e a convecção sobre o Nordeste do Brasil, diminuindo as chuvas.

A ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) é formada pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte (alísios de nordeste) e os do Hemisfério Sul (alísios de sudeste). A confluência resulta em movimentos ascendentes de ar com alto teor de vapor d'água. Ao subir na atmosfera, o vapor d'água se resfria e condensa, dando origem ao aparecimento de nuvens. A influência da ZCIT na precipitação do Nordeste foi reconhecida por Serra (1941) e bem documentada por Hastenrath e Heller (1977).

Existe uma relação climática associada com a variação na intensidade e posição da ZCIT, com a teleconexão conhecida como “Pacific North America” que também está relacionada com o fenômeno *El Niño*/Oscilação do Sul (PERH-PE, 1998); assim como, as anomalias da TSM do Atlântico Tropical norte e sul (Dipolos do Atlântico Tropical). Diversos pesquisadores, dentre eles Hastenrath e Heller (1977) estudaram a influência da temperatura da superfície do mar no Atlântico e no leste do Pacífico (*El Niño*) e da posição da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) na variabilidade das chuvas no Estado do Ceará. Neste estudo eles constataram que os primeiros sinais que aparecem no Atlântico com antecedência aproximada de 6 (seis) meses são cruciais para um prognóstico, de períodos chuvosos extremos e secos no Nordeste.

O Estado do Ceará está dentro da abrangência destes fenômenos, definido por um clima semiárido que é caracterizado por um período chuvoso concentrado em um curto período do ano (fevereiro - maio) e muitas vezes, concentrado espacialmente, principalmente, nas regiões litorâneas.

As secas causam transtornos em diversas localidades, onde a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como sua variabilidade e escassez, em longo prazo, que obriga os governos Federal, Estaduais e Municipais a desenvolverem uma série de estratégias para mitigar os efeitos das secas, que muitas vezes ocorrem de formas devastadoras sobre as populações, os animais e a economia da região.

Assegura-se que os transtornos possam ser minimizados, a partir de estratégias que podem ser desenvolvidas, se os períodos de secas forem conhecidos. Estes períodos, em relação ao grau de severidade, podem ser determinados através da aplicação do índice de secas, que se baseiam, principalmente na medida das precipitações. Como por exemplo, o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) desenvolvido por Mckee et al. (1993), que tem sido amplamente utilizado para identificar padrões e características locais de secas. De acordo com Mckee et al. (1995) uma das vantagens da utilização do SPI, é a simplicidade de aplicação e a possibilidade de uso para diferentes escalas de tempo.

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é detectar os anos de ocorrência de secas meteorológicas na Região Metropolitana de Fortaleza- Ceará/Brasil, entre os anos de 1974 a 2012, utilizando o índice SPI (Índice de Precipitação Padronizada) na escala de tempo de 4 meses (fev/mai). Tendo em vista, que são os meses de fevereiro a maio os de maior ocorrência de chuvas na Região Metropolitana de Fortaleza e sua ausência e/ou abaixo da média histórica durante este período têm-se um ano seco. Por fim, investigar a inter-relação dos episódios de seca, com os eventos de *El Niño*, o gradiente meridional de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical e a posição da ZCIT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

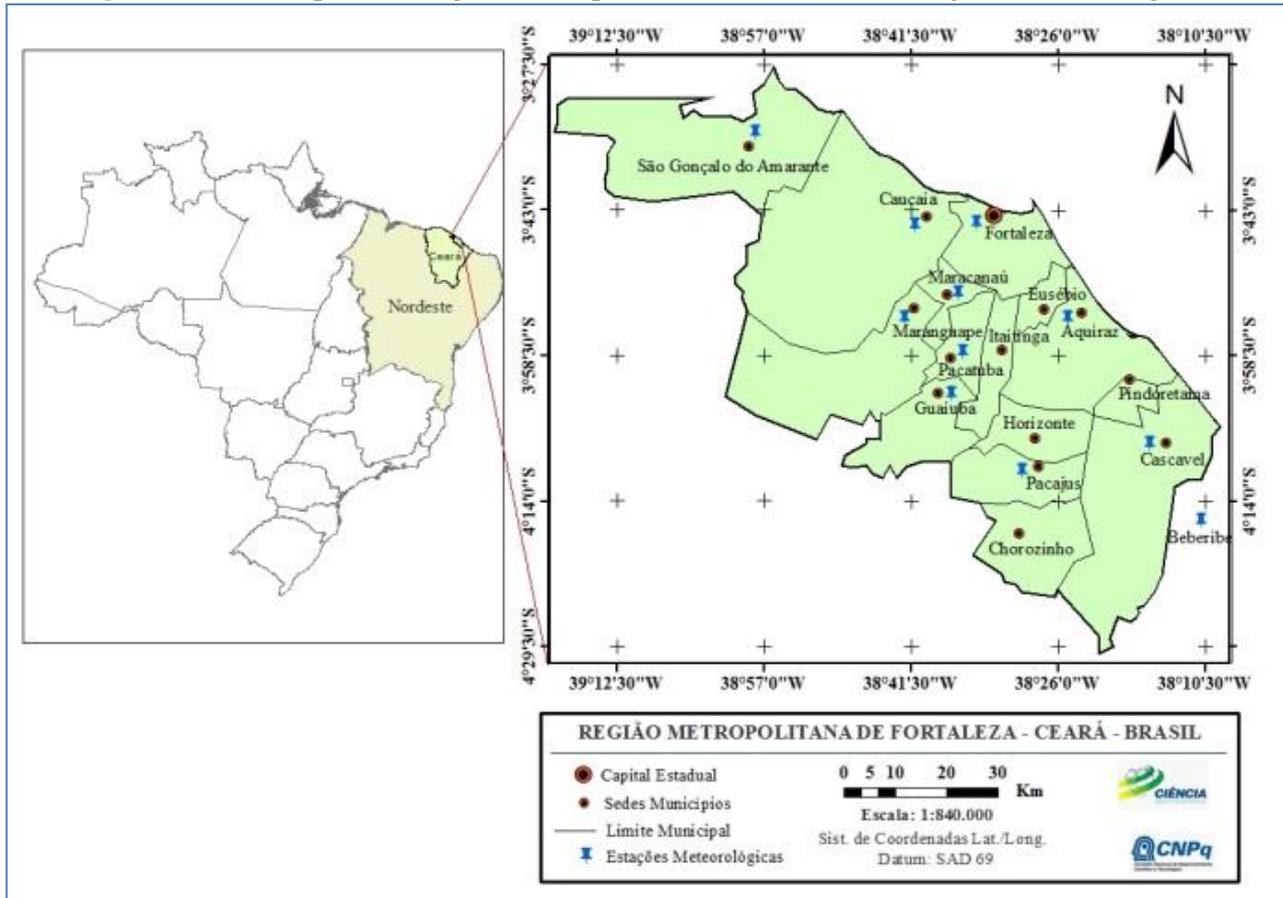
2.1 Caracterização e Localização da Área de Estudo

A área de estudo, a Região Metropolitana de Fortaleza está localizada no Nordeste do Brasil - Estado do Ceará, próximo a linha do Equador (paralelos de 3° a 4° Sul). A sua posição territorial e latitudinal, favorece uma intensa insolação o ano todo, proporcionando elevadas temperaturas com fracas amplitudes térmicas e a atuação de diferentes sistemas atmosféricos. Estabelecendo, preponderantemente um regime pluviométrico marcado por irregularidade de chuvas, no tempo e no espaço.

A Região Metropolitana de Fortaleza compreende uma área constituída por quatorze municípios agrupados em duas microrregiões: a microrregião de Fortaleza (formada pelos municípios de: Aquiraz, Fortaleza, Maracanaú, Eusébio, Caucaia, Guaiúba, Pacatuba, Itaitinga, Maranguape, Chorozinho, São Gonçalo do Amarante, Pindoretama e Cascavel) e a microrregião de Pacajus (formada pelos municípios de: Horizonte e Pacajus) (Figura 1). A principal cidade desse agrupamento é Fortaleza.

A principal cidade da Região Metropolitana, Fortaleza está localizada próximo ao litoral Atlântico, com 34 km de costa, a uma altitude média de 21 metros em relação ao nível do mar. A cidade de Fortaleza é a capital com a maior densidade demográfica do país, com 7.815,7 hab/km² e a cidade mais populosa do Estado do Ceará. Destaca-se como sendo a quinta cidade mais populosa do Brasil, com cerca de 2,5 milhões de habitantes e possui a terceira maior rede urbana do país em população. A sua Região Metropolitana possui 3.700.182 habitantes, sendo a sexta mais populosa do Brasil e a segunda do Nordeste (IBGE, 2010).

Apesar de encontrar-se inseridos na mesma Região Metropolitana, os municípios possuem realidades climáticas distintas. Devidos, uns estarem afastados da costa, outros localizados a barlavento ou a sotavento de elevações; pois estas elevações constituem barreiras topográficas capazes de gerar chuvas orográficas apenas em contato com nuvens de baixa altitude e alguns muito próximos do oceano Atlântico; que acabam sendo influenciados pelo mar. Essa situação faz com que as chuvas de verão ocorram com mais frequência em áreas litorâneas e a barlavento de áreas elevadas, e com menos frequência em áreas mais afastadas da costa e ou sotavento de áreas elevadas. A temperatura média anual é de 26°C, com diferenças mínimas de temperatura ao longo do ano.

Figura 1 – Municípios da Região Metropolitana de Fortaleza e Estações Meteorológicas.

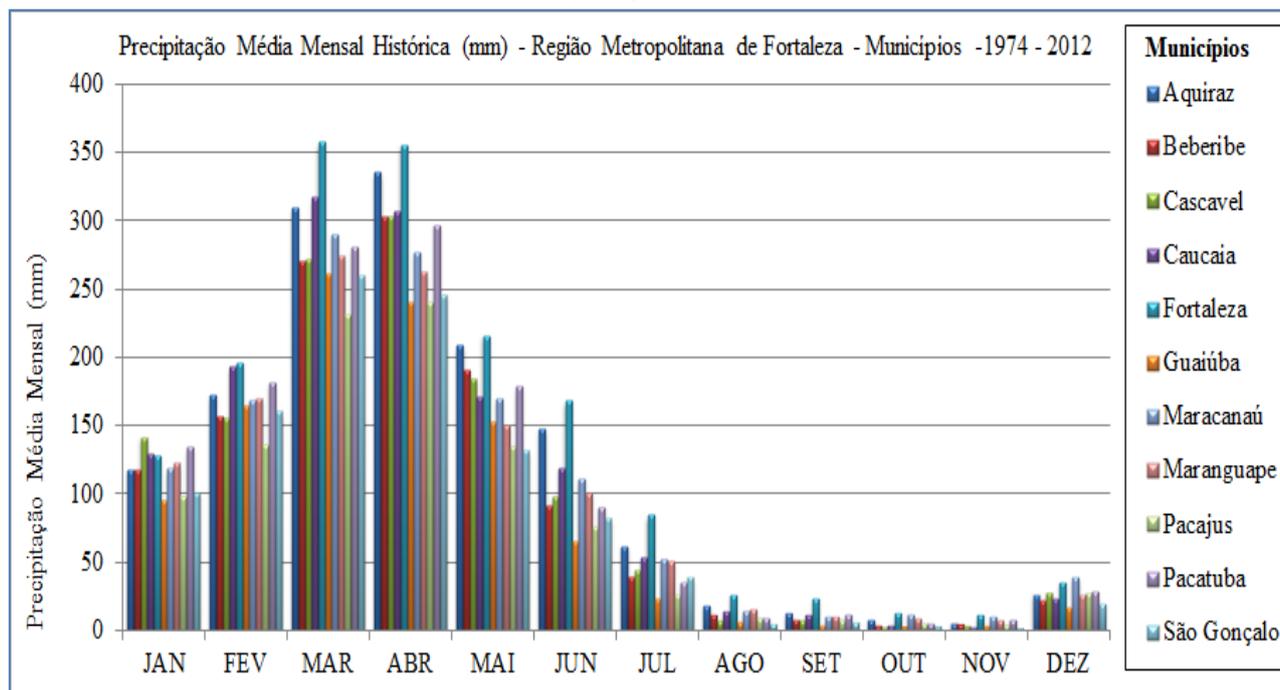
Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2013). Mapa elaborado pelo autor.

As chuvas se concentram entre os meses de fevereiro a maio, sem ter bem definidas as estações do ano; existe apenas a época chuvosa (chamada localmente de "inverno") e a seca que se concentra entre os meses de agosto a dezembro.

Os Municípios da Região Metropolitana de Fortaleza que estão situados próximos ao litoral do oceano Atlântico são: Fortaleza, Aciraz, Beberibe, Cascavel, Caucaia e São Gonçalo do Amarante. Alguns afastados do litoral como: Maracanaú, Maranguape e Pacajus e outros próximos de áreas elevadas (serras) como: Pacatuba, localizado a barlavento da Serra da Aratanha e o município de Guaiúba, localizado a sotavento.

A precipitação média mensal para a Região Metropolitana de Fortaleza de fevereiro a maio é de, respectivamente: 168, 284, 287 e 171 mm. Sendo que, os meses mais secos são: agosto, setembro, outubro e novembro com precipitações médias em torno de 12, 10, 6 e 5 mm, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Precipitação média mensal histórica do período de 1974 - 2012 da Região Metropolitana de Fortaleza.



Fonte: Dados FUNCEME (2013a). Gráfico elaborado pelo autor.

2.2 Formulação Teórica

Este estudo é do tipo exploratório descritivo, dentro de uma abordagem quantitativa, constituído por um levantamento e análise crítica dos eventos de secas detectados através da utilização do índice SPI (Índice de Precipitação Padronizada) na Região Metropolitana de Fortaleza.

As estações meteorológicas utilizadas para aquisição de dados nesta pesquisa foram: Fortaleza/FUNCEME, Aquiraz, Beberibe, Cascavel, Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Guaiúba e Pacatuba. Totalizando 11 estações. A identificação das estações corresponde ao nome dos municípios onde estão situados.

Os dados utilizados nesta pesquisa foram colhidos através da base de acompanhamento meteorológico da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME.

Para facilitar a composição e análise dos resultados, o conjunto de dados gerados pelas estações meteorológicas (séries pluviométricas) receberão o mesmo nome das estações, objetivando caracterizá-las, facilitando sua identificação.

No primeiro momento os dados das séries pluviométricas foram organizados mensalmente (janeiro a dezembro) e inspecionadas, objetivando descartar séries com dados duvidosos e com falhas. Nesta etapa, delimitou-se o período de investigação das séries, sendo que a série pluviométrica: Fortaleza/FUNCEME, o período de investigação foi de 1974-2008, a série Aquiraz foi de 1979 - 2012, Beberibe de 1980 - 2012, Cascavel de 1977-2012, Caucaia de 1973-2012, São Gonçalo do Amarante de 1974-2011, Maracanaú de 1974-2012, Maranguape e Pacajus de 1974-2012, Guaiúba de 1974 -2011 e por fim Pacatuba de 1979-2012. Nesta etapa todas as séries averiguadas continham 32 ou mais anos de dados. Cabe ainda citar, que os meses e anos analisados nessa base de dados foram subsequentes e os períodos examinados ao longo das séries de dados não apresentaram falhas e/ou erros.

No segundo momento, as séries mensais da Região Metropolitana de Fortaleza foram analisadas com recurso ao “Software Dimes” desenvolvido por Blain et. al. (2005), em plataforma Excel, que tem por objetivo calcular os índices de secas meteorológicas – índice SPI (Índice de

Precipitação Padronizada). O Software além de fornecer o valor do SPI em diversas escalas de tempo, fornece também, as médias aritméticas e geométricas das precipitações, os parâmetros *alfa* e *beta* e a probabilidade *gama* cumulativa da ocorrência de um valor observado das chuvas para cada mês e, em cada período de análise escolhido.

Além do valor do SPI, as outras funções do Software foram importantes para avaliar a série de dados. Destaca-se a função *gama* importante para análise de dispersão. A função *gama* apresenta dois parâmetros: o de forma α e o de escala β (MILLER; WEAVER, 1968). Segundo Thom (1958) para valores de α maiores ou igual a 100 a distribuição *gama* se aproxima da distribuição normal. O parâmetro de escala β indica o grau de dispersão entre os dados da série estudada.

O Índice Padronizado de Precipitação (SPI) foi desenvolvido por McKee et al. (1993) para quantificar o déficit, ou o excesso de precipitação em diferentes escalas de tempo. Essa característica torna o SPI uma valiosa ferramenta para todos os estudos de disponibilidade hídrica, sejam eles de curta ou longa duração (HAYES, 1999). Conforme aumenta o período de análise (12 ou 24 meses, por exemplo) o SPI responde mais lentamente a mudanças na precipitação. Períodos com índices negativos tornam-se menores em número, porém, mais longos em duração (MCKEE et al., 1993). O SPI considera a natureza estocástica da seca e é, portanto, uma boa medida de secas meteorológicas de curta e longa duração (NARASHIMHAN; SRINIVASAN, 2005), permitindo também a comparação entre locais e climas diferentes (PAULO et al., 2005). A primeira etapa para o cálculo do SPI é a determinação da probabilidade de distribuição de frequência de precipitação, a qual é calculada por meio da distribuição *gama* incompleta. A distribuição normal inversa, conhecida também como distribuição de Gauss ou Gaussiana é aplicada a essa probabilidade, resultando no SPI.

Para este estudo adotou-se a classificação dos eventos de anomalia de chuva proposta por McKee et al. (1993), Hughes; Saunders (2002) e Domingos (2006), descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de SPI, classes de anomalias de chuvas e suas respectivas categorias.

Valores de SPI	Classe	Categorias
- 1,00 e – 1,49	Moderadamente seco	M
- 1,50 e -1,99	Severamente seco	S
- 2,00 e – 2,99	Extremamente seco	E

Categorias das secas: (m = moderadamente seco), (s = severamente seco) e (e = extremamente seco).

Fonte: Modificada de McKee et al. (1993), Hughes; Saunders (2002) e Domingos (2006).

Neste estudo, o foco principal das investigações se remeteu aos intervalos de anomalias de chuvas dentro do intervalo da Tabela 1, visto que, são estas que causam mais transtornos sociais, ambientais, agrícolas, hídricos etc.

Por fim, no terceiro momento investigou-se a inter-relação dos episódios de secas, detectada pelo SPI, com os eventos de *El Niño*, o gradiente meridional de anomalias da TSM sobre o Atlântico Tropical e a posição da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que por consequência influenciam as chuvas no Estado do Ceará.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os dados coletados para o período 1974 - 2012 constatou-se que as estações pluviométricas localizadas nos municípios de Aquiraz, Beberibe, Cascavel, Caucaia, São Gonçalo, Maracanaú, Pacajus e Guaiúba possuem, respectivamente: 7, 7, 4, 10, 8, 8, 10 e 7 anos classificados na categoria moderadamente secos – categoria: (m); com destaque para as estações localizadas nos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, onde constatou-se 6 anos severamente secos, em ambos – categoria: (s). Sendo assim, infere-se que os episódios de secas foram, em geral de categoria moderada: (m) ao longo dos 32 anos analisados. Este resultado pode ser identificado claramente na Tabela 2, setor (>Cat.) que revela um total de 8 municípios nesta categoria. Contudo,

nas estações pluviométricas localizadas nos municípios de Fortaleza e Maranguape constatou-se um total de 8 e 6 anos, severamente secos – categoria: (s), respectivamente, (Tabela 2).

Tabela 2 – Relação entre estações, anos e categorias das secas.

Estações	1978	1979	1980	1981	1983	1987	1990	1991	1992	1993	1997	1998	1999	2005	2006	2007	2010	Soma das Categorias				
	m	s	m	s	s	m	m	m	s	s	s	m	s	s	m	m	m	m	m	s	e	> Cat.
Fortaleza		m	m	s	s		s	m	m	s	s	s	m	s	s	m		6	8			s
Aquiraz			m	s	s				m	e	s	m	m	s	m	m		7	4	1		m
Baberibe					e	m	m	m		s	m	m		m	m		s	7	2	1		m
Cascavel				m						m		m		m				4				m
Caucaia	m	s	m	m	s		s	m	m	s	s	s	m	m	m	m	m	10	6			m
São Gonçalo	s	m	m	m	s		s	m	m	e	s	s	m	s	m		m	8	6	1		m
Maracanaú		m	s	m	m	m	m			s	s	m		m	m			8	3			m
Maranguape			m	m	s		s		m	s	s	s		e	s		m	4	6	1		s
Pacajus	m	m	m	m	s	m	m		m	e	m	s		m	m		s	10	3	1		m
Pacatuba																						
Guaiúba			m	m	m	m		m	m	s							m	7	1			m

Categorias das secas: (m= moderadamente seco), (s= severamente seco) e (e= extremamente seco).

Fonte: Dados FUNCEME (2013). Tabela elaborada por Fachine (2013).

Conforme a Tabela 2 que evidencia a relação entre anos e os índices de secas meteorológicas identificadas pelo SPI. Pode-se classificar os municípios da Mesorregião de Fortaleza em três categorias distintas de secas: **m** (moderadamente seco), **s** (severamente seco) e **e** (extremamente seco). Fato que é evidenciado na Tabela 2, expondo as estações pluviométricas, os anos e suas respectivas categorias de secas.

Ainda de acordo com a Tabela 2 comprova-se que a estação localizada no município de Pacatuba comportou-se de forma atípica em relação às demais. Este comportamento se dá devido a barreiras topográficas capazes de gerar chuvas orográficas. Nesta estação o SPI não identificou valores negativos nas séries de dados maiores que -0,99. Neste caso, o índice SPI não identificou anos de ocorrência de secas no período analisado.

No entanto, na Tabela 3 a seguir têm-se os anos de: (1978, 1979, 1980, 1981, 1987, 1991, 1992, 1999, 2005, 2006, 2007 e 2010), (1990 e 1998), (1983, 1993, 1997) nas seguintes categorias de secas: moderadamente secos: (**m**), moderadamente a severamente secos: (**m/s**) e severamente secos: (**s**), respectivamente. Entretanto, comprova-se que boa parte dos anos investigados (total de 12 anos) foram anos moderadamente secos: (**m**). Ainda, verifica-se que os anos de 1983, 1990, 1993, 1997 e 1998 foram os anos mais secos em toda a Região Metropolitana analisada (anos severamente secos: (**s**)). Por outro lado, as secas de 1978, 1979, 1980, 1981, 1987, 1991, 1992, 1999, 2005, 2006, 2007 e 2010 também foram bastante acentuadas no cenário Nordestino.

Tabela 3 – Relação entre categorias das secas, anos de secas e número de estações.

Categorias	1978	1979	1980	1981	1983	1987	1990	1991	1992	1993	1997	1998	1999	2005	2006	2007	2010
m+m+...=	2	4	7	7	2	4	3	5	7	1	2	4	4	5	6	3	5
s+s+...=	1	1	1	2	6		4			6	6	5		3	2		2
e+e+...=					1					3				1			
> Cat.	m	m	m	m	s	m	m/s	m	m	s	s	m/s	m	m	m	m	m

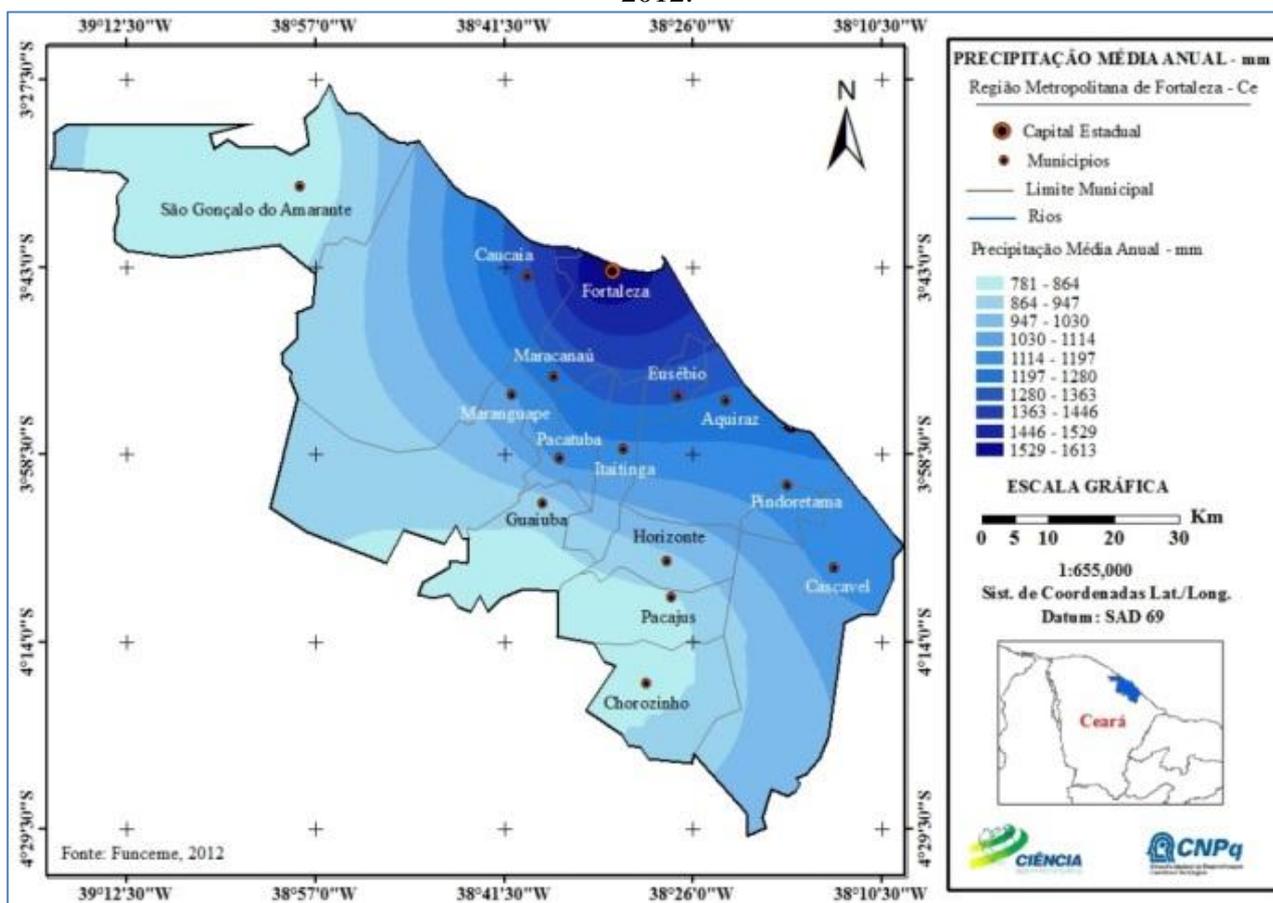
Categorias das secas: (**m** = moderadamente seco), (**s** = severamente seco) e (**e** = extremamente seco).

Fonte: Dados FUNCEME (2013). Tabela elaborada por Fachine (2013).

Em relação à precipitação média anual, a Figura 2 expõe que parte dos municípios afastados do litoral possuem médias anuais inferiores as das regiões litorâneas. O fato é que à

medida que se distancia do litoral, o clima é influenciado pela continentalidade, tornando-se mais seco e com baixa umidade (clima semiárido); ou seja, por estarem distantes do oceano sofrem pouca influência marítima, por isso possui um clima mais seco. As precipitações tornam-se mais escassas e tendem a se distribuírem em alguns meses do ano. Com exceção do município de Pacatuba, pois este fica localizado a barlavento de uma elevação (Serra da Aratanha) – área de ocorrência de chuvas orográficas.

Figura 2 – Precipitação média anual (mm) da Região Metropolitana de Fortaleza - período de 1974 - 2012.



Fonte: Dados FUNCEME (2013). Mapa elaborado por Fecine (2013).

A Serra da Aratanha, onde se situa o município de Pacatuba constitui uma barreira aos ventos alísios que vêm do oceano Atlântico com aporte de umidade, favorecendo uma alta pluviosidade (1.261 mm), conseqüentemente, fornecendo condições climáticas úmidas e subúmidas na maior parte de suas superfícies elevadas, influenciadas por um mesoclima – unidade climática intermediária, gerando brejos de altitude, que são áreas de exceção no contexto do semiárido Nordeste (SOUSA, 2009).

Por outro lado, na relação entre anos secos e anos de *El Niño* constatou-se no conjunto de dados analisados, parte dos anos secos identificados pelo SPI associados aos eventos de *El Niño* (Tabela 4). Verificando os dados percebe-se nitidamente a relação entre os eventos de *El Niño* e as secas identificadas na região.

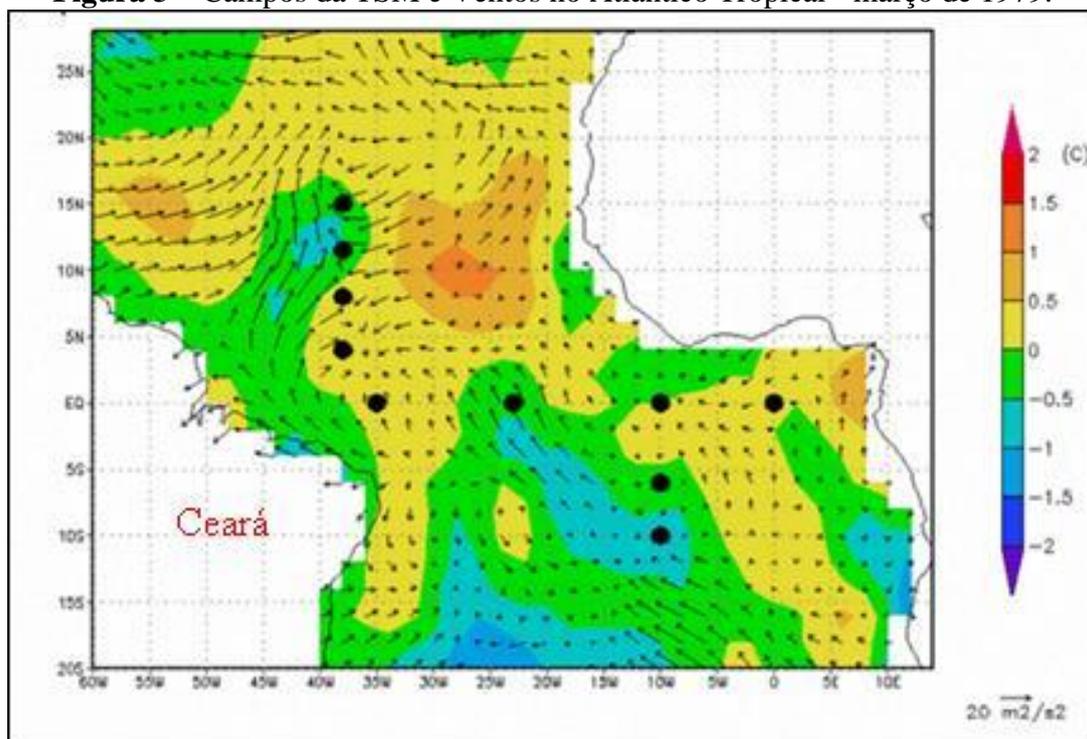
No tocante a ocorrência de eventos do Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical, nota-se na Tabela 4 uma relação entre os eventos de *El Niño*, a fase positiva do Dipolo no Oceano Atlântico Tropical e os anos secos identificados pelo índice SPI.

Tabela 4 – Anos de eventos de *El Niño*, secas identificada pelo SPI e fase positiva do Dipolo no Oceano Atlântico Tropical.

<i>El Niño</i>	Anos de secas	Dipolo Atlântico
Anos	SPI	Fase positiva
1968 - 1970	-	1970
1972 - 1973	-	-
1976 -1977	-	-
1977 - 1978	1978	1978*
1979 - 1980	1979 - 1980	1979 - 1980*
1082 - 1983	1981 - 1982 - 1983	1981 - 1982 -1983*
1986 - 1988	1987	-
1990 – 1993	1990- 1991-1992-1993	1992*
1994 – 1995	-	-
1997 – 1998	1997 - 1998 -1999	1997**
2001 – 2002	-	-
2002 – 2003	-	-
2004 – 2005	2005	2005***
2006 – 2007	2006 - 2007	-
2009 - 2010	2010	2010***

Fonte: Adaptada - Anos de *El Niño*: CPTEC/INPE (2008) e Metsul (2007). Fase Dipolo: *Souza (1997), ** CPC/NCEP/NOAA (2012), *** FUNCEME (2013a). Tabela elaborada pelo autor.

Analisando os campos da TSM do Atlântico Tropical da Figura 3 a seguir, no ano de 1979 (cenário de uma grande seca que se estendeu até 1984) é possível observar que o Atlântico Norte estava mais aquecido do que o Atlântico Sul, configurando assim, uma situação do evento Dipolo Positivo, ou seja, em que o norte possui temperaturas mais elevadas do que o sul.

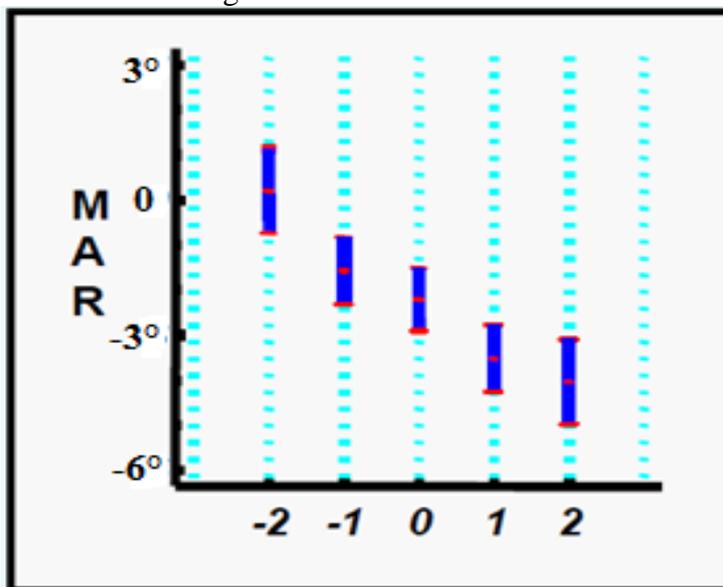
Figura 3 – Campos da TSM e Ventos no Atlântico Tropical - março de 1979.

Fonte: FUNCEME (2013b).

Ainda de acordo com a Figura 3 é possível verificar correntes de ventos convergindo na direção SE (sudeste) abaixo de 5° sul e na direção NE (nordeste) acima 5° ao sul no Oceano Atlântico, próximo ao Estado do Ceará. Nessa situação, possivelmente transportando ar frio e seco, que acaba por inibir a formação de nuvens e, conseqüentemente, chuvas na Região Metropolitana de Fortaleza.

Estudos realizado por Xavier; Xavier (2000 e 2007) no litoral do Estado do Ceará, abrangendo a Região Metropolitana de Fortaleza, dentro de Intervalos de Confiança ao nível probabilidade de 95%, obtidos com respeito às Latitudes médias para a posição da ZCIT no meridiano de 37° W, referente aos meses mais chuvosos de fevereiro a maio (FMAM.), entre os anos 1964 a 1998. Apresentou nos anos muito secos (valor na abscissa -2), posição da ZCIT em média acima da linha do Equador e nos anos secos (valor da abscissa -1), posição da ZCIT levemente abaixo da linha equatorial. Logo, nos anos de precipitações normais (valor da abscissa 0), a posição da ZCIT permaneceu em média próximo a -3° Sul. No entanto durante os anos chuvosos (valor da abscissa 1) e anos muito chuvosos (valor da abscissa 2), a ZCIT posicionou-se em média abaixo de -3° Sul (Figura 4). Xavier; Xavier (2000 e 2007) constatou através da análise de variância que, nos anos chuvosos ou muito chuvosos no Estado do Ceará, que usualmente se estende de fevereiro a maio (FMAM), aprofunda-se a descida da ZCIT para latitudes ao sul da linha equatorial, enquanto, nos anos secos ou muito secos, tal incursão ao sul é mais limitada. Os resultados obtidos por Xavier; Xavier (2000 e 2007), confirmam a importância da migração da ZCIT para latitudes ao sul da linha do Equador, ou seja, no Atlântico intertropical sul, no sentido de constituir um mecanismo atmosférico responsável pelo desencadeamento de chuvas regulares sobre o Estado do Ceará.

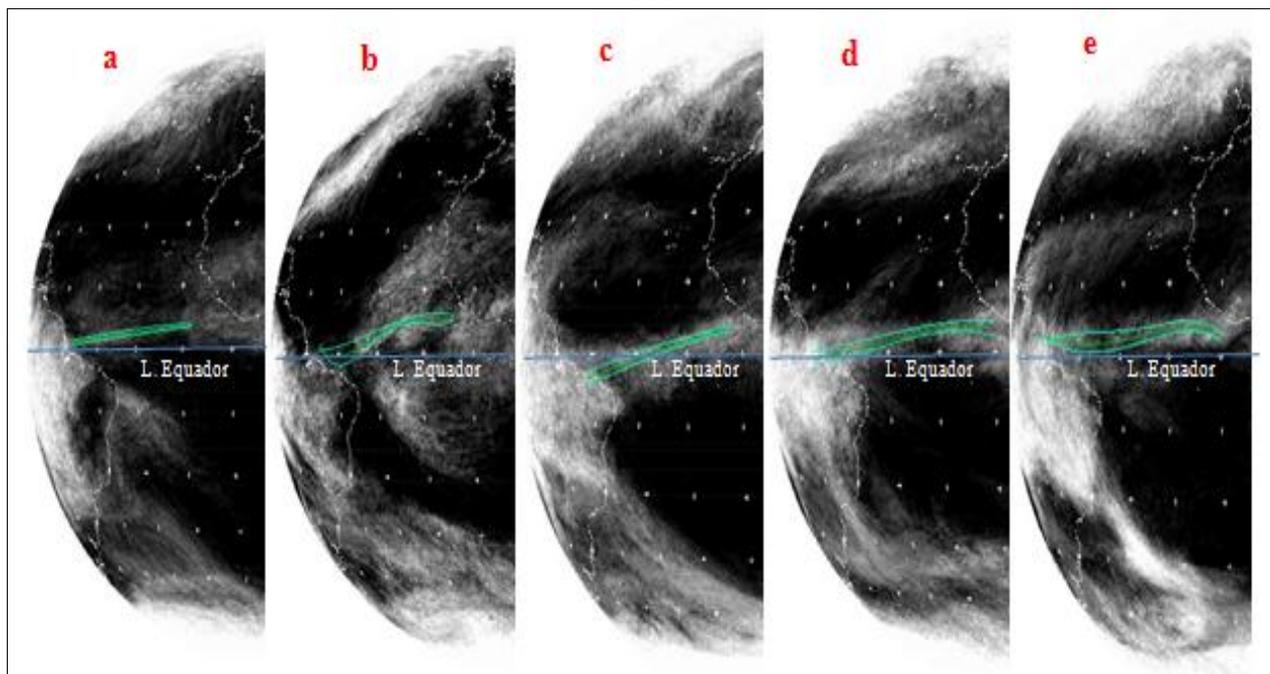
Figura 4: Posição da ZCIT, dada em graus, mês de março entre os anos 1964 a 1998 e classes de anomalias de chuvas: -2 = anos muito secos, -1 = seco, 0 = normal, 1 = chuvoso e 2 = muito chuvoso. **Obs:** eixo do x = categorias de anomalias de chuvas e eixo do y = latitudes.



Fonte: Xavier; Xavier (2007).

Este estudo pode ser ratificado observando a Figura 5 (a, b, c, d, e) de acordo com o período analisado de 11 a 15 de março (mês muito chuvoso), referente aos anos secos: 1997 (ano de seca severa), 1998 (ano de seca moderada a severa), 1999, 2005 e 2006 (anos de secas moderadas). Nesse sentido pode-se observar que a posição da ZCIT se encontrava um pouco acima da Linha do Equador nestes anos secos. As linhas verdes localizadas acima da linha do Equador indicam o local da máxima atividade convectiva da ZCIT.

Figura 5 – Posição da ZCIT no mês de março para os anos secos de 1997, 1998, 1999, 2005 e 2006.



Fonte: FUNCEME (2013b).

Ainda segundo estudos de Xavier; Xavier (2003), episódios “neutros”, ou seja, onde não se têm a atuação da *La Niña* nem *El Niño* no Pacífico equatorial (aspecto, até então negligenciado em termos de pesquisa), tudo pode ocorrer no Ceará e Nordeste Setentrional, em particular. Ou seja, desde anos secos, até anos excepcionalmente chuvosos. Exemplo desse tipo de ocorrência pode ser relacionado à “grande seca” 1979-1983 no semiárido brasileiro, que em seus quatro primeiros anos correspondiam a eventos “neutros” no Pacífico equatorial, ou seja, foram 4 anos “neutros”, seguidos do *El Niño* 1982/1983.

De acordo com o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), a seca de 1979 se estendeu até o ano de 1984. Esse período foi considerado como um dos mais longos e severos da história do Nordeste, onde o número de mortes humanas foi considerado como de uma calamidade pública. Segundo Villa (2000), o número estimado para a época era de 700 mil a 3,5 milhões de mortos por conta da seca.

Entretanto, a seca de 1993 segundo o DNOCS (2009) atingiu todos os estados do Nordeste e parte da região norte de Minas Gerais. De acordo com dados da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), um total de 1.857.655 trabalhadores rurais perderam suas lavouras. Ainda Segundo o DNOCS (2009) as secas de 1997/1998 e 2005/2006, mais uma vez castigaram todo o Nordeste brasileiro, onde populações famintas promoveram saques a depósitos de alimentos e feiras livres, animais morreram e lavouras foram perdidas, numa totalidade de cerca de 5 milhões de pessoas foram afetadas.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos dos índices SPI foi possível constatar que os anos de: 1983, 1990, 1993, 1997 e 1998 foram os anos mais secos na área em estudo. Estas secas são referidas em diversos relatórios científicos da época, realizado por vários pesquisadores. Ainda, de acordo com os resultados obtidos pode-se inferir que boa parte das secas constatadas foi de categoria moderada (**m**), com exceção dos anos de 1983, 1993, 1997 que foram caracterizados com anos de seca severa (**s**). As secas detectadas pelo índice SPI foram extremamente relevantes e

marcaram o cenário de escassez pluviométrica no Nordeste brasileiro, principalmente na área de estudo.

Os resultados dos dados ainda demonstraram que quase todos os anos secos detectados pelo índice SPI foram anos de atuação de eventos de *El Niño*, com anomalias positivas da TSM sobre o Atlântico Tropical (Dipolo do Atlântico Tropical); além da incursão da ZCIT, em média acima da Linha do Equador e que por sua vez, influencia a distribuição das chuvas sobre a Região Metropolitana de Fortaleza.

AGRADECIMENTOS

“O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) - Brasil”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB’SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial.160p, 2003.

ARAGÃO, J. O. R. **A influência dos Oceanos Atlântico e Pacífico sobre a circulação atmosférica e a chuva na Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Simulação e Observação SBMet**, IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6-13 de novembro de 1996, Campos do Jordão - SP, 830-833, 1996.

BRITO, J. I. B. **Modelo Regional para Estimativa do Balanço Hídrico Aplicado à Variabilidade Climática do Nordeste do Brasil**. 2000, 148 p., Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

BRITO, L. T. L. et al. Alternativa tecnológica para aumentar a disponibilidade de água no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 111-115, 1999.

BLAIN, G. C; ROLIM, G. S; BRUNINI, O. **Dimes** – Software para cálculos e interpretação do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) em um visual basic for application em ambiente MS - Excel. V Congresso Brasileiro de Agroinformática, SBI-AGRO, Londrina, 28 a 30 de setembro de 2005.

CUNHA, G. R. *El Niño* Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n.2, p. 277-284, Jul – Dez, 1999.

CPC/NCEP/NOAA. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>. Acesso em: outubro de 2012.

CPTEC/INPE - **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de pesquisas Espaciais**. Tabela de eventos de *El Niño/La Niña*. Disponível em: <www.cptec.inpe.br>, 2008.

Departamento Nacional de Obras contra as Secas – DNOCS. **100 Anos de DNOCS: marchas e contramarchas da convivência com as secas**. 2009. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/site/publicacoes/sumarios/c&p162/c&p162_pag_58.pdf>. Acesso em: 9 de novembro de 2012.

DOMINGOS, S. I. S. **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. Tese de licenciatura (Meteorologia) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2006.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em <<http://www.FUNCEME.br/index.php/areas/oceanografia/campos-numericos-do-atlantico>>. Acesso em: 10 de abril de 2013a.

_____. Disponível em <<http://www.FUNCEME.br/index.php/areas/satelite-e-radar/historico-zcit>>. Acesso em: 10 de abril de 2013b.

GLANTZ, M. H. **Currents of Change: Impacts of *El Niño* and *La Niña* on climate and society**. Second Edition. Cambridge, University Press, 252p, 2001.

HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 411-425, 1977.

HAYES, M. J. **Drought Indices**. National Drought Mitigation Center. United States, 1999.

HUGHES, B. L.; SAUNDERS, M. A. A Drought climatology for Europe. **International Journal of Climatology**, v.22, p.1571-1592, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística [Internet]. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2204>>. Acesso em: 15 maio de 2013.

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E. Comportamento Climático da Região Metropolitana de Fortaleza. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 129-145, set./dez. 2011.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to time scale**. Proc. 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, Am. Meteorol. Soc., Boston, p. 179-184, 1993.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple times scales. In: Conference on Applied Climatology, 9., 1995, Boston. **Anais...** American Meteorological Society, Boston: PREPRINTS, p. 233 – 236, 1995.

METSUL. Meteorologia Ltda – Rede de Estações de Climatologia Urbana de São Leopoldo – **Tabela de evolução das anomalias de temperatura entre 1950 e 2006 do oceano Pacífico**. Disponível em: <www.metsul.com/secoes/?cod_subsecao=57>. Acesso em: 9 mar. 2007.

MOREIRA FILHO, J. de C., GALINHO FILHO, O. T., DUARTE, R. S. **A seca de 1993: Crônica de um flagelo anunciado**. Fortaleza: Banco do Nordeste; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, v. 4. 138 p. 2002.

MOURA, A. D., SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal Atmospheric Science**, v. 38, n. 12, p. 2653-2673, 1981.

MILLER, M. E.; WEAVER, C. R. Monthly and annual precipitation probabilities for climatic divisions in Ohio. **Research bulletin**, n.1005, 11p, 1968.

NARASHIMHAN, B. E.; SRINIVASAN, R. Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring. In: **Agricultural and forest meteorology**, 133, p. 69-88, 2005.

NOBRE, C. A., MOLION., L. C. B. The Climatology of Droughts and Drought Prediction. In: **Impacts of Climatic Variations on Agriculture**, v. 2: Assesments in semiarid regions, M. P. Parry, T.R. Carter e N. T. Konijn(eds.), D. Reidel Pub. Co., 764p. 1988.

PAULO, A. A.; FERREIRA, E.; COELHO, C.; E PEREIRA, L. S. Drought class transition analysis through markov and loglinear models. An approach to early warning. In: **Agricultural water management**, 77, pp. 59-81, 2005.

PESSOA, D. M.; CAVALCANTI, C. V. **Caráter e efeitos da seca nordestina de 1970**. Fortaleza: Banco do Nordeste; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 301 p. 2002.

PERH-PE - **Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-PE**. Documento Síntese, Pernambuco, Recife: SECTMA, 1998.

ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El-Nino Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 2, p. 268-284, 1989.

SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 575–596, 2004.

SOUSA, M. **Análise Semi-integrada dos solos da Serra da Aratanha, Ceará**. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa, MG 2009. <www.geoufv.br/simposio/simposio/trabalho_completos/eixo/7/001.pdf>. 2009. Acesso em: 15 de dezembro de 2012.

SOUZA, E. B. **Um Estudo Observacional sobre o Padrão de Dipolo de Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Tropical**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos – SP, 117p, 1997.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, Washington, v.86, n.4, p.117-122. 1958.

XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva: Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional**, Cap.3e 6 / Cap.11, ABC Editora, Fortaleza-Ceará, 478 p, 2001

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L. Interrelações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 111-126. 2003.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S; ALVES, J. M. B. **Quantis & Eventos Extremos: Aplicações em Ciências da Terra e Ambientais.** RDS editora, Fortaleza, Ceará. 2007.

VILLA, M. A. **Vida e morte no sertão.** São Paulo: Ática, 2000.

Data de submissão: 19.12.2013

Data de aceite: 19.03.2015

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.