

Revista Brasileira de Geografia Física



ISSN:1984-2295

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Variação do índice de aridez e tendência climática à desertificação para a região semiárida do nordeste brasileiro

Iug Lopes 1; Saulo Medrado dos Santos 2; Brauliro Gonçalves Leal 3; Juliana Maria Medrado de Melo 4

¹ Doutorando Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900, Recife - PE. Bolsista CAPES. e-mail: iuglopes@hotmail.com (autor correspondente). ² Doutorando Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Geremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina – CEP: 40170-970, Salvador - BA. Bolsista CAPES. e-mail: saulomedrado1@gmail.com. ³ Professor Doutor Colegiado de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Av. Antonio Carlos Magalhães, 510 Country Club, CEP: 48.902-300 Juazeiro-BA. e-mail: brauliro.leal@univasf.edu.br; ⁴ Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900, Recife - PE. Bolsista FACEPE. e-mail: medrado.juliana@gmail.com.

RESUMO

Uma das formas mais úteis e aplicadas para estudos de verificação da Tendência à Desertificação (TD) é através do cálculo do Índice de Aridez (IA). Assim, o presente trabalho se utiliza de tal metodologia para verificação da situação do IA e da TD na região semiárida do Nordeste brasileiro. O objetivo foi a investigação da variação do IA e suas classificações ao longo do período de 1961 a 2015, utilizando-se de séries temporais de 30 anos, além da TD para a região alvo do estudo. É consenso na literatura a ocorrência da redução do IA para a região semiárida do Nordeste, sendo que cada estado apresenta uma situação peculiar e possível justificativa para a ocorrência. Com os resultados foi possível observar que apesar de mudanças do IA em muitas localidades, observou-se que não ocorreu alterações na classificação a Tendência à Desertificação. Verificou-se também a necessidade de aprofundamento destes estudos utilizando de variáveis climáticas, com a utilização de mais variáveis e com o uso da modelagem numérica e de tendência no que diz respeito à avaliação da desertificação para algumas regiões que foram pouco conclusivas neste estudo. Palavras-chave: Mudanças climáticas, médias móveis, climatologia.

Variation of aridity index and climatic trend to desertification for the semi-arid region of the Brazilian Northeast

ABSTRACT

One of the most useful and applied forms for verification of the Desertification Trend (TD) is through the calculation of the Aridity Indices (IA). Thus, the present work uses such methodology to verify the situation of IA and TD in the semi-arid region of Northeast Brazil. The objective was to investigate the variation of AI and its classifications over the period from 1961 to 2015, using a time series of 30 years, in addition to TD for the target region of the study. It is a consensus in the literature the occurrence of IA reduction for the semi-arid region of the Northeast, with each state presenting a peculiar situation and possible justification for the occurrence. With the results was possible to observe that in spite of changes of the IA in many localities, it was observed that there were no changes in the classification of the Tendency to Desertification. It was also verified the need to deepen these studies using climatic variables, with the use of more variables and with the use of numerical and trend modeling with regard to the evaluation of desertification for some regions that were not conclusive in this study.

Keywords: Climate change, moving averages, climatology.

Introdução

A utilização do fator aridez para fins de estudos sobre a desertificação ocorreu a primeira vez em 1977 com a utilização do Índice de Aridez (IA), elaborado por Thornthwaite (1941) e ajustado posteriormente por Penman (1953) como aplicação ao Plano de Ação de Combate à Desertificação das Nações Unidas. O emprego deste índice permite

verificar a relação entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema pela evapotranspiração potencial (Matallo Júnior, 2003; Freitas, 2005; Souza, 2004).

A importância do IA para estudos sobre a desertificação está no fato da determinação de limites das áreas com classificações distintas,

sendo que o cálculo deste índice indica um estado de condição climática. Este cálculo é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis climaticamente à desertificação, já que utiliza variáveis quantitativas para tal análise (Sampaio, 2003).

O IA calculado a partir de dados anuais do Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHCN), desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), é considerado um instrumento agrometeorológico de utilidade e praticidade na caracterização do clima (Camargo, 1971; Camargo e Camargo, 1993; Sentelhas, 1999; Basso, 2015).

A fim de estimar a variabilidade do clima e as suas modificações, uma vez que este fenômeno está associado à qualidade de vida e a fatores sociais e econômicos das populações que são afetadas direta e indiretamente pelas alterações do clima do Nordeste do Brasil, este trabalho tem por objetivo, realizar um estudo utilizando dados de séries históricas de Precipitação e Temperatura, em sete estados da região nordeste (Alagoas, Bahia, Pernambuco, Paraíba, Ceará Piauí e Sergipe) obtidos junto ao Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET) para investigação da variação do IA através do cálculo do BHCN e com este apresentar a classificação de aridez além da tendência de suscetibilidade à desertificação para a região alvo do estudo.

Levando em consideração o trabalho de Santos et al. (2016), ressalta-se que a desertificação não pode ser analisada apenas por um viés. Deve ser entendida como um fenômeno integrador de processos ambientais, socioeconômicos e climáticos. Para este trabalho ela foi analisada apenas a partir do principal fator, o clima. Utilizouse metodologia similar a proposta por Lopes e Leal (2015).

Material e métodos

A área de estudo foi selecionada visando uma distribuição de estações para região central do semiárido brasileiro. Utilizou-se dados históricos de Temperatura e Precipitação para um total de vinte e oito (28) estações representadas através da Figura 1.

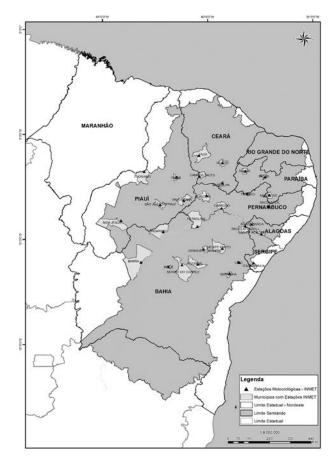


Figura 1. Localização das cidades onde estão instaladas as estações meteorológica do INMET utilizadas para o estudo.

Dados utilizados

As 28 estações meteorológicas selecionadas para o estudo estão localizadas nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Sergipe. Os dados de Temperatura Média Compensada e Precipitação Média Anual foram obtidos junto ao INMET, referentes às estações e para o período de 1961 a 2015.

Foram levantados valores mais próximos possíveis a 30 anos consecutivos de dados, conforme recomenda a World Meteorological Organization (WMO, 1989). Esse período se caracteriza por ser um tempo longo o suficiente para filtrar as variações interanuais ou anomalias, mas também curto o suficiente para ser capaz de mostrar as tendências climáticas.

Para determinação das séries temporais, foi utilizada médias móveis, buscando o máximo de

anos para melhor representatividade das séries. Com a finalidade de melhor compreensão do formato adotado, identificou-se com um "S" antes de cada ano de início e fim das séries temporais.

Como exemplo da aplicação das médias móveis, temos para estação de Água Branca - AL: a série de dados tem início em 1977 e fim em 2015, o que permite construir séries de 30 anos a partir de 2006, logo temos a série S2006 que corresponde à média dos valores de 30 anos que vai de 1977 a 2006; S2007, a média dos valores de 30 anos de dados que vai de 1978 a 2007 e assim, sucessivamente, até a série S2015, a média dos valores de 30 anos de dados que vai de 1986 a 2015, num total de 10 séries.

A localização das estações assim como suas referências, os períodos inicial e final de obtenção dos dados e as séries inicial e final para cada estação trabalhada são listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Localização geográfica, período de dados levantado junto ao INMET, série e total de elementos na série para cada estação.

e para cada estação.	Longitude	Latitude	Período	Período	Série	Série	Total de
Estação	(°)	(°)	Inicio	Final	Inicial	Final	Séries
Água Branca - AL	-37,90	-9,28	1977	2015	S2006	S2015	10
Pão de Açúcar – AL	-37,43	-9,75	1977	2015	S2006	S2015	10
Monte Santo - BA	-39,29	-10,43	1961	2015	S1990	S2015	26
Senhor do Bonfim - BA	-40,18	-10,46	1977	2015	S2006	S2015	10
Remanso - BA	-42,10	-9,63	1961	2015	S1990	S2015	26
Paulo Afonso - BA	-38,21	-9,36	1962	2015	S1991	S2015	25
Jacobina - BA	-40,46	-11,18	1961	2015	S1990	S2015	26
Morro do Chapéu - BA	-41,21	-11,21	1962	2015	S1991	S2015	25
Irecê – BA	-41,86	-11,30	1973	2015	S2002	S2015	14
Serrinha - BA	-38,96	-11,63	1961	2015	S1990	S2015	26
Barra - BA	-43,16	-11,08	1977	2015	S2006	S2015	10
Cipó – BA	-38,51	-11,08	1961	2015	S1990	S2015	26
Cabrobó - PE	-39,33	-8,51	1963	2015	S1992	S2015	24
Petrolina - PE	-40,48	-9,38	1963	2015	S1992	S2015	24
Triunfo – PE	-38,11	-7,81	1961	2015	S1990	S2015	26
Arco Verde - PE	-37,08	-8,41	1973	2015	S2002	S2015	14
Monteiro - PB	-37,06	-7,88	1963	2015	S1992	S2015	24
Patos – PB	-37,26	-7,01	1976	2015	S2005	S2015	11
São Gonçalo - PB	-38,21	-6,75	1961	2015	S1990	S2015	26
Iguatu – CE	-39,29	-6,36	1961	2015	S1990	S2015	26
Tauá – CE	-40,41	-6,00	1964	2015	S1993	S2015	23
Campos Sales - CE	-40,38	-7,00	1963	2015	S1992	S2015	24
Barbalha - CE	-39,29	-7,31	1973	2015	S2002	S2015	24
Paulistana - PI	-41,13	-8,13	1976	2015	S2005	S2015	11
Picos – PI	-41,48	-7,03	1966	2015	S1995	S2015	21
Bom Jesus do Piauí - PI	-44,11	-9,10	1971	2015	S2000	S2015	16
Floriano - PI	-43,01	-6,76	1971	2015	S2000	S2015	16
Itabaianinha - SE	-37,81	-11,11	1963	2015	S1992	S2015	24

Os dados das médias móveis de Temperatura Média Compensada e Precipitação Média Anual foram utilizados de forma direta no cálculo do BHCN, segundo metodologia proposta por Thornthwaite e Matter (1955). Foram calculados 700 BHCN, 25 para cada estação, para o período de 1961 a 2015. Utilizando de metodologia aplicada em diversas pesquisas (Ufoegbune et al., 2011; Francisco et al., 2015; Carvalho et al., 2015).

O cálculo da ETP (mensal) foi realizado através da Equação 1:

$$ETP = 16,2 [10.T/I]^a$$
 Eq. 1

Onde "T" corresponde a temperatura média compensada (°C) e "T" o índice de calor. O valor do índice "a" é determinado em função do I, de acordo com a Equação 2:

$$a = 6,750 \times 10^{-3}I - 7,711 \times 10^{-5}I + 1,792 \times 10^{-2}I + 0,492$$
 Eq. 2

Esse cálculo foi realizado com o auxílio da planilha eletrônica "BHnorm61", elaborada por Rolim et al. (1998), e a Capacidade de Água Disponível (CAD) utilizada foi 100 mm.

Calculo de Índice de Aridez e da tendência à desertificação

O Índice de Aridez (IA) foi desenvolvido por Thornthwaite (1941) e complementado por Penman (1953), pode ser calculado pela Equação 3, foi aplicado para o IA o mesmo número de cálculos do BHCN.

$$IA = Pr/ETP$$
 Eq. 3

Para as vinte e oito (28) estações selecionadas foram determinadas a classificação climática (Tabela 2) segundo a metodologia do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 1992).

Tabela 2. Classificação climática utilizando-se do IA.

Classes Climáticas	Índice de Aridez
Úmido	IA≥1,00
Subúmido Úmido	0,65 <ia<1,00< td=""></ia<1,00<>
Subúmido Seco	$0,50 < IA \le 0,65$
Semiárido	$0,20 < IA \le 0,50$
Árido	$0.05 < IA \le 0.20$
Hiperárido	IA≤0,05

Fonte: adaptado de UNEP (1992)

Com o IA calculado pôde-se classificar o nível de suscetibilidade à desertificação, adaptado da classificação proposta por Matallo Júnior e Schenkel (2003) (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação quanto ao nível de suscetibilidade à desertificação com o auxílio do Índice de Aridez.

Nível de susceptibilidade à	Índice de Aridez						
desertificação							
Inferior a moderada	IA>0,65						
Moderada	0.51 < IA < 0.65						
Alta	0,21 < IA < 0,50						
Muito alta	0.05 < IA < 0.20						
Superior a muito alta	IA<0,05						

Fonte: adaptada de Matallo Júnior (2003)

Souza et al. (2014) afirma que conhecendo as séries históricas meteorológicas e o IA, pode-se caracterizar a disponibilidade da água e o planejamento para o uso. Assim como destacar os períodos anuais que foram críticos, com perdas ou excedentes hídricos.

Análise Estatística

Realizou-se análise de regressão, a fim de identificar a tendência do IA nas séries históricas, por meio do teste de significância do coeficiente de determinação (R²), Equação 4 (Tabari et al., 2011; Wanderley et al., 2013).

$$y = a + bx$$
 Eq. 4

Sendo: "y" - Índice de Aridez; "x" - Série histórica; "a" e "b" - Coeficientes da regressão calculados pelo método dos mínimos quadrados.

Considerando a regressão linear de "y" com variável aleatória no tempo "x", que foi aplicada a todas estações, o teste de hipótese é para verificar a não existência de tendência de correlação comprovado por meio do Teste t, para o estudo em questão utilizou n-2 graus de liberdade, Equação 5.

$$EPb = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a\sum y - b\sum xy}{(n-2)(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})}}$$
 Eq. 5

Sendo: "y" - Índice de Aridez; "x" - Série histórica; "a" e "b" - coeficientes da regressão calculados pelo método dos mínimos quadrados; "n" - número do espaço amostral, n=25.

A hipótese de que não há a tendência de correlação pode ser rejeitada se o valor de x calculado é maior, em valor absoluto, do que o valor crítico, a um nível de significância α. Para os cálculos dos testes de tendências foram adotados os níveis de significância de 5% e 1%.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos do IA para as Séries Temporais (ST's) dos dados das estações meteorológicas selecionadas para área de estudo estão agrupados por estado de localização, assim como suas devidas análises dispostas em figuras e tabelas.

Variação do Índice de Aridez

Alagoas

Com os resultados para as estações do estado de Alagoas (Água Branca e Pão de Açúcar), foi possível observar variações em apenas uma delas com o passar dos anos das ST's (Figura 2a). Na primeira estação (Água Branca) não foi possível observar uma variação representativa para modificação de IA permanecendo como uma região de classificação climática Subúmido Úmido. Essa insignificância está clara no Coeficiente de Determinação (R²) entre as ST's e o IA, com um valor de 0,0135 para a equação linear obtida e teste t não significativo (Tabela 4).

Tabela 4. Equações e significâncias para as estações do estado de Alagoas

Estação	Séries	Equações	Coeficiente de Determinação (R²)	Teste T
Água Branca - AL	9	IA = 0,0050T - 0,0712	0,0135	Não significativo
Pão de Açúcar – AL	9	IA = -0.0026T + 5.5844	0,9012	Significativo 1%

Um motivo que pode ter contribuindo para essa variação é a proximidade com o lago formado pela barragem de Paulo Afonso-Ba, que pode apresentar variações de umidade e temperatura para a região.

Para a estação de Pão de Açúcar foi observado uma tendência de redução de 0,0026 a cada ST. Assim, apesar da estação conter apenas 9 séries de 30 anos, pode ser observado uma mudança significativa no IA, porém sem alterações da classificação climática permanecendo assim na condição Semiárida. Essa situação fica clara quando observado o R², com valor de 0,9012 e teste t significativo a 1%.

Os resultados obtidos para esta estação corroboram com alguns resultados encontrados por Silva et al. (2005), onde observaram para a região grandes variações nas condições de temperatura e umidade relativa do ar. Ainda no mesmo trabalho, os autores ressaltam modelos de previsão de mudanças climatológicas em que poderia ser constatado um aumento de 1,8 a 4,0°C nos próximos anos.

Bahia

No estado da Bahia, os resultados das estações de Monte Santo, Senhor do Bonfim, Remanso, Paulo Afonso, Jacobina, Morro do Chapéu, Irecê, Serrinha, Barra e Cipó apresentaram diferentes comportamentos com o passar dos anos nas ST's e podem ser visualizados na Figura 2b.

Para esse estado, em sua totalidade, ocorreu reduções de maiores e menores valores do IA. Observou-se que muitas estações mudaram a classificação climática, sempre aumentando as condições de Aridez, sendo elas: Morro do Chapéu, Serrinha e Jacobina, indo de Subúmido Úmido para Subúmido Seco; Barra, passando de Subúmido Úmido para Semiárido; Irecê, Paulo Afonso e Monte Santo, que foram de Subúmido Seco para a classificação de Semiárido.

Compreende-se, dessa forma, que a região Semiárida da Bahia que antes possuía núcleos úmidos no seu interior, passou nos dias atuais a não mais existir. Essa situação pode ser percebida no trabalho realizado por Lopes e Leal (2015), que através do estudo das mudanças climáticas em um transecto horizontal na Bahia concluíram que existe uma redução de forma seguida e gradual,

fazendo com que as regiões de transição entre Semiárido e Litoral se aproximem cada vez mais do litoral, que das regiões semiáridas.

De forma sub agrupada, temos as estações localizadas em Serrinha e Cipó, como as que apresentaram uma grande taxa de redução de IA pelas ST's. Para a primeira, a redução do IA ficou em 0,0103 por ano da ST e para a segunda, 0,0158 (Tabela 5). Esses valores representam uma

acentuada restrição de disponibilidade hídrica, em que pode estar associada a elevação da temperatura ou redução de precipitação para a região. Evangelista (2011), explica que para essas regiões da Bahia, o grande aumento do índice de desmatamento pode estar interferindo diretamente na distribuição de umidade, consequentemente precipitação e temperatura.

Tabela 5. Equações e significâncias para as estações do estado da Bahia

Estação	Séries	Equações	Coeficiente de Determinação (R²)	Teste T		
Monte Santo - BA	25	IA = -0.0038T + 8.0834	0,8925	Significativo 1%		
Senhor do Bonfim - BA	9	IA = -0,0059T + 12,5260	0,8973	Significativo 1%		
Remanso - BA	25	IA = -0.0039T + 8.1335	0,9373	Significativo 1%		
Paulo Afonso - BA	24	IA = -0.0038T + 8.0821	0,8725	Significativo 1%		
Jacobina - BA	25	IA = -0,0069T + 14,3801	0,9486	Significativo 1%		
Morro do Chapéu - BA	24	IA = -0.0076T + 16.0060	0,9126	Significativo 1%		
Irecê - BA	13	IA = -0.0061T + 12.7140	0,9259	Significativo 1%		
Serrinha - BA	25	IA = -0.0103T + 21.2440	0,9077	Significativo 1%		
Barra - BA	9	IA = -0.0057T + 11.8430	0,8883	Significativo 1%		
Cipó - BA	25	IA = -0.0158T + 32.1880	0,8842	Significativo 1%		

Um outro subgrupo analisado e que está em grande acentuação da aridez é a região de Senhor do Bonfim, com redução do IA ficando em 0.0059 por ano, Jacobina com redução de 0.0069, Morro do Chapéu com redução de 0,0076 e Irecê com redução de 0,0061 (Tabela 5). Essas regiões estão associadas a variação de relevo, presença de inicialmente vegetação e com disponibilidade hídrica, porém com variações significativas. Silva e Azevedo (2008) constataram em seus resultados que para essas regiões ocorreu um aumento da temperatura, principalmente a máxima, e uma redução da precipitação, pincipalmente a mínima. Dessa forma fica evidente os fatores que estão proporcionando a redução do IA.

Para as outras regiões da Bahia, que apesar de uma menor acentuação da situação quanto ao IA, apresentaram um R² bom e teste t significativos a 1%. Ainda tratando da mudança na tendência a

desertificação para a Bahia, a mesma pode ser melhor compreendida com os resultados de Silva et al. (2012) que relatam a influência do processo de estiagem vivenciado na última década.

Ceará

Para o estado do Ceará, os resultados das estações de Iguatu, Tauá, Campos Sales e Barbalha apresentaram variações com o passar das ST's (Figura 2c), porém todas com decréscimo no IA. Os resultados de redução foram semelhantes, com variação de 0,0031 a 0,0057 (Tabela 6). Esses valores já estão sendo representativos na redução da quantidade de água, como pode ser observado nos estudos do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014), onde é exposto que municípios da área Semiárida do Ceará, apresentam situações críticas a respeito dos índices de Balanço Hídrico.

Tabela 6. Equações e significâncias para as estações do estado do Ceará

Estaçã	ío Séries	Equações	Coeficiente de Determinação (R²)	Teste T
Iguatu -	CE 25	IA = -0.0057T + 11.9781	0,9295	Significativo 1%

Tauá - CE	22	IA = -0,0049T + 10,1781	0,8798	Significativo 1%
Campos Sales - CE	23	IA = -0.0031T + 6.5685	0,8547	Significativo 1%
Barbalha - CE	13	IA = -0.0035T + 7.8217	0,7828	Significativo 5%

Apesar das variações de classificação das estações, a única que passou por modificação na sua classificação foi a de Iguatú. Em observação das equações que modelam a redução linear no IA, verificou-se que Iguatú foi a que sofreu maior redução. Esses resultados podem ser justificados pelos estudos realizados por Araújo Neto et al. (2013), em que relatam que a região possui uma precipitação abaixo da média para os últimos anos.

Em estudos realizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUCEME) para períodos de 1971 a 2000 e de 1961 a 2003, e que trabalhou com dados de 600 estações pluviométricas no Estado, foi possível observar a tendência de diminuição da precipitação em ambos os períodos (Magalhães, 2007). Diante desse contexto, as mudanças climáticas já eram observadas desde uma década anterior. Dessa forma, se confirma a importância dos resultados encontrados pelo presente trabalho para a região Semiárida do estado do Ceará.

Paraíba

No estado da Paraíba, os resultados das estações de Monteiro, Patos e São Gonçalo apresentaram variações nas ST's e podem ser visualizados na Figura 2d.

Com a observação dos valores de IA, percebe-se uma variação não tendenciosa e assim pouca possibilidade de explicação dos fenômenos que podem estar contribuindo. Porém Freitas et al. (2011) verificaram uma redução significativa em partes do Sertão e Alto Sertão paraibano, pela mudança da classificação climática, ou seja, mudaram para uma de maior limitação hídrica.

Uma outra observação interessante é para a região de Monteiro, em que apesar de não apresentar variações de tendência, passou por uma reclassificação climática de restrição hídrica mais severa. Quando observado o R² e o Teste t (Tabela 7), fica claro a total descontinuidade linear para esta estação. A mesma situação pode ser verificada para São Gonçalo.

Tabela 7. Equações e significâncias para as estações do estado da Paraíba

	Estação		Equações	Coeficiente de Determinação	Teste T
				(R^2)	
	Monteiro - PB	23	IA = -0.0013T + 2.9891	0,0741	Não significativo
	Patos - PB	10	IA = 0,0052T - 10,7301	0,8513	Significativo 1%
S	ão Gonçalo - PB	25	IA = 0,0008T - 1,0149	0,0769	Não significativo

Já para Patos, uma das poucas que apresentaram um acréscimo contínuo no IA, com um R² satisfatório, reforçando pela significância de 1% no Teste t.

Pode ser encontrado na literatura vários estudos que relatam a acentuação da aridez na Paraíba, a exemplo de Almeida et al. (2014) que relataram uma tendência significativa de aumento de temperatura média para o período de 2071 a 2100.

Pernambuco

No estado de Pernambuco, os resultados das estações de Arco Verde, Cabrobó, Petrolina e Triunfo apresentaram diferentes comportamentos com o passar das ST's e podem ser visualizados na Figura 2e.

Analisando os dados do IA para as estações do estado de Pernambuco, observa-se que com exceção de Triunfo, todas as outras estão estabilizadas ou com pequenas variações. Pode ser compreendida essa possível estabilização através de um estudo realizado ainda na década de 70, por Nimer (1979), onde já era observado a má distribuição das chuvas entre as microrregiões de Pernambuco.

Para a região de Triunfo, foi possível observar uma variação representativa para modificação de IA saindo de uma região de classificação Úmida para Subúmida. Apresenta uma grande taxa de redução de IA pelas ST's, sendo 0,0111 por ano. Essa significância está clara no Coeficiente de Determinação (R²) entre as ST's e o IA, com um valor de 0,8201 para a equação obtida e Teste t significativo a 1% (Tabela 8).

Tabela 8. Equações e significâncias para as estações do estado de Pernambuco

	•	<u> </u>	Coeficiente de	Teste T		
Estação	Séries	Equações	Determinação			
			(R ²)			
Cabrobó - PE	23	IA = -0.0026T + 5.4719	0,8956	Significativo 1%		
Petrolina - PE	23	IA = -0.0031T + 6.3124	0,9526	Significativo 1%		
Triunfo - PE	25	IA = -0.0111T + 23.1511	0,8201	Significativo 1%		
Arco Verde - PE	13	IA = 0,0022T - 3,8399	0,5126	Não significativo		

Piauí

Para o estado do Piauí, os resultados das estações de Bom Jesus do Piauí, Floriano, Paulistana e Picos apresentaram variações com características específicas de cada região (Figura 2f).

A seca constante nos últimos anos está fazendo com que ocorra uma redução do IA e assim permitindo reclassificação para estações de Bom Jesus do Piauí, que permutou de Subúmido Úmido para Semiárido, e Floriano de Subúmido Úmido para Subúmido Seco.

Andrade Júnior et al. (2005) observaram o início da acentuação da aridez para várias regiões no Piauí, uma delas é a de Bom Jesus do Piauí. Os autores associaram essa mudança a uma maior variabilidade espaço temporal observada, acentuando assim quanto à classificação e regionalização de índices climáticos.

Para a região de Paulistana, com os resultados obtidos não foi possível fazer inferências significativas, apenas que o tempo estudado pode não ter sido representativo para a observação de tendências climáticas (Tabela 9).

Tabela 9. Equações e significâncias para as estações do estado do Piauí

			Coeficiente de	Teste T
Estação	Séries	Equações	Determinação	
			(R ²)	
Paulistana - PI	10	IA = 0.0011T - 1.8511	0,3531	Não significativo
Picos - PI	20	IA = -0.0037T + 7.8601	0,9104	Significativo 1%
Bom Jesus do Piauí - PI	15	IA = -0,0096T + 19,9222	0,9019	Significativo 1%
Floriano - PI	15	IA = -0,0059T + 12,3821	0,7284	Significativo 5%

Quando observada as equações modeladoras das tendências do IA, verifica-se que Picos e Bom Jesus do Piauí possuem valores de R² superiores a 90% e junto com Floriano, foi verificado uma significância do Teste t.

Sergipe

Para o estado de Sergipe, o resultado da estação Itabaianinha apresentou variações, inclusive com reclassificação do IA (Figura 2g). A região de Itabaianinha passou por modificações no IA, com uma tendência de grande redução nos períodos inicias e com uma de menor proporção do meio para o final das ST, passando da classificação Úmido para Subúmido Úmido (Tabela 10).

Tabela 10. Equação e significância para a estação do estado de Sergipe

Estação	Séries	Equações	Coeficiente de Determinação (R²)	Teste T
Itabaianinha - SE	25	IA = -0.0046T + 10.1661	0,7498	Significativo 5%

Essa situação pode ser verificada pelo estudo de Santos et al. (2011), em que observaram tendência de aumento na temperatura do ar média anual para a região, como também comportamento similar para todo o Nordeste do Brasil. Quando

observado precipitação, verificaram estabilidade, o que é justificável para Sergipe por estar próximo ao litoral.

A redução do IA foi modelada por uma equação linear, com decréscimo de 0,0046. Sendo

que esse valor já é representativo na redução da disponibilidade hídrica. Com um R² de 0,7498 e um Teste t significativo a 5%, pode-se considerar

um resultado aceitável quando se trata de dados climáticos (Tabela 10).

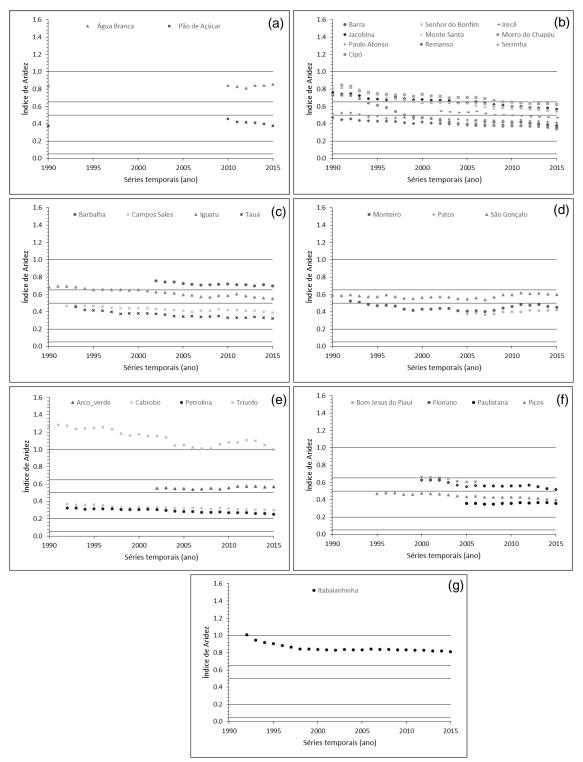


Figura 2. Dispersão do IA para o estado de (A) Alagoas, (B) Bahia, (C) Ceará, (D) Paraíba, (E) Pernambuco, (F) Piauí e (G) Sergipe ao longo dos anos das séries. As linhas em cinza (paralelas ao eixo da série) representam as faixas de classificação climática pela aridez, adaptada da metodologia da UNEP (1992), sendo IA<0,05 Hiperárido, 0,05<IA<0,2 Árido, 0,20<IA<0,5 Semiárido, 0,5<IA<0,65 Subúmido Seco, 0,65<IA<1 Subúmido Úmido, 1,00<IA Úmido.

Semiárido do Nordeste

Através dos resultados aqui expostos foi possível observar uma notória redução do IA para a região Semiárida do Nordeste, que pode ser fundamentada através das atividades de monitoramento do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014) onde consiste na análise e na interpretação de um grande número de informações diárias e mensais acerca das condições da atmosfera, dos oceanos tropicais e do estado da vegetação na Região Nordeste.

Com a avaliação dessas informações, destacam-se alguns parâmetros que favorecem a mudanças de ordem climática e que podem estar causando interferências e variações no IA, tendo por análise e interpretação: da posição e intensidade (no Oceano Atlântico Equatorial) da Zona de Convergência Intertropical-ZCIT; da persistência de sistemas convectivos de chuvas; da evolução do ciclo diurno de precipitação; das previsões numéricas de episódios El Niño-Oscilação Sul no Oceano Pacífico, com base em modelos de previsão estatísticas e dinâmicas.

Outro fator que possibilita a compreensão da redução do IA, foi obtido por Santos et al. (2011), onde concluíram que a região Nordeste do Brasil apresenta tendências altamente significativas para o aumento das temperaturas médias do ar. Sendo o período modelado mais crítico entre a situação climática atual e o cenário para o ano de 2050, com as maiores taxas de aumento dessa variável.

Uma forma interessante de iniciar as verificações dos componentes causadores das alterações do IA para a região Nordeste poderia ser através de estudos sobre a regionalização da precipitação (Fragoso, 2004), assim como também estudos da espacialização regional das mudanças de temperatura (Mani, 2016). Dessa forma, podese obter resultados referentes a intensificação de eventos extremos nos últimos anos.

Tendência à desertificação (TD)

Na Tabela 11 pode-se observar o histórico das ST's para a Tendência de Desertificação (TD) para a região Semiárida do Nordeste.

Através dos resultados obtidos, podemos afirmar que a região estudada do estado de Alagoas não passou por reclassificação climática, ou seja, reclassificação da TD, porém (Wanderley et al., 2013) em estudo de precipitação, observaram que para o período compreendido entre os anos superiores a 10 em relação aos últimos anos,

apresentaram pontos de descontinuidade da precipitação, assim podendo estar associado a uma redução de precipitação para a região. Além de que, Gois et al. (2005) observaram uma TD maior para as Mesorregiões do Sertão e Sertão do São Francisco através do agravamento dos IA's que estavam ficando com menor diferença quando se aproximayam do litoral.

Para Bahia, as localidades estudadas apresentam tendência à desertificação, sendo classificada estas áreas como alta suscetibilidade. Verificou-se que as condições climáticas poderão ser agravadas, devido a uma sequência de redução de IA muito grande. Onde as regiões que possuem uma classificação Úmido, tenderão a classificação Hiperárida dentro dos próximos anos. Assim, constatando mais uma vez que a fronteira de transição (semiárido-litoral) está mudando em consequência das ações humanas (Grande et al., 2014).

Vale ressaltar que com exceção da região de Remanso, todas as outras regiões passaram por reclassificação de TD, ainda assim deve-se ter um olhar especial para Cipó que passou de um nível Superior a Moderada para Alta apenas nesse período de estudo.

Para o estado do Ceará, a região de Iguatu passou por uma reclassificação quanto a TD, saindo de Moderada à Alta. Apesar da permanência das outras regiões na mesma classificação, há uma tendência de elevação na classificação, como pode ser visto no estudo de Santos et al. (2014), onde verificaram nas áreas um aumento da temperatura num intervalo de 0,1 a 9 °C, fazendo relação entre o distanciamento de áreas vegetadas a aproximação de áreas em processo de degradação ambiental e a tendência à desertificação, essa diferença atinge valores superiores a 9 °C.

Foi observado para o estado da Paraíba que a região de Monteiro passou por reclassificação da TD e que há outras regiões com classificação de Alta TD. Em pesquisas realizadas, foi observado que o Estado possui maior extensão territorial comprometida com a desertificação no Brasil, sendo 71% vulnerável aos efeitos da desertificação, apresentando 29% do seu território em nível de degradação da terra, considerado muito grave (Alves et al., 2009).

Para a região semiárida de Pernambuco observa-se que não ocorreram alterações na classificação à TD, porém a região já apresenta tendência Alta à desertificação. Deve-se salientar que algumas estações utilizadas para este estudo estão próximas a zonas de transição com uma perspectiva de redução ainda mais do IA podendo

ocorrer reclassificações nos próximos anos. Ressalta-se que essa possível reclassificação pode estar associada ao rigor do período de estiagens que a região tem passado nas últimas décadas (Roni et al., 2016).

Para o estado do Piauí, foi verificada modificações de classificação quanto à TD para a região de Bom Jesus do Piauí, corroborando com o trabalho de Alves et al. (2009), demonstraram que a desertificação é realidade na região e que resulta de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas. Para o Piauí deve-se ter um destaque que possui regiões com diferentes classificações, porém a sua maior área e mais acentuada TD está ao sul do estado.

A única estação selecionada para o estado de Sergipe não apresentou mudanças de TD, isso pode estar associada aos fatores climáticos de proximidade do litoral. Porém em estudos realizados por David et al. (2010), observaram tendências crescentes na temperatura do ar estatisticamente significativas e dessa forma contribuído para o processo de transferência de água para a atmosfera.

Assim, se faz importante ressaltar para todos os estados, que todas as mudanças de índice de aridez vão depender de uma sequência do cenário pluviométrico.

Tabela 11. As estações meteorológicas estão representadas na primeira linha, sendo: 1 = Água Branca, 2 = Pão de Açúcar, 3 = Barra, 4 = Senhor do Bonfim, 5 = Cipó, 6 = Irecê, 7 = Jacobina, 8 = Monte Santo, 9 = Morro do Chapéu, 10 = Paulo Afonso, 11 = Remanso, 12 = Serrinha, 13 = Barbalha, 14 = Campos Sales, 15 = Iguatu, 16 = Tauá, 17 = Monteiro, 18 = Patos, 19 = São Gonçalo, 20 = Arco verde, 21 = Cabrobó, 22 = Petrolina, 23 = Triunfo, 24 = Bom Jesus do Piauí, 25 = Floriano, 26 = Paulistana, 27 = Picos, 28 = Itabaianinha. Valores da classificação da tendência a desertificação, das estações localizadas no estado da Bahia. Sendo: 1: Superior a Moderada; 2: Moderada; 3: Alta.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1990	-	-	-	-	1	-	1	2	-	2	3	1	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	1	-	1	2	1	2	3	1	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	1	-	1	2	1	2	3	1	-	3	1	-	2	-	2	-	3	3	1	-	-	-	-	1
1993	-	-	-	-	1	-	1	2	1	2	3	1	-	3	1	3	2	-	2	-	3	3	1	-	-	-	-	1
1994	-	-	-	-	2	-	1	3	1	3	3	1	-	3	1	3	3	-	2	-	3	3	1	-	-	-	-	1
1995	-	-	-	-	2	-	1	3	1	3	3	1	-	3	1	3	3	-	2	-	3	3	1	-	-	-	3	1
1996	-	-	-	-	2	-	1	3	1	3	3	1	-	3	1	3	3	-	2	-	3	3	1	-	-	-	3	1
1997	-	-	-	-	2	-	1	3	1	3	3	1	-	3	1	3	3	-	2	-	3	3	1	-	-	-	3	1
1998	-	-	-	-	3	-	1	3	1	3	3	1	-	3	1	3	3	-	2	-	3	3	1	-	-	-	3	1
1999	-	-	-	-	3	-	1	3	1	3	3	1	-	3	2	3	3	-	2	-	3	3	1	-	-	-	3	1
2000	-	-	-	-	3	-	1	3	1	3	3	2	-	3	1	3	3	-	2	-	3	3	1	1	2	-	3	1
2001	-	-	-	-	3	-	1	3	1	3	3	2	-	3	2	3	3	-	2	-	3	3	1	1	2	-	3	1
2002	-	-	-	-	3	2	1	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	-	2	2	3	3	1	1	2	-	3	1
2003	-	-	-	-	3	2	1	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	-	2	2	3	3	1	2	2	-	3	1
2004	-	-	-	-	3	2	2	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	-	2	2	3	3	1	2	2	-	3	1
2005	-	-	-	-	3	2	2	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2006	1	3	3	2	3	2	1	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2007	1	3	3	2	3	2	2	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2008	1	3	3	2	3	2	2	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2009	1	3	3	2	3	2	2	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2010	1	3	3	2	3	3	2	3	1	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2011	1	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1

2012	1	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2013	1	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2014	1	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1
2015	1	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	1

Conclusões

A região Semiárida do Nordeste do Brasil apresenta tendências estatisticamente significativas de aumento nas condições de aridez.

O resultado da análise da tendência climática à desertificação indicou aumento para os cenários estudados, indicando que a região pode se tornar área de grande processo de desertificação.

Se faz necessário o aprofundamento deste estudo, envolvendo mais parâmetros e metodologia, como o uso da modelagem numérica, inclusive a título de comparação, visando contribuir sensivelmente para a obtenção de novos resultados.

Referências

- Almeida, H.A., Aguiar, D.B., Silva, J.N., Damaseceno, J., 2014. Indicadores hídricos do núcleo de desertificação da Microrregião do Seridó Ocidental da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física 7, 10-24.
- Alves, J.J.A., Souza, E.N., Nascimento, S.S., 2009. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. Rev. RAEGA 17, 139-152.
- Andrade Júnior, A.S., Bastos, E.A., Barros, A.H.C., Silva, C.O., Gomes, A.A.N., 2005. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. Rev. Cie. Agron. 36, 143-151.
- Araújo Neto, J. R., Andrade, E. M., Palácio, H. A. Q., Santos, J. C. N., Lobato, F. A. O, 2013. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. Water Res. and Irri. Manage. 2, 111-120.
- Basso, R., Allasia, D., Tassi, R., Bayer, D. M., 2015. Sub-daily extreme events distribution and changes in Northeastern Brazil in the 20th century. Proc. of the Int. Ass. of Hydro Sci. 369, 135-140.
- Carvalho, A. L., Menezes, R. S. C., Nóbrega, R. S., Pinto, A. S., Ometto, J. P. H. B., Randow, C., Giarolla, 2015 A. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. Renewable Energy 78, 26-34.

- Evangelista, A. R. S., 2011. O processo de desmatamento do bioma caatinga: riscos e vulnerabilidades socioambientais no território de identidade do sisal. Rev. Geo. de América Central 2, 1-13.
- Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., Paz, R. L. Da, Amorim, A. De O., Cardoso, A. S., 2009. Índices para a quantificação da seca. Embrapa Arroz e Feijão.
- Fragoso, C. R., 2004. Regionalização da Vazão Máxima Instantânea com base na Precipitação de Projeto. Revista de Recursos Hídricos 1, 5–13
- Francisco, P. R. M., Medeiros, R. M., Matos, R. M., Bandeira, M. M., Santos, D., 2015. Analysis and mapping of moisture indices, water and aridity through the BHC for the Paraíba state. Revista Brasileira de Geografia Física 8, 1093-1108.
- Freitas, J. C. De, Dantas, R. T., Andrade, A. R. S. De, Pereira, E. R. R., 2011. Análise da variabilidade de índices climáticos para estado da Paraíba PB. Pes. Aplicada & Agrotecnologia v. 4, 1-18.
- Gois, G., Souza, J. L., Silva, P. R., Oliveira Junior, J. F., 2005. Caracterização da Desertificação no Estado de Alagoas Utilizando Variáveis Climáticas. Rev. Bras. de Meteorol. 20, 301-314.
- Grande, M. H., Genz, F., Galvao, C. O., 2012. Análise da temperatura e da precipitação projetadas para a região metropolitana de Salvador, Bahia, no cenário de mudança climática A2 do período 2070 a 2099. Ver. PINDORAMA 2, 14-21.
- Lopes, I., Leal, B. G., 2015. Índice de aridez e tendência a desertificação para estações meteorológicas nos Estados da Bahia e Pernambuco. Revista Brasileira de Climatologia 17, 158-175.
- Magalhães, A. R., 2007. Mudanças Climáticas e Desertificação: implicações para o Nordeste
- Magalhães, R., Panagydes, S., 1996. Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics (International Hydrology Series), Cambridge University Press.
- Mani, A., Tsai, F. T., Kao, S. C., Naz, B. S., Ashfaq, M., Rastogi, D., 2016. Conjunctive

- management of surface and groundwater resources underprojected future climate change scenarios. J of Hydrolol. 540, 397–411.
- Maracajá, N. F., 2007. Vulnerabilidades: A construção Social da Desertificação no Município de São João Cariri PB. Dissertação (Mestrado em Geografia), UFPB, João Pessoa.
- Matallo Júnior, H. Schenkel, C. S., 2003. Desertificação. Brasília: UNESCO.
- Matallo Júnior, H., 2001. Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas. Brasília: UNESCO.
- Ministério do Meio Ambiente, 2007. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília: MMA.
- Ministério do Meio Ambiente, 2014. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. Coordenação Técnica de Combate à Desertificação. Mudanças climáticas e suas implicações para o Nordeste / relatores: Otamar de Carvalho, Nilson Holanda. Brasília: MMA, 232 p.
- Rolim, G. S., Sentelhas, P. C., Barbieri, V., 1998. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Rev Bras. de Agrometeorol. 6, 133-137.
- Roni, V. S. G., Sousa, F. A. S. De, Silva, F. D. S., Silva, V. P. R., 2016. Identificação e classificação espaço-temporal de eventos críticos chuvosos ou secos ocorridos em Pernambuco. Ciência e Natura 38, 413-428.
- Santos, E. G., Santos, C. A. C., Bezerra, B. G., Nascimento, F. C. A., 2014. Análise de parâmetros ambientais no núcleo de desertificação de Irauçuba - CE usando imagens de satélite. Rev. Bras. de Geo. Fís. 07, 915-926.
- Santos, J. O., Santos, R. M. S., Fernandes, A. A.,
 Sousa, J. S., Borges, M. G. B., Ferreira, R. T. F.
 V., Salgado, A. B., 2013. Os impactos produzidos pelas mudanças climáticas. Agrop.
 Cien. no Semiárido, 9, 9-16.
- Santos, N.D., Silva, V. P. R., Sousa F. A. S., Silva R. A., 2010. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental 14, 492–500.
- Santos, S. M. Dos, Leal, B. G., Taura, T. A., 2016. Determinação da suscetibilidade climática à

- desertificação para os municípios baianos de Juazeiro, Casa Nova, Sobradinho e Curaçá. OKARA: Geo. em debate 10, 171-184.
- Silva, G. B., Souza, W. M., Azevedo, P. V., 2012. Cenários de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia através de Estudos Numéricos e Estatísticos. Rev. Bras. Geo. Fís. 05, 1019-1034.
- Silva, G. B., Souza, W. M., Azevedo, P. V., 2012. Cenários de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia através de Estudos Numéricos e Estatísticos. Rev. Bras. Geo. Fís. 05, 1019-1034
- Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talaee, P. H., Mohammadi, K., 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. Agricultural and Forest Meteorology 151, 128-136.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38, 55-94.
- Thorthwaite, C. W., Matter, J. R., 1955. The water balance. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Institute of Theology, 104p.
- Ufoegbune, G. C., Yusuf, H. O., Eruola, A. O., Awomeso, J. A., 2011. Estimation of Water Balance of Oyan Lake in the North West Region of Abeokuta, Nigeria. British. Journal of Environment & Climate Change 1, 13-27.
- UNEP, 1992. United Nations Environment Programme. World Atlas of Desertfication. Londres: UNEP/Edward Arnold, 69 p.
- Wanderley, H. S., Sediyama, G. C., Justino, F. B.,
 Alencar, L. P., Delgado, R. C., 2013.
 Variabilidade da precipitação no Sertão do São
 Francisco, estado de Alagoas. Revista Brasileira
 de Engenharia Agrícola e Ambiental 17, 790-795
- WMO, 1989. Calculation of monthly and annual 30-year standard normals, WCDP No. 10, WMOTD No. 341. World Meteorological Organization, Geneva.
- Zhiqiang, D., Zhihua, P., Sen, W., Pingli, A.,
 Jingting, Z., Jun, Z., Yuying, P., Lei, H., Hui,
 Z., Guolin, H., Dong W., Jialin, W., Dongliang,
 F., Lin, G., Xuebiao, P., 2016. Effective crop
 structure adjustment under climate change.
 Ecological Indicators 69, 571–577.