

CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NA REGIÃO TROPICAL EM CONDIÇÕES DE EL NIÑO E LA NIÑA E SUA INFLUÊNCIA NA PLUVIOSIDADE DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Reinaldo Freire da Fonseca¹, Ketly dos Santos Nascimento², Fábio Ferreira de
Medeiros³

¹Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

²Curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal de Campina Grande, Laboratório de Simulação Computacional e Modelagem de Nanomateriais, Lab.mol, Cuité-PB, Brasil.

³Prof^o da Unidade Acadêmica de Física e Matemática, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

Email para correspondência: fabio.ferreira@professor.ufcg.edu.br

Resumo

O Semiárido Nordeste enfrenta secas frequentemente. Essas secas são ligadas a diversos fatores climáticos, como a temperatura, a umidade, a pluviosidade, a irradiação solar, a pressão atmosférica, a vegetação, aos fenômenos oceano-atmosféricos, dentre outros. Neste contexto, as análises climáticas realizadas neste artigo levaram em consideração os registros de estiagens prolongadas a partir de 1900 até o ano de 2017, com os eventos El Niño e La Niña observados a partir de 1950 até os dias atuais. Foram analisadas as relações entre as secas e estes dois fenômenos oceano-atmosféricos. Esta verificação se deu através da análise dos dados obtidos de artigos científicos, teses e agências de monitoramento do clima e do tempo, sendo estudadas e analisadas as ocorrências de secas, suas durações e sua frequência ao longo do tempo. Neste contexto, observamos que os eventos El Niño e La Niña são relevantes para entender o regime de secas no Nordeste Brasileiro.

Palavras-chave: Nordeste Brasileiro, Secas, El Niño, La Niña.

Abstract

The semi-arid northeastern often faces droughts. These droughts are linked to several climatic factors, such as temperature, humidity, rainfall, solar irradiation, atmospheric pressure, vegetation, ocean-atmospheric phenomena, among others. In this context, the climate analyzes carried out in this article took into account the records of prolonged droughts from 1900 to 2017, with the El Niño and La Niña events observed from 1950 to the present day. The relationships between droughts and these two ocean-atmospheric phenomena were analyzed. This verification took place through the analysis of data obtained from scientific articles, theses and climate and weather monitoring agencies, with the occurrence of droughts, their durations and their frequency over time being studied and analyzed. In this context, we observe that the El Niño and La Niña events are relevant to understand the drought regime in Northeast Brazil.

Keywords: Brazilian Northeast, Dried, El Niño, La Niña.

1 Introdução

O clima é caracterizado pelo comportamento dos fatores atmosféricos, levando em consideração dados históricos, que mostram as médias estatísticas da temperatura, pluviosidade, pressão atmosférica, evaporação, dentre outros fatores em um período de no mínimo 30 anos, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (MENDONÇA, 2007).

As secas são fenômenos recorrentes em várias partes do mundo, sendo observadas desde os primeiros registros climatológicos feitos pelo homem. Este estudo verificou a frequência desses acontecimentos e suas durações no Nordeste Brasileiro. As mudanças que ocorrem na quantidade e na frequência das precipitações de chuva são um dos fatores primordiais para caracterização dos climas, sejam eles locais ou regionais. O regime de chuvas no Nordeste, sobretudo o do Semiárido Nordestino, sofre variações com os fenômenos oceânicos-atmosféricos El Niño e La Niña (HASTENRATH, 1985).

Neste trabalho, serão estudadas as relações que as secas no Nordeste do Brasil têm com os fenômenos oceano-atmosféricos El Niño e La Niña, através de dados meteorológicos e históricos. Os registros de estiagens prolongadas serão comparados com os eventos das anomalias térmicas citadas acima. Os objetivos deste trabalho são descrever sucintamente como acontecem os fenômenos El Niño e La Niña; e analisar as influências desses fenômenos nas ocorrências de secas e estiagens prolongadas no Nordeste Brasileiro. Este estudo possibilita melhor compreensão do clima da região e contribui para os estudos nas áreas da climatologia e da meteorologia do Nordeste do Brasil.

2 Metodologia

Este trabalho foi realizado a partir da revisão bibliográfica de dados meteorológicos e históricos sobre a área que abrange o Nordeste Brasileiro. A revisão se deu a partir de livros, artigos, revistas, e principalmente, de páginas eletrônicas. Os dados foram coletados a partir de agências meteorológicas, tais como a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)/National

Weather Service. Os livros e artigos, em grande maioria, foram das áreas da climatologia e meteorologia.

Os dados são obtidos pelas agências meteorológicas, principalmente, através de observações instrumentais, utilizando instrumentos como barômetros, anemômetros, termômetros, heliógrafos, entre muitos outros. As estações meteorológicas podem ser de superfície, convencionais ou automáticas. Além disso, também são utilizadas imagens de satélite em canais como infravermelho, visível e vapor de água. Os dados de todas as estações e imagens de satélite são processados em supercomputadores e, posteriormente, são disponibilizados e enviados para todo o planeta.

A partir da coleta desses dados, foram elaborados os gráficos deste artigo, para facilitar a análise. Foram comparados os períodos de estiagens prolongadas com a ocorrência do El Niño, assim como comparados os períodos com pluviosidade dentro ou acima da média climatológica da região com os eventos La Niña. A comparação dos períodos em relação aos fenômenos El Niño e La Niña possibilita observar quando as influências resultaram em variações pluviométricas. Neste contexto, as análises climáticas foram realizadas a partir dos dados e levaram em consideração os registros de estiagens prolongadas a partir de 1900 até o ano de 2017, com os eventos El Niño e La Niña observados a partir de 1950 até 2021.

3 Fundamentação Teórica

O semiárido é um dos climas do Brasil, sendo encontrado predominantemente no interior do Nordeste, porém não é exclusivo dessa região. Normalmente, a média de chuvas varia entre 500 a 800 mm anuais (AB'SABER, 2003). Este clima tem um curto período de chuvas, onde elas ocorrem normalmente entre os meses de dezembro a junho, porém concentram-se nos meses de fevereiro, março e abril. O volume de chuvas é baixo e irregular; dependendo dos fatores meteorológicos. Assim, o regime de precipitações pode ser alterado e prolongar as estiagens comuns para a região (MARENGO et al., 2011).

O semiárido compreende os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e extremo norte de Minas Gerais. O semiárido apresenta diferentes zonas geográficas com distintos índices de aridez, indo desde áreas com características estritamente

de seca, com paisagem típica de semideserto a áreas com balanço hídrico positivo (ARY, 2013).

A circulação geral da atmosfera funciona como um sistema, constituído de frentes de ar e correntes de ar que estão em contato constantemente umas com as outras. Estas massas de ar podem ser originadas a partir de fatores astronômicos, que estão diretamente ligados aos movimentos da Terra, tais como rotação e translação, a influência do Sol, etc.; além também de fatores geofísicos, que são relacionadas as propriedades físicas da Terra e seus processos dinâmicos, tais como latitude, relevo, distribuição das massas de ar dos continentes e dos oceanos, marítimas, vegetação, dentre outros (VIANELLO e ALVES, 1991).

A forma que a Terra se posiciona na órbita solar é fundamental para a maneira que radiação solar se distribui no planeta, influenciando diretamente o clima de acordo com os níveis de radiação incidentes provenientes do Sol. Desta forma, é possível que aconteça a circulação da atmosfera, sabendo que os ventos partem de regiões com maior pressão atmosférica para regiões de menor pressão e que a pressão está ligada a quantidade de radiação solar absorvida (MENDONÇA, 2007).

3.1 Circulação atmosférica na região tropical em condições normais

Os padrões termodinâmicos presentes nos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical influenciam a circulação atmosférica de toda a região tropical. Em condições normais, no oceano Pacífico, acontece a circulação de convecção (célula de Walker), isto é, os ventos alísios superficiais partem da costa Oeste Sul-Americana, nas proximidades do Peru, em direção ao oceano Pacífico em baixas altitudes, e empurrando as águas superficiais quentes e a umidade que se encontram próximas a costa, para regiões distantes do oceano Pacífico, em direção à Austrália (FAEM/UFPel [s.d]).

Desta forma, há formação das nuvens carregadas de acordo com a evaporação, e estas ganham altitude pela influência da menor pressão atmosférica na região da Oceania aliada à temperatura dessas massas de ar quente. Como o sentido da circulação dos ventos ocorre de maneira contrária em alta e baixa atmosfera, estas nuvens carregadas são empurradas em

direção ao continente Sul Americano, influenciando parte da umidade que chega nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (FAEM/UFPel [s.d]).

Para ilustrar a circulação de convecção, em condições normais no Pacífico, também conhecida por célula de Walker, veja a Figura 1 a seguir.

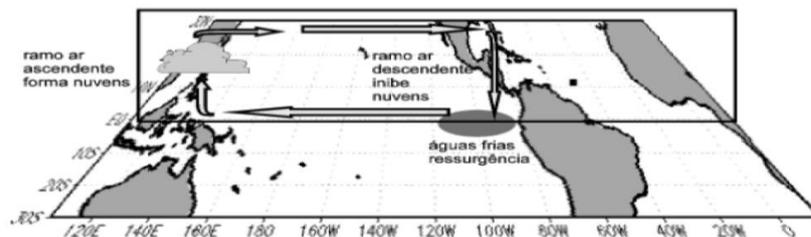


Figura 1: representação da célula de Walker sobre o Pacífico Equatorial.

Fonte: Monitor Climático/Boletim de Monitoramento Climático. O fenômeno El Niño-Oscilação Sul: Teorias, Observações e Previsões. FUNCEME, Fortaleza. 1997, v. 2, 31p.

É possível ver através da Figura 1, a componente ascendente e a componente descendente da célula de Walker; a componente ascendente está ligada a convergência, desta forma é favorável a formação de nuvens, ao passo que a componente descendente está ligada a divergência, logo dificulta a formação de nuvens. Na figura também é possível visualizar que as águas costeiras são mais frias, isto acontece devido a emersão de águas profundas, resultando no fenômeno da ressurgência.

3.2 Circulação atmosférica na região tropical em condições de El Niño

O El Niño é um fenômeno oceano-atmosférico que ocorre com frequência, e afeta o Nordeste do Brasil (HASTENRATH, 1985). Este fenômeno ocorre quando as águas superficiais do oceano Pacífico e a baixa atmosfera interagem, causando um aumento de temperatura destas águas. Isso se dá pelo enfraquecimento dos ventos alísios que vão de leste para oeste em situações normais (ventos próximos à superfície do oceano). Este enfraquecimento ocasiona alguns fatores; o primeiro é a menor dissipação do calor presente nas águas superficiais, causando aumento das temperaturas nestas regiões. Outro fator é a redução da umidade deslocada e o alcance deste deslocamento, possibilitando a formação do El Niño.

O que proporciona o enfraquecimento dos ventos alísios é a menor variação da pressão atmosférica entre o continente Sul-Americano e a Oceania. Isto causa problemas para o ciclo normal dos ventos alísios, que nestas condições, perdem intensidade ou até mesmo mudam de sentido,

partindo da Oceania em direção à costa sul-americana. Isto causa um aumento de temperatura das águas costeiras do continente Sul Americano, ocorrendo o acúmulo destas águas mais quentes (BARRETO, 2009).

Os anos com El Niño são calculados através do índice Niño Oceânico (ONI, em inglês) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). De acordo com a NOAA, um episódio de El Niño é identificado quando o índice ONI, definido pela média móvel trimestral da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para região do Niño¹ 3.4, é maior ou igual a 0,5 °C por, no mínimo, cinco meses consecutivos. Outro importante critério é quanto a intensidade do fenômeno; de 0,5 a 0,9 °C temos intensidade fraca, de 1,0 a 1,4 °C intensidade moderada, de 1,5 a 1,9 °C intensidade forte e acima ou igual a 2,0 °C intensidade muito forte (NOAA, 2021).

Para ilustrar melhor a circulação atmosférica em condições de El Niño, veja a Figura 2, onde é possível observar algumas características importantes.

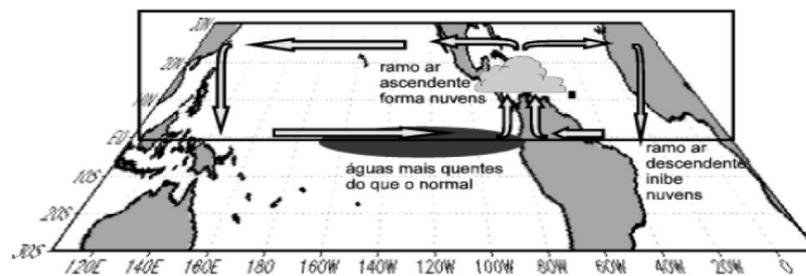


Figura 2: circulação atmosférica em condições de El Niño. Nesta condição a Célula de Walker sofre mudanças devido ao aquecimento anormal das águas do Pacífico.

Fonte: Monitor Climático/Boletim de Monitoramento Climático. O fenômeno El Niño-Oscilação Sul: Teorias, Observações e Previsões. FUNCEME, Fortaleza. 1997, v. 2, 31p.

Pode-se notar na Figura 2, que nas proximidades da costa oeste do continente Sul-Americano, especialmente no Pacífico centro-leste, ocorre uma componente ascendente da Célula de Walker, e ela favorece a formação de nuvens, pois está ligada a convergência das massas de ar. Sobre outras duas regiões a Célula de Walker apresenta componentes descendentes, a primeira é nas proximidades da Oceania, especificamente no Pacífico oeste-norte e a segunda região é a do Atlântico Equatorial, onde afeta a parte leste da Amazônia e a parte norte do Semiárido do Nordeste do Brasil. As componentes

¹ Região do Niño 3.4 fica localizada no Pacífico Equatorial, nas coordenadas 5 ° Norte -5 ° Sul; 170-120 ° Oeste; local onde são monitoradas as Temperaturas da Superfície do Mar, sendo a principal forma de monitoramento, avaliação e previsão dos eventos El Niño e La Niña.

descendentes estão ligadas a divergência das massas de ar, desta maneira dificulta a formação de nuvens nestas regiões.

Na condição de El Niño ocorre um deslocamento da massa convectiva para leste, logo também modifica o posicionamento da Célula de Walker. A justificativa para a mudança de posição é que a circulação atmosférica acontece de forma contínua, o ar quente que sobe sobre a região é empurrado, desta maneira surge uma célula descendente sobre o Atlântico Tropical, especificamente, nas regiões do Nordeste do Brasil e Amazônia oriental; as componentes descendentes podem inibir a formação de nuvens e provocar a não descida da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), provocando diminuição nos índices pluviométricos no Norte e Nordeste do Brasil (FUNCEME, 1997 apud FERREIRA e MELLO, 2005, p.25).

Podemos observar na Figura 3 uma maior formação de nuvens no Pacífico Central chegando até o Pacífico Leste, isto devido ao deslocamento da Célula de Walker provocada pela condição anômala do El Niño.

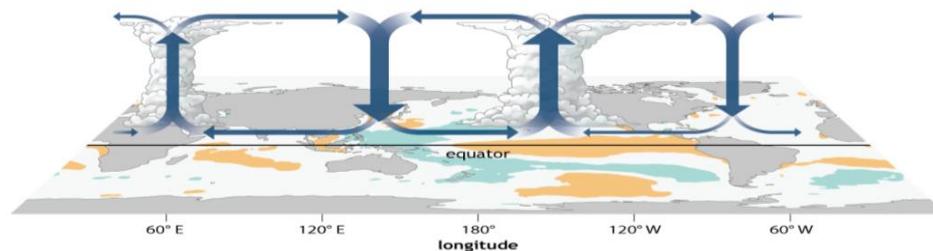


Figura 3: mudanças causadas na circulação de Walker em condições de El Niño.

Fonte: Climate.gov

O El Niño é um dos fenômenos associados a ocorrência de anos considerados secos ou muito secos, e isto depende de sua intensidade e período de ocorrência, sobretudo quando o período de ocorrência do El Niño coincide com o Dipolo Positivo do Atlântico, que é a fase positiva do gradiente meridional de anomalias da TSM, sobre o Atlântico Tropical (FERREIRA e MELLO, 2005).

3.3 Circulação atmosférica na região tropical em condições de La Niña

A La Niña, que é também um fenômeno oceano-atmosférico, pode ser compreendido como o oposto do El Niño (HASTENRATH, 1985). A La Niña ocorre quando acontece uma queda nas temperaturas normais das águas do oceano Pacífico. Quando este fenômeno climático está acontecendo, os ventos

que partem da América do Sul e vão em direção ao Pacífico Central e Ocidental empurram o ar quente para longe da costa (MENDONÇA, 2007)

Para que a temperatura das águas superficiais do oceano Pacífico caiam devido ao aumento de intensidade dos ventos alísios, é necessário que ocorra um aumento da pressão atmosférica nas proximidades do continente Sul-Americano ou diminuição da pressão nas proximidades da Oceania, causando a intensificação dos ventos superficiais, o que propicia um maior resfriamento das águas costeiras do continente, onde as temperaturas em condições normais são por volta de 25° C, mas em condições de La Niña a temperatura pode cair para cerca de 22°C, dependendo da intensidade (BARRETO, 2009).

Os anos com a ocorrência de La Niña são calculados através do índice Niño Oceânico da NOAA (ou ONI, em inglês). De acordo com a NOAA um episódio de La Niña é identificado quando o índice ONI, definido pela média móvel trimestral da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para região do Niño 3.4, é menor ou igual a -0,5 °C por, no mínimo, cinco meses consecutivos. Outro importante critério é a intensidade do fenômeno; de -0,5 a -0,9 °C temos intensidade fraca, de -1,0 a -1,4 °C intensidade moderada, de -1,5 a -1,9 °C intensidade forte e acima ou igual a -2,0 °C intensidade muito forte (NOAA, 2021).

Nestas condições de intensificação dos ventos que saem da América do Sul e vão em direção à Oceania, provocadas pelo evento La Niña, muito mais fluidos e massas de ar são empurrados e serão direcionadas ao Pacífico Equatorial Oeste. O fenômeno da ressurgência sobre influência dos ventos alísios mais intensos, aumenta a ressurgência no lado Leste do Pacífico Equatorial, provocando a chegada de mais nutrientes das profundezas do oceano para a superfície.

A circulação atmosférica acontece de forma semelhante ao que ocorre em condições normais, porém, devido a maior diferença de pressão entre as regiões, uma quantidade muito maior de água oceânica aquecida e massas de ar conseguem alcançar regiões mais a oeste, que normalmente não alcançam. Estas águas com temperaturas mais altas são fundamentais para a formação de centros de baixa pressão, além de provocarem mais evaporação. Esta evaporação em volume acima do normal tem movimento ascendente, e é o principal ingrediente para a formação de nuvens de chuva, que por sua vez dão

origem a célula de Walker de forma mais alongada do que em situações de normalidade (CPTEC /INPE, [s.d.]).

A seguir, a Figura 4 exemplifica a circulação atmosférica em condições de La Niña. É possível observar que nas proximidades da Oceania, o Pacífico está muito mais quente e com maior acúmulo de nuvens carregadas.

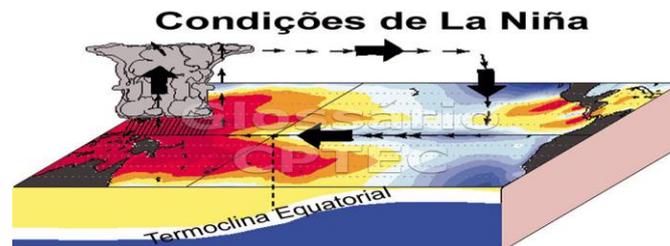


Figura 4: circulação atmosférica em condições de La Niña. Nesta condição a Célula de Walker sofre mudanças devido ao resfriamento anormal das águas do Pacífico Equatorial Leste.

Fonte: CPTEC/INPE

As condições que indicam que a oscilação negativa (La Niña) está acontecendo são a intensificação dos ventos alísios e a diminuição da Temperatura Superficial do Mar (TSM) no oceano Pacífico Equatorial Leste. A costa da América do Sul, nas proximidades do Peru, fica ainda mais fria devido à intensificação da ressurgência (ALVES et al., 2015). É possível observar que em condições de La Niña a termoclina (camada laminar onde acontece variação de temperatura) fica muito mais próxima à superfície do Pacífico Equatorial Leste. Desta maneira, as águas superficiais mais quentes são arrastadas em direção à Oceania, tornando esta região do Pacífico mais aquecida, como é mostrado na Figura 4.

Na Figura 5, a seguir, ilustra a Célula de Walker em condições de La Niña. É possível notar maior formação de nuvens no Atlântico Equatorial e Pacífico Oeste.

Observando a Figura 5, vemos que nas proximidades do Pacífico central, ocorre uma componente descendente da Célula de Walker. As componentes descendentes estão ligadas a divergência das massas de ar; e desta maneira dificulta a formação de nuvens nestas regiões. Outras duas regiões são muito importantes para nossa análise, e elas estão nos locais onde a Célula de Walker apresenta componentes ascendentes; a primeira é nas proximidades da Oceania, especificamente no Pacífico Oeste-Norte e a segunda região é a do Atlântico Equatorial, onde afeta a parte leste da

Amazônia e a parte norte do Semiárido do Nordeste. As componentes ascendentes favorecem a formação de nuvens, pois estão ligadas a convergência das massas de ar, que é um fator muito importante para as precipitações.

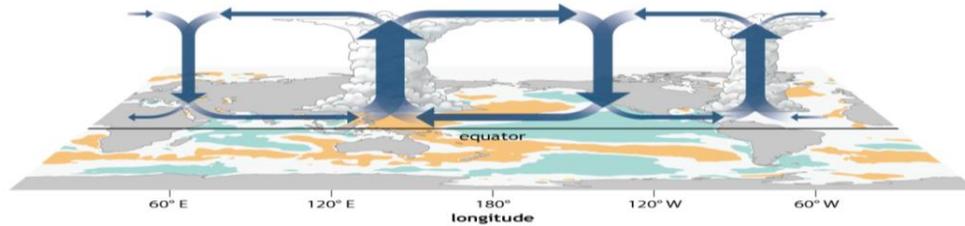


Figura 5: posicionamento da Célula de Walker em condições de La Niña.

Fonte: Climate.gov

Os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical estão entre os maiores responsáveis pela variância interanual do clima na América do Sul. Os fenômenos El Niño-Oscilação Sul acontecem sobre o Pacífico Equatorial e o gradiente meridional de anomalias da TSM sobre o Atlântico Tropical; a combinação das circulações atmosféricas incentivadas por estes fenômenos, causa influências no posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), posicionada sobre o oceano Atlântico, promovendo mudanças na distribuição de chuvas na bacia do Atlântico e em toda a região Norte da América do Sul, em especial no Nordeste Brasileiro (HASTENRATH, 1984; NOBRE and SHUKLA, 1996).

4 Resultados

As secas podem ser classificadas de acordo com suas intensidades. Esta análise normalmente é feita em áreas com características climáticas iguais ou muito próximas, e isto se aplica a microrregiões, porém não é simples generalizar o grau de intensidade de uma seca para todo o semiárido. Desta maneira, não foi descrito nos dados que serão apresentados as intensidades das secas.

Os dados a seguir mostram os registros dos anos em que ocorreram secas no Nordeste do Brasil. Quando o termo ano seco for citado, será com o mesmo propósito de anos com estiagem prolongada.

Veja os registros dos anos secos no século XX: 1900, 1902-1903, 1907, 1908, 1915, 1919, 1930, 1932-1933, 1936, 1941-1944, 1951-1953, 1958, 1966,

1970, 1976, 1979-1984, 1992-1993 e 1997-1998 (CANAMARY, 2015; MOURA e SHUKLA, 1982; MARENGO, TORRES e ALVES, 2017; ARGENTIERE, 1964).

É possível ver o registro de uma longa seca entre 1979-1984 com duração de 6 anos, causando prejuízos incalculáveis. No século XX, tem-se registro de 32 anos secos, correspondendo a 32% de todo o século, que é um percentual relativamente alto. Apresenta frequência considerável de anos seguidos de estiagens prolongadas, ou seja, secas. Em relação à distribuição dos anos secos no decorrer do século, é possível verificar uma distribuição irregular, contendo secas com durações distintas, em especial as mais longas do século entre 1941-1944 e 1979-1984 e períodos longos sem secas, como entre 1920-1929 e 1959-1965.

Na Tabela apresentamos os registros correspondentes aos anos com ocorrência de El Niño e suas intensidades, iniciando na segunda metade do século XX.

Tabela1: El Niños a partir da segunda metade do século XX.

Ano de ocorrência	Intensidade
1951-1953	Fraco
1957-1959	Forte
1963-1964	Moderado
1965-1966	Forte
1968-1970	Moderado
1972-1973	Forte
1976-1977	Fraco
1977-1978	Fraco
1979-1980	Fraco
1982-1983	Forte
1986-1988	Moderado
1990-1993	Forte
1994-1995	Moderado
1997-1998	Forte

Fonte: NOAA, 2021

Na Tabela 2, os dados fornecem os registros dos anos em que houve ocorrência de La Niña no século XX com suas devidas intensidades, a partir da segunda metade do século.

De acordo com os registros de estiagens prolongadas no século XX e registros dos eventos El Niño e La Niña e suas intensidades a partir da segunda metade do século em questão, mostrados nas Tabelas 1 e 2, foram

montados os Gráficos 1, 2 e 3 para melhor visualização e, posteriormente, análise dos dados.

Tabela2: La Niñas a partir da segunda metade do século XX.

Ano de ocorrência	Intensidade
1950	-
1954-1955	Fraco
1955-1956	Moderado
1964-1965	Fraco
1970-1971	Moderado
1971-1972	Fraco
1973-1974	Forte
1974-1975	Fraco
1975-1976	Forte
1983-1984	Fraco
1984-1985	Fraco
1988-1989	Forte
1995-1996	Moderado
1998-1999	Forte
1999-2000	Forte

Fonte: NOAA, 2021

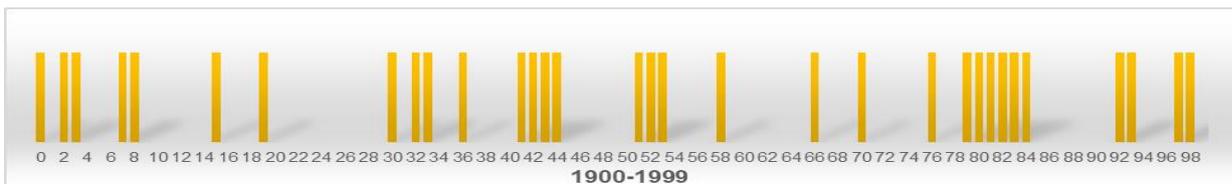


Gráfico 1: Anos de ocorrência de estiagens prolongadas no século XX.

Fonte: 1998 (CANAMARY, 2015; MOURA e SHUKLA, 1982; MARENGO, TORRES e ALVES, 2017; ARGENTIERE, 1964).



Gráficos 2: ocorrências de El Niño e suas intensidades no século XX a partir de 1950.

Fonte: NOAA, 2021



Gráfico 3: registros dos anos com ocorrência de La Niña e suas intensidades, iniciando em 1950.

Fonte: NOAA, 2021

Portanto, é possível comparar os registros de anos secos com os eventos El Niño e os registros de anos sem a ocorrência de estiagens ou secas com os

eventos de La Niña, a partir de 1950 até 1999. Analisando os Gráficos 1, 2 e 3 que mostram os registros de anos secos, de ocorrência do El Niño e La Niña respectivamente, pode-se verificar as relações dos fenômenos oceano-atmosféricos com a pluviosidade do Nordeste do Brasil.

Em 1950, data que se inicia os registros das anomalias térmicas, foi registrado o primeiro La Niña com fraca intensidade, e neste ano não ocorreu estiagem prolongada. No ano posterior (1951), inicia-se uma seca prolongada, estendendo-se até 1953. Neste período não foram registrados La Niña, porém ocorreu um episódio de El Niño de intensidade fraca com início e fim neste mesmo período da seca. De 1954 até 1957 não foram registrados anos secos. Neste período, teve-se a presença da La Niña em três anos seguidos com intensidades fraca e moderada, enquanto foi registrado El Niño, em 1957, com forte intensidade, prolongando-se posteriormente. Possivelmente, a influência da La Niña ocorreu de maneira mais forte, gerando anos com chuvas dentro do normal ou acima da média.

Em 1958, ocorreu um ano seco e como foi mencionado anteriormente, a anomalia térmica positiva que teve início em 1957, prolongando-se até 1959, coincidindo com a estiagem prolongada de 1958. Esta anomalia teve forte intensidade durante três anos consecutivos, não sendo registrada La Niña neste período.

Um longo intervalo sem secas foi registrado em 1959 até 1965, tendo a presença de El Niños, em 1959, com intensidade forte; 1963-1966, inicialmente, com intensidade moderada e em seguida evoluindo para intensidade forte. Em contrapartida, a La Niña apareceu em 1964-1965 com intensidade fraca. De acordo com as bibliografias pesquisadas (FERREIRA e MELLO, 2005), por exemplo, este espaçamento deveria ser predominantemente preenchido por secas, pois ocorreram muitos anos com El Niño de intensidades moderada e forte e poucos La Niña com intensidade fraca. Desta forma, não houve forte influência do fenômeno El Niño, mesmo que tenha ocorrido de maneira sequencial e de maneira intensa. Isto sugere que precisamos considerar outras influências, como os fenômenos oceânico-atmosféricos do mar do Atlântico, por exemplo.

O ano de 1966 foi seco coincidindo com o acontecimento do El Niño de forte intensidade que havia se prolongado com ausência de La Niña neste

mesmo período. Entre 1967 e 1970 ocorreu apenas um ano com seca; e neste intervalo, ocorreram El Niños e La Niñas nos mesmos anos, tendo respectivamente a intensidade moderada, para a fase positiva e moderada para a fase negativa. Fica difícil analisar quando as duas fases ocorrem nos mesmos anos, porém nesta parte da série, houve interação entre as fases e suas influências de certa forma diminuíram em alguns anos; em outro, especificamente, 1970, ocorreu a estiagem prolongada, possivelmente devido a forma sequencial que o El Niño ocorreu em 1968-1970.

De 1971 até 1975 foi um período de chuvas dentro ou acima da média, neste intervalo todos os anos tiveram a ocorrência de La Niña, sendo que esta sequência se iniciou em 1970 e terminou em 1976, durando aproximadamente seis anos. Vale ressaltar que as intensidades variaram de moderada para fraca e forte, respectivamente, e sem interrupções. Também ocorreu El Niño, porém em menor quantidade de anos, dois precisamente em 1972-1973. Notavelmente, as La Niñas influenciaram mais neste período, devido ter ocorrido de forma sequencial nos anos.

O ano de 1976 foi considerado como seco, os gráficos de anomalias térmicas mostram que neste ano ocorreu o encerramento da sequência de La Niña e teve início uma sequência de El Niño. A maior seca do século XX durou de 1979 até 1984, cerca de 6 anos consecutivos. É possível ver que ocorreu uma sequência de anomalias positivas. Inicialmente foi registrada de 1976-1980 de forma ininterrupta com intensidade fraca; e em seguida, de 1982-1983, com intensidade forte, encaixando-se perfeitamente no período, enquanto a La Niña só apareceu em 1983-1985 com fraca intensidade, aproximadamente no final da seca. Notavelmente a influência dos El Niños foi maior neste período devido sua forma sequencial sem interrupções e evolução de intensidade, principalmente na ausência da La Niña.

Após a longa seca, foi registrado um período relativamente longo sem anos secos, iniciando em 1985 até 1991. Neste período, observamos o final da sequência do episódio frio (La Niña), que ocorreu de 1983-1985, com intensidade fraca; e logo após, em 1988-1989, com forte intensidade. Também ocorreu El Niños neste período, em 1986-1988, foi registrada uma sequência com intensidade moderada; e em seguida, deu-se início a uma série de acontecimentos da anomalia térmica positiva, de 1990-1995 com forte

intensidade inicialmente e depois regredindo para intensidade moderada. Mesmo com mais frequência no intervalo de 1985-1991, os El Niños parecem não ter influenciado o suficiente para causar anos secos. Isto pode ser explicado pela ocorrência La Niña, intercalado no período analisado. Possivelmente o ano que tem as duas fases da anomalia térmica não promova grandes alterações no regime de chuvas na região Nordeste.

Os anos de 1992 e 1993 foram registrados como secos. Analisando os gráficos de El Niño, percebemos que estes eventos ocorreram antes e durante a seca, sendo uma sequência enorme de anos com esta anomalia, que iniciou em 1990 e chegou até 1995, abrangendo o período mencionado acima, quando a intensidade da oscilação térmica, era forte, inicialmente, e perdeu intensidade nos anos 1994-1995. Agora analisando o gráfico da La Niña, é possível ver a ausência do fenômeno em 1990-1994, o que possivelmente pode ter influenciado na intensificação do período de estiagem prolongada. Após o enfraquecimento do El Niño em 1995, aparece também em 1995 até 1996, oscilações negativas, coincidindo com um breve momento sem secas. Para finalizar o século XX, 1997 e 1998, foram registrados como secos. Nestes mesmos anos, ocorreu um El Niño com intensidade forte, porém também foi registrado a La Niña em 1998-1999 com forte intensidade.

Agora segue os registros das estiagens prolongadas dos primeiros dezessete anos do século XXI no Nordeste do Brasil, os quais são: 2001-2002, 2005, 2007, 2010 e 2012-2017 (CANAMARY, 2015; MARENGO, TORRES e AVES, 2017).

No século XXI, ocorreram 11 anos secos de um total de 17 anos analisados. Podemos dizer que é uma frequência extremamente alta de anos secos para início de século, correspondendo a 64,7% dos anos analisados. Temos uma intensificação das secas maior do que no século XX, levando em consideração os primeiros 17 anos.

A seguir na Tabela 3, vêem-se os registros de El Niño do século XXI, levando em consideração os dezessete primeiros anos do século. Em seguida, a Tabela 4, os registros indicando os anos em que ocorreram o fenômeno La Niña no século XXI, também levando em consideração os dezessete primeiros anos do século.

Tabela 3: Anos de ocorrência do El Niño no início do século XXI.

Ano (s) de ocorrência	Intensidade
2002-2003	Moderado
2004-2005	Fraco
2006-2007	Fraco
2009-2010	Moderado
2014-2015	Fraco
2015-2016	Forte

Fonte: NOAA, 2021

Tabela 4: Anos de ocorrência da La Niña no início do século XXI

Ano (s) de ocorrência	Intensidade
2000-2001	Fraco
2005-2006	Fraco
2007-2008	Forte
2008-2009	Fraco
2010-2011	Forte
2011-2012	Moderado
2016-2017	Fraco

Fonte: NOAA, 2021

De acordo com os registros de estiagens prolongadas no século XXI e registros dos eventos El Niño e La Niña e suas intensidades a partir de 2000 até 2017, foram montados os Gráficos 4, 5 e 6 para melhor visualização e, posteriormente, análise dos dados.



Gráfico 4: Anos que ocorreram estiagens prolongadas no século XXI até 2017.

Fontes: CANAMARY, 2015; MARENGO, TORRES e ALVES, 2017.



Gráfico 5: Os anos com a presença de El Niño no século XXI até 2017.

Fonte: NOAA, 2021



Gráfico 6: Os anos com a presença de La Niña no século XXI até 2017.

Fonte: NOAA, 2021

Agora faremos a comparação dos registros de estiagens prolongadas, com os eventos de El Niño e La Niña. Esta análise possibilitará ver a relação

entre os eventos de anomalias térmicas e o regime de chuvas no Semiárido Nordeste.

No primeiro ano do século XXI não ocorreu estiagem prolongada. Neste mesmo período foi registrado um evento de La Niña com intensidade fraca. De 2001 a 2002, foi registrado seca; ainda em 2002, iniciou-se uma sequência de anos com a ocorrência de El Niños, chegando até 2007. A princípio tinha intensidade moderada. Não foi registrada a ocorrência da oscilação térmica negativa no período de 2002-2004. Nos anos de 2003 e 2004, não houve estiagem prolongada; e a série de oscilações positivas perde intensidade, neste intervalo, mesmo sem haver La Niña. Em 2005, foi registrada estiagem. Este ano teve a ocorrência das duas anomalias térmicas, ambas com fraca intensidade. No ano de 2007, aconteceu o mesmo que em 2005, registrando apenas a intensidade forte da La Niña, enquanto o El Niño registrado foi de fraca intensidade.

Os anos de 2008 e 2009 foram registrados como anos normais ou chuvosos. Analisando os gráficos das anomalias térmicas é possível visualizar um aumento da intensidade do La Niña para um evento forte, enquanto o El Niño tem uma breve pausa entre 2008-2009. Seguindo a análise, 2010 foi marcado com chuvas abaixo da média. Neste ano as oscilações positivas e negativas apareceram com intensidade moderada e forte, respectivamente.

Agora a análise será feita de 2012 até 2017, período que ocorreu a maior seca deste século, até o presente momento e uma das maiores já registradas, tendo duração aproximada de 6 anos. Esta seca foi muito intensa, devido ter evoluído para uma seca hidrológica. Analisando os gráficos dos El Niños é possível ver que no início da seca em 2012 não havia anomalia positiva, já no gráfico da La Niña é perceptível que uma grande sequência do evento se encerra, a duração foi de 2005-2012. O El Niño não aparece durante três anos e retorna em 2014 com intensidade fraca e nos anos seguintes 2015-2016 evolui para intensidade forte. Já a La Niña só retorna em 2016-2017 com fraca intensidade.

Não foi possível atualizar os registros de secas até o ano de 2020, pois estes não foram encontrados em publicações de livros, artigos ou revistas até o momento da elaboração deste trabalho. Existem dados disponibilizados por agências de monitoramento meteorológico e climático referente aos anos de

2018, 2019 e 2020. Entretanto, é necessário o uso de softwares específicos para poder analisá-los. Quanto aos registros de anomalias térmicas positivas e negativas, em 2018, foram registrados um El Niño de fraca intensidade e um La Niña também de intensidade fraca. Em 2019, ocorreu um El Niño de fraca intensidade. Neste ano não foi registrado La Niña. Em 2020-2021, até o mês de abril foi registrado apenas a anomalia negativa, com intensidade moderada.

5 Conclusão

De acordo com os resultados obtidos averiguamos que no século XX foram registrados 32 anos com estiagens prolongadas, no entanto, desde o início deste século, foram contabilizados até 2017, onze anos com chuvas abaixo da média para a região.

Dentro do contexto estudado foi possível entender a dinâmica dos fenômenos El Niño e La Niña, como anomalias térmicas com relação as médias históricas das temperaturas no oceano Pacífico na região do Niño 3.4. Sendo observadas variações de temperaturas de 0,5 °C ou superiores por cinco meses consecutivos para a ocorrência do El Niño e -0,5 °C ou inferiores durante cinco meses consecutivos para a ocorrência da La Niña. Os dois fenômenos se comportam como oscilações que podem ocorrer durante meses ou até anos, ou pode ocorrer as duas fases no mesmo ano.

Um ponto muito interessante é que as oscilações da temperatura do oceano são cíclicas, mas não necessariamente com a mesma intensidade. Os efeitos das anomalias térmicas levam algum tempo para influenciar a circulação natural das massas de fluídos, devido a fatores como distância e interação com outros sistemas atmosféricos, podendo dificultar a análise dos dados.

Observamos que muitos El Niños analisados coincidiram com anos secos, principalmente quando se trata de eventos com longas durações e intensidades fortes; porém alguns divergem. Em especial, os de pequenas durações e com pausas. Também observamos que muitos dos eventos da La Niña coincidiram com anos onde a pluviosidade foi acima ou dentro da média, especialmente as La Niñas com longas durações e intensidades fortes. Poucos eventos de La Niña com pequenas durações, pausas e fraca intensidade não coincidiram com períodos chuvosos acima da média. Em anos ou intervalos

curtos, com a presença das duas oscilações (positiva e negativa), a análise se tornou-se difícil em virtude dos gráficos se mostrarem imprevisíveis.

Com relação ao início do século XXI, é maior a frequência de secas dentro do período observado (até 2017), se compararmos com o século anterior. É possível também verificar que as ocorrências de secas em muitos anos são em períodos de El Niño ou próximos a estes episódios e, principalmente, na ausência da La Niña. Já com relação a seca de 2012-2017, temos mais ocorrências seguidas do El Niño e com intensidades superiores a La Niña, possivelmente, influenciando os baixos índices pluviométricos do período.

6 Referências

ARGENTIERE, R. **O Ciclo Solar e as Secas do Nordeste**. [S.D], 1984. In: Revista DAE, nº. 64, 1964. Disponível em: < <http://revistadae.com.br/site/artigo/905-O-ciclo-solar-e-as-secasdo-Nordeste> >. Acessado no dia 10 de maio de 2018 às 10:00hrs.

ARY J. C. A. **FNE e o Semiárido: Da Obrigação à Otimização. Documentos técnicos científicos**. Fortaleza-CE. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 44, n. especial, p.199-212, jun. 2013.

ALVES, R. C. M.; SOUZA, L. P.; MOLLMANN, R. A.; RODRIGUES, B. D. **Descrição e Caracterização dos Fenômenos Atmosféricos Mais Frequentes no Território Brasileiro**. Elaborado por: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Laboratório de Meteorologia e Qualidade do Ar. Programa Energia Brasileiro-Alemão, p. 1-76, julho de 2015.

BARRETO, N. J. C. **Relação Entre Oscilação Decadal do Pacífico, El Niño-Oscilação Sul e a Circulação Atmosférica de Verão na América do Sul**. Dissertação de mestrado Meteorologia – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2009.

CANAMARY, Erica Acioli. **Avaliação de índices para fins de monitoramento e previsão de secas no Nordeste setentrional**. 2015.

DE OLIVEIRA SILVA, Andrezza Karla. AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 29, n. 1, p. 252-258, 2012.

Episódios frios e quentes por temporada. National Weather Service/climate prediction center - NOAA., 2021. Disponível em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php> . Acessado no dia 09 de junho de 2021.

Fenômeno Enos El Niño e La Niña. FAEM/UFPEL AGROMETEOROLOGIA, [s.d.]. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/fenomeno-enos-2/>>. Acessado no dia 22 de novembro de 2018 às 13h.

FERREIRA, Antonio Geraldo; DA SILVA MELLO, Namir Giovanni. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, n. 1, 2005. HASTENRATH, S.; WU, M.C.; CHU, P.S. Towards the monitoring and prediction of Northeast Brazil droughts. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 411-425, 1984.

HASTENRATH, S.; Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. **Monthly Weather REVIEW**, v. 112, n. 6, p. 1097-1105, June 1985.

MARENGO, José A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MARENGO, José A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Seca no Nordeste do Brasil – passado, presente e futuro. *Climatologia Teórica e Aplicada*, v. 129, n. 3, pág. 1189-1200, 2017.

MENDONÇA, F. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil** / Francisco Mendonça, Inês Moresco, Danni-Oliveira – São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. Sobre a dinâmica das secas no Nordeste do Brasil: observações, teoria e experimentos numéricos com um modelo de circulação geral. **Journal of the Atmospheric Sciences, New York**, v. 38, p. 2653-2675, 1981.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, 1996.

Princípios de Meteorologia e Meio Ambiente. Glossários. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos INPE/CPTEC, [s.d.]. Disponível em: < <https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>>. Acessado no dia 12 de junho de 2021 às 13h.

Semiárido Brasileiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2018. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?edicao=24416&t=sobre> >. Acessado no dia 16 de junho de 2021 às 15h.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa universitária, 449p, 1991.