



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DIEGO ANTUNES CAMPOS**

**VARIÁVEIS CLIMÁTICAS COMO FATORES DETERMINANTES DA PRODUÇÃO  
DE BIOMASSA EM FLORESTA TROPICAL SECA**

**FORTALEZA**

**2019**

DIEGO ANTUNES CAMPOS

VARIÁVEIS CLIMÁTICAS COMO FATORES DETERMINANTES DA PRODUÇÃO DE  
BIOMASSA EM FLORESTA TROPICAL SECA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciência Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Conservação de Água e Solo no Semiárido.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Ph.D Eunice Maia de Andrade.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C211v Campos, Diego Antunes.  
Variáveis climáticas como fatores determinantes da produção de biomassa em Floresta Tropical Seca /  
Diego Antunes Campos. – 2019.  
83 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade.

1. Veranico. 2. Caatinga. 3. Equações alométricas. 4. Semiárido. I. Título.

CDD 630

---

DIEGO ANTUNES CAMPOS

VARIÁVEIS CLIMÁTICAS COMO FATORES DETERMINANTES DA PRODUÇÃO DE  
BIOMASSA EM FLORESTA TROPICAL SECA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciência Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Conservação de Água e Solo no Semiárido

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>ª</sup>. Ph.D Eunice Maia de Andrade (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Helba de Araújo Palácio  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Ph.D. Andréa Dardes de Almeida Castanho  
Woods Hole Research Center (WHRC)

---

Dr. Deodato do Nascimento Aquino  
Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)

A Deus.

À minha mãe, Lucimar.

Aos meus irmãos, Nágyla, Thiago e Natália.

Familiares e amigos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde, oportunidades, orientações, força necessária na busca de meus objetivos e por não me deixar fraquejar nos momentos mais difíceis;

À minha mãe, que não dispensou esforços para que meus sonhos e objetivos fossem alcançados, sempre me amando incondicionalmente, aos meus irmãos e familiares por todo apoio e por todos os esforços que fizeram para que eu conseguisse continuar nesta caminhada, compreendendo os motivos de minha ausência;

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida e experiências adquiridas;

À minha orientadora Eunice Maia de Andrade, pelos ensinamentos, pela confiança, por me direcionar aos melhores caminhos e por corrigir minhas falhas da melhor forma possível;

À Andréa Dardes de Almeida Castanho por sempre está disposta a me ouvir e tirar minhas dúvidas, sempre orientando e acreditando em mim;

Ao Deodato do Nascimento Aquino pela amizade, por acreditar que eu poderia trilhar este caminho, me motivando e me direcionando a continuar esta caminhada.

À profa. Helba de Araújo Palácio por sempre me acolher e por fazer me sentir em casa em quanto estava no Instituto Federal do Ceará, campus Iguatu;

Ao Ramon Feitosa por sempre me salvar nos momentos de desespero, por sempre ouvir meus lamentos, por esta sempre disponível para tirar dúvidas e por ser um grande amigo;

Ao Erich Celestino pelas ajudas incansáveis e pela amizade fraterna;

Aos meus amigos, Dehon Bezerra, Marcos Costa, Joelton Nogueira, Jaime Mendonça, Fernanda Helena, Raí Rebouças, Mônica Santana, Aryelli Magalhães, Thalles Rafael, Fernando Bezerra, Wilner, Gilberto Quevedo, José Frédson, Givanilson Rodrigues, pela amizade;

A todos os meus amigos do grupo de pesquisa Manejo de Solo e Água no Semiárido (MASSA), pelo companheirismo e auxílio no desenvolvimento da pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa e pela concessão de bolsa;

E a todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

## RESUMO

A grande variabilidade do regime pluviométrico e a seca são características das regiões semiáridas e estão entre os fatores determinantes da produção de biomassa. Assim, objetivou-se identificar padrões de longo prazo e tendências da precipitação e temperatura através de padrões temporais; avaliar a duração de períodos úmidos e secos; verificar a influência da distribuição das chuvas sobre a dinâmica da biomassa vegetal aérea em Floresta Tropical Seca/Domínio Fitogeográfico da Caatinga (FTS/DFC). O experimento foi conduzido no município de Iguatu em um fragmento de FTS/DFC em regeneração há 40 anos, Ceará, Brasil. Para a avaliação das variáveis climatológicas empregou-se séries históricas diárias de precipitação e temperatura. Para os dados de chuva foram calculadas a normal climatológica anual e mensal (1974 – 2018), além dos dias secos consecutivos (DSC) na quadra chuvosa (veranico). Para a variável temperatura foram calculadas a média anual das máximas, médias e mínimas (1996-2017). Utilizou-se também o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI). Para as variáveis relacionadas ao extrato arbustivo-arbóreo foram identificados, medidos e quantificados, nos anos de 2009/2010/2015/2016/2018/2019, todos os indivíduos vivos com Diâmetro ao Nível do Solo (DNS)  $\geq 3$  cm e altura (h)  $\geq 100$  cm, em oito parcelas de 10 x 10 m. A biomassa foi estimada com equação alométrica, definida para a região de FTS/DFC. Constatou-se uma grande variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, com anos muito úmidos (1985, 2009 e 2011) e muito secos (1979, 1983 e 1993) intercalados por períodos com precipitação em torno da média. Ao analisar a ocorrência total de veranicos por classe observou-se que os veranicos de 5 a 10 dias apresentaram a maior quantidade de eventos e uma tendência à redução da ocorrência de eventos dessa classe, além de ser observado um aumento dos veranicos mais longos, superiores a 16 dias. As temperaturas máximas anuais apresentaram tendências crescentes ao longo dos anos e as temperaturas mínimas obtiveram os menores aumentos. Identificaram-se 9 famílias, 14 gêneros e 15 espécies, que não variaram ao longo dos 11 anos. O maior número de espécie identificadas pertencem as famílias Fabaceae e Euphorbiaceae. Devido a mortalidade dos indivíduos no período de 2009 a 2019 ocorreu um decréscimo da biomassa de 65,33 Mg ha<sup>-1</sup> para 44,47 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, com uma redução média da biomassa de 3,26 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Concluiu-se que os eventos extremos pluviométricos são comuns, e apresentam alternância entre anos de seca e anos chuvosos. Os últimos sete anos foi o maior período com precipitações totais anuais abaixo da média histórica, contudo, não foi o mais crítico. O fragmento de FTS/DFC não atinge o clímax mesmo após 40 anos em processo de regeneração. Anos de seca promovem a mortalidade de árvores e arbustos,

principalmente os que se encontram nas menores classes diamétricas. A produção de biomassa sofre forte influência da sazonalidade climática, existindo uma relação direta com a distribuição temporal dos eventos pluviométricos.

**Palavras-chave:** Veranico. Caatinga. Equações alométricas. Semiárido.



## ABSTRACT

The great variability of rainfall and the drought are inherent properties of semiarid zones and they represent one of the most determinant factors of biomass production. Then we aimed to identify the long term and trend patterns of rainfall and temperature using temporal patterns of each one; evaluate the duration of dry and wet seasons; verify the influence of rain distribution over the aerial plant biomass dynamic in Dry Tropical Forest/Phytogeographic Domain of Caatinga (DTF/PDC). We carried out the experiment in a 40 years regeneration fragment of DTF/PDC, in Ceará, Brazil. We employed daily historical series of precipitation and temperature to evaluate the climatological variables. The annual and monthly climatological normal (1974 – 2018) were calculated using rainfall data, besides consecutive dry days (CDD) in rainy season (hydric deficit). Using the temperature data we calculated the annual average of the maximums, means and minimums (1996 – 2017). We also calculated the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). We identified, measured and quantified all living specimens with soil level diameter (SLD)  $\geq 3$  cm and height (h)  $\geq 100$  cm in eight basic experimental plots of 10 x 10 m, for the years of 2009/2010/2015/2016/2018/2019. We estimated the biomass with allometric equation definite for region of DTF/PDC. We found great rainfall interannual variability, with very wet years (1985, 2009 and 2011) and very dry years (1979, 1983 and 1993) interleaved by periods with precipitation around the mean. The class of 5 to 10 days without rain was the most frequent and presented a decrease trend, besides it showed an increase in the trend of the dry days in class of more than 16 days. The annual maximum temperatures presented increasing trends over the years and the minimum temperatures showed smaller increase. We identified 9 families, 14 genera and 15 species, that did not vary over the 11 years. The great number of identified species belongs to Fabaceae and Euphorbiaceae families. Due to the mortality of the individuals between 2009 and 2019 occurred a biomass decreasing of 65.33 Mg ha<sup>-1</sup> to 44.47 Mg ha<sup>-1</sup> respectively, representing a mean biomass reduction of 3.26 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. We concluded that the extreme rainfall events are usual and presented alternation between dry and wet years. The last seven years represented the longest period with total annual precipitations below the historical average, however it was not the most intense. The DTF/PDC fragment did not reach the climax even after 40 years in regeneration process. Dry years promoting the tree and shrub mortality, especially those with smaller diametric classes. The biomass production is greatly affected by climatic seasonality with direct relationship with the temporal distribution of rainfall events.

**Keywords:** Hydric deficit. Caatinga. Allometric equations. Semiarid.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Fontes indutoras do regime pluviométrico do DFC .....	16
Figura 2 -	Mapa de zonas ecológicas globais (GEZ) mostrando a distribuição mundial de florestas secas .....	18
Figura 3 -	Mapa de localização do município de Iguatu, Ceará, Brasil .....	33
Figura 4 -	Série histórica de precipitação pluviométrica anual do município de Iguatu-CE .....	35
Figura 5 -	Distribuição da frequência da precipitação pluviométrica anual para o município de Iguatu-CE .....	37
Figura 6 -	Distribuição da precipitação pluviométrica mensal para o município de Iguatu-CE, para o período de 1974 a 2018 .....	38
Figura 7 -	Distribuição da precipitação pluviométrica e dos veranicos entre os anos de 1997 a 2017 .....	41
Figura 8 -	Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para o município de Iguatu-Ce. a. Série temporal da quantidade total de eventos de veranicos; b. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (5-10 DSC); c. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (11-15 DSC); d. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (16-20 DSC); e. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (>21 DSC) .....	42
Figura 9 -	Distribuição da temperatura mínima, média e máxima anual para o município de Iguatu-CE .....	45
Figura 10 -	SPEI de 12 meses aplicado a área de estudo para identificação dos períodos secos e úmidos .....	47
Figura 11 -	Frequência de observação do SPEI para o município de Iguatu-CE .....	48
Figura 12 -	Mapa de localização da área experimental no município de Iguatu, Ceará, Brasil .....	55
Figura 13 -	Distribuição das variáveis climatológicas do município de Iguatu, Ceará, Brasil .....	56
Figura 14 -	Dendrograma do agrupamento dos anos homogêneos para o município de Iguatu, Ceará, Brasil .....	59
Figura 15 -	Distribuição anual da densidade de espécies em um fragmento de floresta tropical seca preservada há 40 anos, no município de Iguatu, Ceará,	

Brasil .....	62
Figura 16 - Distribuição do número de indivíduos mortos por espécie do período de 2009 a 2019 .....	64
Figura 17 - Distribuição anual da densidade, recrutamento e mortalidade de árvores em um fragmento de floresta seca no nordeste brasileiro .....	65
Figura 18 - Distribuição anual da biomassa aérea arbustiva-arbórea e da precipitação pluviométrica em um fragmento de floresta seca, Iguatu-CE .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe do Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado .....	34
Tabela 2 - Ocorrência de veranicos para diversas classes para o município de Iguatu-CE .....	40
Tabela 3 - Análise da temperatura para o município de Iguatu-CE .....	45
Tabela 4 - Médias e desvios padrão, das variáveis climáticas, para cada agrupamento formado para o município de Iguatu, Ceará, Brasil .....	59
Tabela 5 - Relação botânica dos indivíduos em um fragmento de floresta tropical seca em regeneração há 40 anos no município de Iguatu, Ceará, Brasil .....	60

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Regime pluviométrico do semiárido brasileiro</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Floresta Tropical Seca brasileira</b> .....	17
<b>2.3</b>	<b>Produção de biomassa em Floresta Tropical Seca brasileira</b> .....	19
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 - TENDÊNCIA SAZONAL DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM ÁREA DE DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO DA CAATINGA</b> .....	30
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b> .....	31
<b>3.2</b>	<b>Material e Métodos</b> .....	32
<b>3.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	35
<b>3.3.1</b>	<i>Regime pluviométrico</i> .....	35
<b>3.3.2</b>	<i>Veranico</i> .....	39
<b>3.3.3</b>	<i>Temperatura</i> .....	44
<b>3.3.4</b>	<i>Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI)</i> .....	46
<b>3.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	48
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2 - DINÂMICA DA BIOMASSA EM UM FRAGMENTO FLORESTAL TROPICAL BRASILEIRO (CAATINGA) EM ANOS CONSECUTIVOS SECOS</b> .....	52
<b>4.1</b>	<b>Introdução</b> .....	53
<b>4.2</b>	<b>Material e Métodos</b> .....	55
<b>4.2.1</b>	<i>Estrato vegetativo</i> .....	56
<b>4.2.2</b>	<i>Variáveis climáticas</i> .....	57
<b>4.2.3</b>	<i>Análise estatística</i> .....	57
<b>4.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	58
<b>4.3.1</b>	<i>Similaridade dos indicadores climáticos</i> .....	58
<b>4.3.2</b>	<i>Estrato vegetativo</i> .....	59
<b>4.3.3</b>	<i>Biomassa</i> .....	64
<b>4.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	67
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	72
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	73

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As florestas tropicais secas (FTS) ocupam cerca de 2,7 milhões km<sup>2</sup> distribuídas em todo o globo terrestre (MILES *et al.*, 2006). No Brasil, a FTS é nominada como Domínio Fitogeográfico da Caatinga (DFC) e está inserida nos domínios do semiárido brasileiro, tendo aproximadamente 844 mil km<sup>2</sup> de área (IBGE, 2018). Seus limites estendem-se pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e no norte de Minas Gerais (CARVALHO, 2009). Abriga cerca de 27 milhões de pessoas na região (ICMBIO, 2018).

O regime pluviométrico no DFC é a variável climatológica de maior importância, pois apresenta uma alta variabilidade espaço-temporal, que modula diversos processos naturais, entre os quais a diversidade da cobertura vegetal (ARAÚJO FILHO, 2013; SILVA *et al.*, 2011). O DFC tem-se regiões mais secas na parte central e regiões mais chuvosas nas regiões montanhosas e no litoral, que são influenciadas pelos sistemas meteorológicos que contribuem para a formação de nuvens e precipitações pluviométricas na região da Caatinga (ANDRADE *et al.*, 2017a). A combinação entre o regime pluviométrico e a geologia da região resultou em nove tipos de ambiente inseridos em dois tipos de Caatinga, a Cristalina e a Sedimentar (MORO *et al.*, 2016).

As fontes indutoras das precipitações no DFC ou do semiárido brasileiro não influenciam apenas a variabilidade espacial, mas também a alta variabilidade temporal. Essa variabilidade tanto se relaciona com as variações interanuais, com diferenças na precipitação pluviométricas ano após ano, no tempo das estações de chuva e estiagem (ANDRADE *et al.*, 2016), como também na variabilidade intra-anual, relacionado aos dias secos consecutivos durante a estação chuvosa, veranicos, (GUERREIRO *et al.*, 2013).

A variação da duração dos períodos secos e a quantidade total precipitada anual modulam os tipos de florestas, isso porque uma sequência de anos secos diminui o incremento de biomassa, demonstrando o alto impacto das condições climáticas nas FTS (LEWIS *et al.*, 2013; POORTER *et al.*, 2015; POORTER *et al.*, 2016; SPANNL *et al.*, 2016; TOLEDO *et al.*, 2011). Assim, tal fato ainda pode ser agravado diante dos prognósticos relacionados as mudanças climáticas, uma vez que regiões de FTS irão apresentar precipitações mais baixas e temperaturas mais altas acarretando a redução da cobertura vegetal (MARENGO, 2016).

Desta forma, nota-se que a manutenção e conservação do DFC é primordial, pois é um ecossistema que apresenta características morfológicas, anatômicas e ecofisiológicas adaptadas a regiões de clima semiárido (FIGUEIREDO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2012; PEREIRA

JÚNIOR, 2016). Compreender a contribuição do crescimento das árvores, do recrutamento e da mortalidade para a acumulação de biomassa acima do solo durante a sucessão e de seu potencial de estoque nas florestas tropicais secas é de extrema importância ante as mudanças climáticas e ao uso da terra (MOHANRAJ *et al.*, 2011; PEREIRA JÚNIOR, 2016; ROZENDAAL *et al.*, 2017). O DFC tem uma significativa importância socioeconômica, já que a mesma é fonte de biomassa, oferece suporte ao uso agrícola e pastagem (ARAÚJO FILHO, 2013) a uma população rural de 22 milhões de habitantes (BAPTISTA; CAMPOS, 2013). Destaca-se, ainda, que muitas vezes os recursos naturais da caatinga é a única fonte de renda para o homem do campo (CAVALCANTI *et al.*, 2000).

Ante essa pressão por produtos, serviços e das mudanças climáticas é necessário o conhecimento do potencial da caatinga em produzir biomassa e definir os serviços ambientais que ela pode oferecer. Assim, a compreensão de tais processos se torna urgente e essencial para o entendimento da dinâmica atual e futura do crescimento das árvores, a fim de se realizar uma gestão sustentável dos recursos florestais, melhorando sua conservação e promovendo a restauração dos fragmentos degradados. Diante do exposto, desenvolveu-se este trabalho em dois capítulos. No primeiro, elaborou-se uma caracterização climatológica da área com base nos padrões de longo prazo e tendências da precipitação e temperatura através de padrões temporais, empregando-se o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI). O segundo foi desenvolvido visando avaliar a dinâmica da produção de biomassa arbustivo-arbóreo em um fragmento de DFC, em regeneração há 40 anos, em resposta a variabilidade climática. Buscou-se, também, identificar a resiliência e vulnerabilidade de espécies da caatinga ante a ocorrência de anos consecutivos secos.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

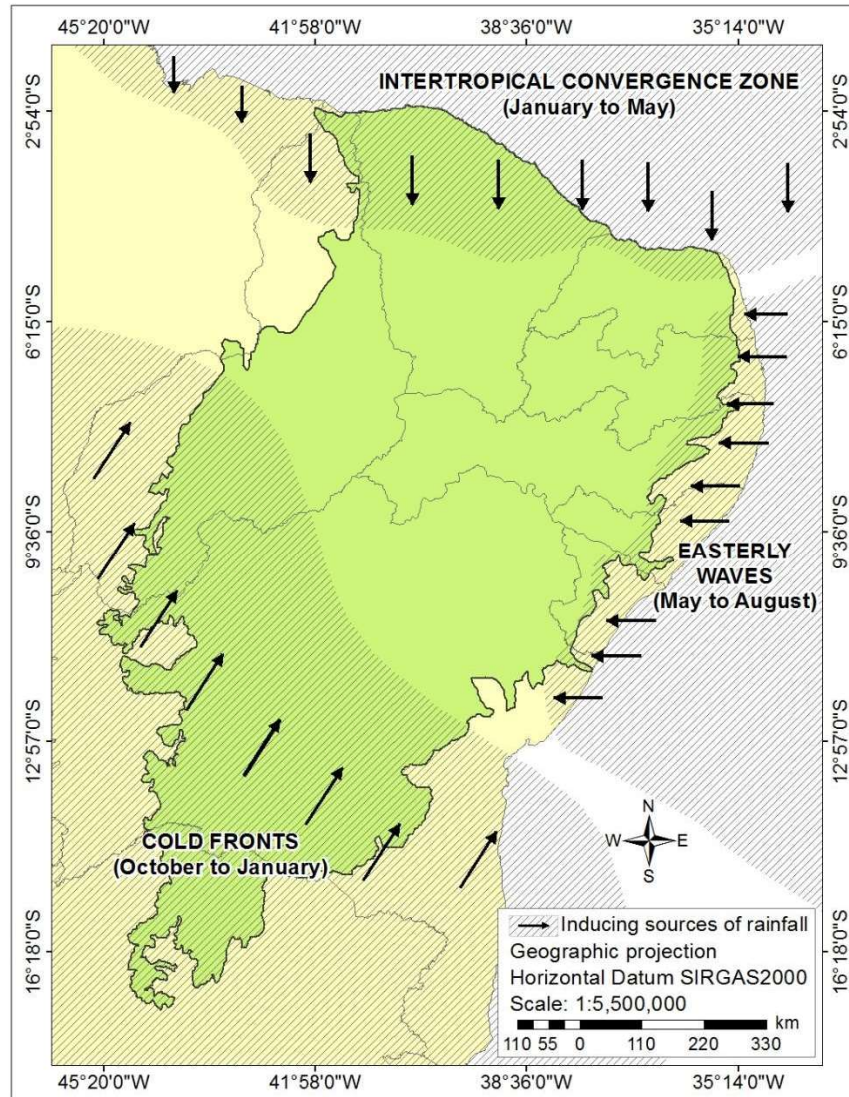
### 2.1 Regime pluviométrico do semiárido brasileiro

O semiárido brasileiro está localizado na região nordeste do país com área aproximada de 1,2 mi km<sup>2</sup>, abrangendo os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, grande parte da Paraíba e Pernambuco, Sudeste do Piauí, Oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia, dois municípios do Maranhão e uma faixa que se estende até o norte de Minas Gerais, compreendendo 1.262 municípios e habitado aproximadamente por 27 milhões de pessoas. (ICMBIO, 2018; SUDENE, 2018).

O regime pluviométrico é a variável climatológica de maior incerteza e importância na região semiárida brasileira. Por ser uma região localizada em baixas latitudes e altitudes a única entrada de água no sistema é pela precipitação. Os eventos de precipitação pluviométrica são marcados por irregularidades durante a estação chuvosa, podendo iniciar-se em meses distintos, prolongar-se por períodos incertos e encerrando-se em meses diferentes de um ano para outro (GARIGLIO *et al.*, 2010). Os eventos pluviométricos são muitas vezes intensos, ultrapassando 200 mm em um único dia. A estação chuvosa se concentra em dois ou três meses, raramente ultrapassando quatro meses, além de em um único mês poder chover 70% do total anual precipitado (ANDRADE *et al.*, 2017a; ANDRADE *et al.*, 2017b). Desta forma, as precipitações pluviométricas são bastante variáveis ano após ano, na quantidade, na intensidade e no tempo das estações de chuva e estiagem (ANDRADE *et. al.*, 2016).

Tal variabilidade no regime pluviométrico da região está relacionado aos vários sistemas meteorológicos que contribuem para a formação de nuvens e precipitações pluviométricas do semiárido brasileiro (Figura 1). Dentre eles temos as Frentes Frias, que são formações de nuvens originadas na região de encontro de uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da massa quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido se eleve, forme as nuvens e como consequência as chuvas. Sua penetração atinge latitudes abaixo de 10° S, causando chuvas na parte sul do semiárido brasileiro entre os meses de novembro a fevereiro.

Figura 1 - Fontes indutoras do regime pluviométrico do DFC



Fonte: Andrade *et al.* (2017a).

A segunda e mais importante fonte indutora das chuvas no domínio do semiárido brasileiro e no Norte do Brasil é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é formada pelo encontro dos ventos alísios de nordeste e alísios de sudeste, que migram sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 12° N, em agosto a setembro para posições mais ao sul, aproximadamente 6° S, de março a abril. Ocasiona chuvas entre janeiro e maio com as suas maiores concentrações de março a abril.

As Ondas de Leste, que induzem o início da quadra chuvosa na região leste do semiárido brasileiro ou prolonga a estação chuvosa do semiárido setentrional, começa a atuar entre os meses de maio a agosto, com as chuvas concentradas entre junho e julho. As Ondas de Leste são massas de ar úmidas advindas da costa da África e que se deslocam até o litoral leste do

Brasil, podem ganhar força com a brisa do mar e avançar até o continente através do processo de advecção.

Portanto, todos esses processos de formação de chuva determinam que as incertezas do regime de precipitação não se limitam apenas a variabilidade espacial, mas também a alta variabilidade interanual, com anos bastante secos alternados por anos chuvosos, e a variabilidade intra-anual, relacionado aos veranicos (ANDRADE *et al.*, 2016; FERNANDES, 2014; GUERREIRO *et al.*, 2013). Os veranicos, definido como dias secos consecutivos durante a estação chuvosa, aumentam a vulnerabilidade da produção agrícola, assim como também afetam áreas florestais. Os veranicos podem comprometer a germinação e estabelecimento de indivíduos novos. (FERNANDES, 2014; MEIR *et al.*, 2009).

Ainda não existe um consenso de quando uma sequência de dias secos é interrompida. Alguns autores consideraram os veranicos de acordo com a duração e/ou a quantidade precipitada. Fernandes (2014) e Menezes, Brito, Lima, (2010) determinaram como sendo o número de dias consecutivos sem chuva ou com chuva  $< 2$  mm. Já Soares, Nobrega (2009) consideraram um valor de chuva menor ou igual a 0,99 mm, além de no mínimo cinco dias consecutivos secos. A maioria dos trabalhos sobre veranicos são relacionados as culturas agrícolas e poucos são os que relacionam a áreas florestais (FEITOSA, 2017; MENDONÇA, 2014; SALGADO 2015).

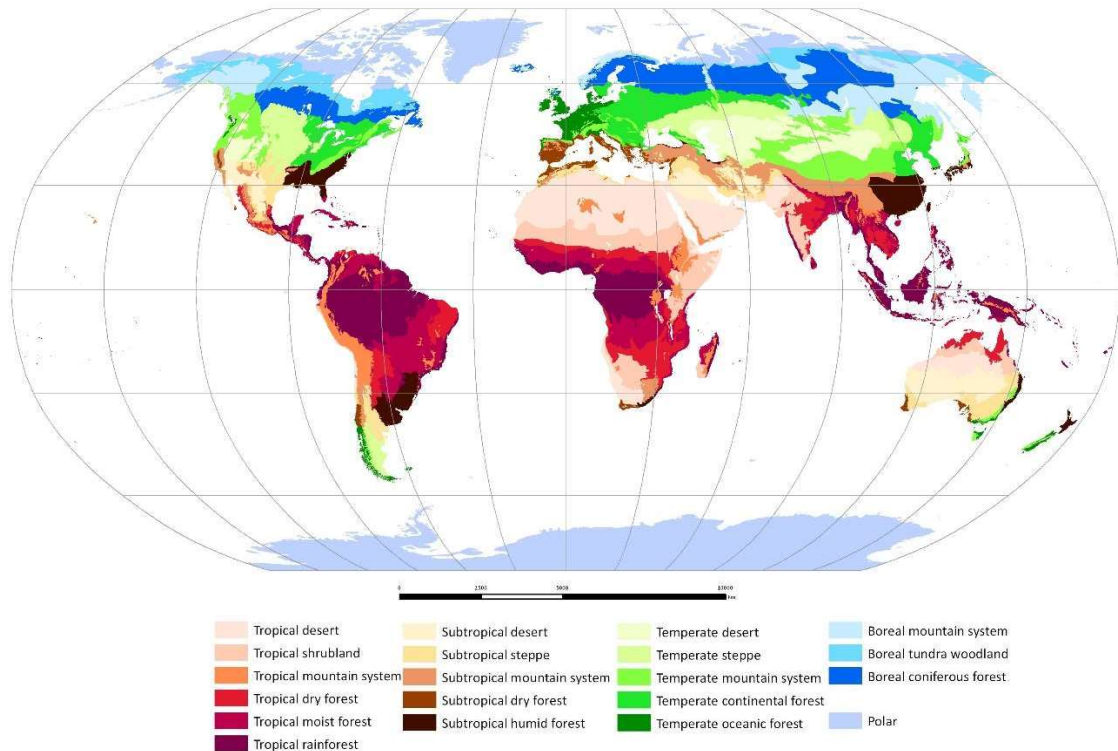
Sabe-se que os tipos de floresta se diferenciam umas das outras pela duração dos períodos secos e sobre a quantidade total de precipitação anual (LEWIS *et al.*, 2013; POORTER *et al.*, 2015; POORTER *et al.*, 2016; TOLEDO *et al.*, 2011). Estudos têm relatado que as chuvas estão se tornando mais concentradas e os períodos secos intercalados entre esses episódios de chuva estão se tornando maiores (GUERREIRO *et al.* 2013; MARENGO *et al.*, 2017; SOARES E NOBREGA, 2009), portanto, os mesmos são determinantes nos estudos relacionados a variabilidade da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual nas florestas.

## **2.2 Floresta Tropical Seca brasileira**

As florestas tropicais secas (FTS) compreendem cerca de 42% dos recursos florestais tropicais e subtropicais, ocupando cerca de 2,7 milhões km<sup>2</sup> distribuídos em todo o globo terrestre (BECKNELL; KISSING KUCEK; POWERS, 2012; MILES, 2006) (Figura 2). Geralmente, possuem uma vegetação com menor porte em altura e uma menor complexidade florística, com um dossel mais fechado, distinguindo-se da savana que é mais aberta e rica em pastagem (BANDA *et al.*, 2016). Estão delimitadas por um clima tropical seco, com

temperaturas superiores a 18°C, com precipitação anual variando de 500 a 1.800 milímetros, com chuvas concentradas em 4 a 7 meses e vegetação principalmente decídua (BANDA *et al.*, 2016; FAO, 2012).

Figura 2 - Mapa de zonas ecológicas globais (GEZ) mostrando a distribuição mundial de florestas secas



Fonte: FAO, 2012.

Nas Américas as FTS se estendem desde a América Central, norte da Colômbia, norte da Venezuela, norte da Argentina, oeste do Paraguai, leste da Bolívia e nordeste do Brasil (MARIANO, 2014). A FTS brasileira recebe a denominação de Domínio Fitogeográfico da Caatinga, DFG (ARAÚJO FILHO, 2013; MORO *et al.*, 2016). Os solos presentes no domínio das FTS apresentam uma boa fertilidade e um clima propício para atividades agrícolas (PRADO, 1995), o que resulta em uma exploração desordenada da vegetação, aumentando a demanda por energia e terra, que por sua vez aumenta a degradação dos recursos naturais (BLACKIE *et al.*, 2014).

Essa conversão do uso e ocupação do solo é agravada quando se considera os fatores edafoclimáticos. Os solos do semiárido brasileiro, apesar de apresentarem uma boa fertilidade eles são bastante variados, apresentando extensões extremamente rasas (< 0,50 m) a moderadamente profundos (3 m), além da baixa permeabilidade e baixo teor de matéria orgânica (ARAÚJO FILHO, 2013). A região se caracteriza por altitudes menores que 500 m

(nas depressões) chegando a 1.200 m (nas chapadas) (VELLOSO *et al.*, 2002). Ademais, a região sofre com um elevado déficit hídrico ocasionado pelos altos valores de temperatura, altas taxas de evapotranspiração e pelas chuvas que apresentam uma distribuição espaço-temporal irregular durante todo o ano e se concentram em poucos meses, 3 a 4 meses, com as médias precipitadas variando ao longo de toda a região (ANDRADE *et al.*, 2017a; EMBRAPA, 2016).

Com isso, os fatores edáficos, topográficos, climáticos e o histórico de exploração antrópico modulam a fisionomia da vegetação, fazendo com que as áreas de vegetação se apresentem em diferentes estádios de preservação, ocasionando uma ampla variação da fisionomia vegetal, do porte e densidade, além da composição florística (MENINO *et al.*, 2015; MORO *et al.*, 2016). Essa dinâmica da vegetação aliada a exploração de forma não sustentável pode gerar grandes perdas de diversidade, uma vez que uma alta diversidade e um alto endemismo das espécies em determinadas regiões, refletem oportunidades limitadas de dispersão e estabelecimento bem sucedido entre áreas de floresta seca (BANDA *et al.*, 2016; HUGHES; PENNINGTON; ANTONELLI, 2013).

Segundo o MMA (2018), aproximadamente 46% da área total da Caatinga já foi desmatada e mesmo assim a Caatinga continua sendo um dos ecossistemas vegetacionais menos estudados, assim como o restante das FTS (BLACKIE *et al.*, 2014). Com isso, um dos maiores problemas associados a Caatinga é o elevado grau de degradação ambiental e o baixo conhecimento quantitativo e qualitativo da sua biodiversidade (LEITE *et al.*, 2015).

### **2.3 Produção de biomassa em Floresta Tropical Seca brasileira**

As áreas da Caatinga, geralmente, são exploradas para produção de lenha, uso agrícola e pastagem, e logo em seguida são abandonadas iniciando o processo de regeneração. Tal processo dá origem a novos fragmentos florestais que apresentam uma alta taxa de recrutamento e densidade de novos indivíduos e espécies arbustivo-arbóreas de pequeno porte que terão um grande crescimento e incremento de biomassa (ARYAL. *et al.*, 2014; VOLLAND-VOIGT *et al.*, 2011). A dinâmica da biomassa no começo da sucessão é dominada por espécies arbóreas mais tolerantes que são capazes de lidar melhor com o ambiente severo nos estádios iniciais de sucessão (MARTIN; NEWTON; BULLOCK, 2013; ROZENDAAL *et al.*, 2017).

Essa dinâmica está ligada principalmente a capacidade regenerativa das espécies com maior produtividade, densidade e armazenamento de biomassa, pois quanto maior a quantidade de biomassa maior a potencialidade de sobreviver durante o recenseamento (PRADO-JUNIOR *et al.*, 2016; STEPHENSON *et al.*, 2014). Porém, tais processos dependem de diversos fatores

como composição e variabilidade das espécies, fatores edáficos, nível e tipo de distúrbios antropogênicos e padrão da precipitação (FEITOSA, 2017; KUMAR *et al.*, 2010; ROZENDAAL *et al.*, 2017; TOLEDO *et al.*, 2011). Entre os fatores determinantes da produção de biomassa, as mudanças na disponibilidade de água é o fator mais forte sobre a dinâmica das espécies sucessivas, pois a disponibilidade de água no solo e a umidade relativa do ar aumentam com o desenvolvimento da cobertura vegetal durante a sucessão reduzindo as condições extremamente secas no início (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2014; ROZENDAAL *et al.*, 2017).

Em uma sequência de anos secos o incremento de biomassa é menor, o que demonstra o impacto das condições climáticas na produção de biomassa nas FTS (SPANNL *et al.*, 2016). Assim, a sazonalidade de fatores climáticos se reflete em respostas fisiológicas das árvores que desenvolvem diferentes estratégias de crescimento, uma vez que a água desempenha um papel dominante na regulamentação de estrutura e na dinâmica das florestas (HOEKSTRA *et al.*, 2005; PRADO-JUNIOR *et al.*, 2016). Com isso, há variações extremas do crescimento da biomassa que respondem de forma positiva ou negativa às chuvas anuais totais, aos eventos pluviométricos durante a estação seca ou durante a estação chuvosa, (BRIENEN *et al.*, 2010; FICHTLER *et al.*, 2004; SPANNL *et al.*, 2016).

Desta forma, observa-se na FTS brasileira, DFC, uma grande variação do estoque de biomassa que é de 2 até 156 Mg ha<sup>-1</sup>, no extrato lenhoso aéreo (FEITOSA, 2017; PEREIRA JÚNIOR, 2015; SAMPAIO; FREITAS, 2008). Tais resultados são oriundos de pesquisas que estimam apenas o estoque de biomassa através de monitoramento de curto prazo, em média 2 anos, o que dificulta o entendimento de outros processos como a dinâmica da vegetação, os padrões de distribuição geográficos, a abundância e suas relações com os fatores ambientais (CALIXTO JÚNIOR, 2009; MENEZES *et al.*, 2012; SAMPAIO; FREITAS, 2008; SILVA; SAMPAIO, 2008). Em florestas temperadas, diversos estudos quantificaram as mudanças na biomassa acima do solo em sucessão através do monitoramento de longo prazo das parcelas florestais (MENDOZA-PONCE, GALICIA, 2010; ROZENDAAL *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2017).

Assim, compreender a contribuição e potencial de crescimento das árvores, do recrutamento e da mortalidade para a acumulação de biomassa acima do solo durante a sucessão nas florestas tropicais secas é de extrema relevância para se avaliar as respostas das estimativas dos fluxos globais, haja vista a ameaça do agravamento da crise ambiental frente as mudanças climáticas (MOHANRAJ *et al.*, 2011; PEREIRA JÚNIOR, 2016; ROZENDAAL *et al.*, 2017).

Os prognósticos apontam que regiões específicas do globo irão apresentar precipitações mais baixas e temperaturas mais altas (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017), acarretando a

redução da cobertura vegetal (MARENGO *et al.*, 2011). Portanto, a manutenção e a conservação das FTS é primordial, já que as mesmas apresentam características morfológicas, anatômicas e ecofisiológicas que combinadas contribuem para a eficiência no uso da água em sua sobrevivência (FIGUEIREDO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2012; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017; PEREIRA JÚNIOR, 2016).

Desta forma, a compreensão de tais processos são essenciais para entendimento da dinâmica atual e futura do crescimento das árvores, a fim de se realizar uma gestão sustentável dos recursos florestais, melhorando sua conservação e promovendo a restauração dos fragmentos degradados.

## REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO-FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Florística e Fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta bot. bras.**, v.17, p. 287-303, 2003. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062003000200011&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062003000200011&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 7 maio 2019.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta bot. bras.**, v. 19, n. 3, p. 615-623. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000300023>. Acesso em: 7 maio 2019.
- ANDRADE, E. M. A. **Floresta Tropical Seca, Caatinga: as Certezas e Incertezas das Águas**. Tordesillas Revista de Investigación Multidisciplinar. [s.l.], [s.n.], n. 12., 2017. p.11 – 20.
- ANDRADE, E. M. DE *et al.* Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 10, n. 2, p. 88, 2016. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/3500>. Acesso em: 12 maio 2019.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Water as Capital and Its Uses in the Caatinga. In: SILVA, J. M. C; LEAL, I. R; TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. [s.l.], Spring, 2017. p. 281-302.
- AQUINO, D. N. **Ciclagem de carbono e caracterização espectral em áreas de caatinga raleada e conservada**. 2015. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará Fortaleza, 2015.
- ARAÚJO FILHO, J. A. DE. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. 22. ed. Recife: [s.n.]. v. 53. 2013.
- ARYAL, D. R. *et al.* Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 195, p. 220–230, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914003259>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- BANDA - R. K. *et al.* Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383–1387, 2016. DOI: 10.1126/science.aaf5080. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/353/6306/1383>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- BAPTISTA, N. Q.; CAMPOS, C. H. Caracterização do Semiárido Brasileiro. In: Irio Luiz Conti, I. L.; Schroeder, E. O. **Convivência com o Semiárido Brasileiro: Autonomia e Protagonismo Social**. Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS/REDEgenteSAN / Instituto Ambiental Brasil Sustentável – IABS / Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento – AECID / Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome - MDS / Editora IABS, Brasília-DF, 2013. 208 p.



BLACKIE, R. *et al.* **As florestas tropicais secas: O estado de conhecimento global e recomendações para futuras pesquisas.** 2014. Documento para Discussão. Bogor, Indonésia: CIFOR. 2014.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical Secondary Forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, n. 1, p. 1-32, 1990. Disponível em: [https://www.jstor.org/stable/2559366?seq=1#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2559366?seq=1#metadata_info_tab_contents). Acesso em: 12 maio 2019.

CALIXTO JÚNIOR, J. T. **Análise estrutural de duas fitofisionomias de caatinga em diferentes estados de conservação no semiárido pernambucano.** 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2009.

CARVALHO, E. C. D. **Estrutura e Estágios de Sucessão Ecológica da vegetação de caatinga em ambiente serrano no Cariri paraibano.** 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2009.

CAVALCANTI *et al.*, Fontes de renda dos pequenos agricultores no semi-árido do Nordeste brasileiro. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL*, 38., 2000, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Campinas: UNICAMP; Auburn: IRSA; Brasília, DF: SOBER, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/37186/1/OPB1722.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2019.

CAVALCANTI, A. D. C. *et al.* Mudanças florísticas e estruturais, após cinco anos, em uma comunidade de Caatinga no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 1210-1212, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v23n4/v23n4a32.pdf>. Acesso em: 11 maio 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED. **Global ecological zones for FAO forest reporting: 2010 update.** Forest Resources Assessment Working Paper 179. 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/ap861e/ap861e00.pdf>. Acesso em: 1 de set. de 2019.

FEITOSA, R. C. **Estoque de carbono em Floresta Tropical Sazonalmente Seca no nordeste do Brasil: Uma comparação entre dois usos do solo.** 2017. 96f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERNANDES, F. B. P. **DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DO FEIJÃO-DE-CORDA EM FUNÇÃO DO MANEJO DE SOLO NO SEMIÁRIDO CEARENSE.** 2014. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FIGUEIREDO, K. V. *et al.* Epicuticular-wax removal influences gas exchange and water relations in the leaves of an exotic and native species from a Brazilian semiarid region under induced drought stress. **Australian Journal of Botany**, v. 60, n. 8, p. 685–692, 2012. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/bt/bt12168>. Acesso em: 12 maio 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED. **Global ecological zones for FAO forest reporting: 2010 update**. Forest Resources Assessment Working Paper 179. 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/ap861e/ap861e00.pdf>. Acesso em: 1 de set. de 2019.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Fixação biológica do N<sub>2</sub> em leguminosas arbóreas da Paraíba e de Pernambuco. *In*: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2008. p. 27-46.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. **Sistemas Meteorológicos Causadores de Chuva na Região Nordeste do Brasil**. Fortaleza, 2002. Disponível em: [http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico\\_chuvas\\_postos\\_pluviometricos/entender/entender2.htm](http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/entender/entender2.htm). Acesso em: 27 de fev. de 2019.

GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos florestais da Caatinga**. 2. ed. Brasília, Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

GUERREIRO, M. J. S. *et al.* Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 14, p. 2929–2939, 2013. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.3645>. Acesso em: 21 maio 2019.

HOEKSTRA, J. M. *et al.* Confronting a biome crisis: Global disparities of habitat loss and protection. **Ecology Letters**, v. 8, n. 1, p. 23–29, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x>. Acesso em: 21 abr. 2019.

HUGHES, C. E.; PENNINGTON, R. T.; ANTONELLI, A. Neotropical Plant Evolution: Assembling the Big Picture. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 171, n. 1, p. 1–18, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/boj.12006>. Acesso em: 21 maio 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e de vegetação**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 1 mar. 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Caatinga**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/caatinga>. Acesso em: 8 de fev. de 2019.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 140-151, 1993. Disponível em:

<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1939509>. Acesso em: 21 maio 2019.

KUMAR J.I. N. *et al.* Tree species diversity and soil nutrient status in three sites of tropical dry deciduous forest of western India. **Tropical Ecology**, v. 51, n.2, p. 273-279, 2010.

Disponível em:

[https://pdfs.semanticscholar.org/8191/37ae933756a9d7d3e20803b0cb8fa78722a8.pdf?\\_ga=2.79249047.243590104.1576523071-31292908.1576523071](https://pdfs.semanticscholar.org/8191/37ae933756a9d7d3e20803b0cb8fa78722a8.pdf?_ga=2.79249047.243590104.1576523071-31292908.1576523071). Acesso em: 21 abr. 2019.

LEITE, J. A. N. *et al.* Análise quantitativa da vegetação lenhosa da Caatinga em Teixeira, PB. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 89-100, 2015. Disponível em:

<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/584>. Acesso em: 21 abr. 2019.

LEWIS, S. L. *et al.* Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests.

**Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1625, 2013. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2012.0295>.

Acesso em: 21 abr. 2019.

LIMA JÚNIOR, C. *et al.* Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Sci. For., Piracicaba**, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.

Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45531172.pdf>. Acesso em: 1 maio 2019.

LIMA, A. L. A. *et al.* The phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? **Trees**, v. 26, p. 1605–1616, 2012. Disponível em: [https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-012-0735-](https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-012-0735-2)

2. Acesso em: 1 maio 2019.

MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, *In*:

Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. da S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, INSA. 2011. p.383-422.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past,

present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200,

2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 25 maio 2019.

MARIANO, R. F. **Sucessão de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) no Brasil**.

2014. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

MARTIN, P. A.; NEWTON, A. C.; BULLOCK, J. M. Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1773, 2013. Disponível em:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2013.2236>. Acesso em: 5 maio 2019.

MEIR, P. *et al.* The effects of drought on Amazonian rain forests. *In*: Keller, M. *et al.*

**Amazonia and Global Change**. Eds., Geophysical Monograph Series, American Geophysical Union, Washington, p. 429-449, 2009.

MENDONÇA, A. V. R. *et al.* Estimação de biomassa aérea da caatinga do norte da Bahia. **Pesq. flor. bras.**, v. 33, n. 76, p. 355-368, 2013. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/579>. Acesso em: 22 maio 2019.

MENDONÇA, M. A. B. **Interferência da Precipitação na Produção de Serrapilheira em Área de Caatinga Submetida a Diferentes Manejos**. 2014. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará Fortaleza, 2014.

MENDOZA-PONCE, A.; GALICIA, L. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. **Forestry**, v. 83, n. 5, p. 497–506, 2010. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestry/article/83/5/497/659429>. Acesso em: 17 abr. 2019.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181–186, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a09.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

MENEZES, R. S. C. *et al.* Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Braz. J. Biol.**, v. 72, n. 3, p. 643-653, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjb/v72n3s0/v72n3s0a04.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.

MILES, L. *et al.* A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33 p. 491–505, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>. Acesso em: 13 maio 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acesso em: 01 de março de 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Unidades de Conservação por Bioma**. Brasília 2012. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_dap\\_cnuc2/\\_arquivos/uc\\_por\\_bioma\\_cnuc\\_31jan2012\\_119.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_dap_cnuc2/_arquivos/uc_por_bioma_cnuc_31jan2012_119.pdf). Acesso em: 11 maio 2019.

MOHANRAJ, R.; SARAVANAN, J.; DHANAKUMAR, S. Carbon stock in Kolli forests, Eastern Ghats (India) with emphasis on aboveground biomass, litter, woody debris and soils. **iForest**, v. 4, n. 2, p. 61-65, 2011. Disponível em: <https://iforest.sisef.org/contents/?id=ifor0568-004>. Acesso em: 27 abr. 2019.

MOURA, M. S. B. **Precipitação e evaporação**. Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma\\_caatinga/arvore/CONT000g798rt3p02wx5ok0wtedt3nd3c63l.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3p02wx5ok0wtedt3nd3c63l.html). Acesso em: 11 maio 2019.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of Tropical Dry Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 67–88, 1986. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>. Acesso em: 11 maio 2019.

NGO, K. M. *et al.* Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore. **Forest Ecology and Management**, v. 296, p. 81-89, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713000984>. Acesso em: 11 maio 2019.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do distrito federal. **Revista Árvore**, v. 35, p. 527-538, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v35n3/a15v35n3.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2019.

PALÁCIO, H. A. Q. **Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos**. 2011. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Brasília, p. 15, 2007. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1604>. Acesso em: 27 fev. 2019.

PEREIRA JÚNIOR, L. R. **Estrutura e estoque de carbono em vegetação de caatinga: estudo de caso em uma área com 30 anos de regeneração**. 2016. 84 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Centro de Ciências, Departamento de Biologia, Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

PEREIRA JÚNIOR, L. R. *et al.* Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 1, p. 32-40. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n1/0045-6888-rca-47-01-0032.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, p. 211–214, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature16512>. Acesso em: 23 abr. 2019.

POORTER, L. *et al.* Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1314–1328, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.12364>. Acesso em: 23 abr. 2019.

PRADO, H. **Solos tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso**. São Paulo: Nobel, 1995.

PRADO-JUNIOR, J. A. *et al.* Conservative species drive biomass productivity in tropical dry forests. **Journal of Ecology**, v. 104, n. 3, p. 817–827, 2016. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2745.12543>. Acesso em: 17 maio 2019.

REZENDE, A. V. *et al.* Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65-76, 2006. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap07.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudos florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga**. Brasília: SB, p. 24, 2013.

ROZENDAAL, D. M. A. *et al.* Demographic Drivers of Aboveground Biomass Dynamics During Secondary Succession in Neotropical Dry and Wet Forests. **Ecosystems**, v. 20, n. 2, p. 340–353, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-016-0029-4>. Acesso em: 17 maio 2019.

SALGADO, E. V. **Capacidade de suporte da serapilheira da Caatinga na recuperação de solos degradados no Semiárido**. 2014. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SAMPAIO, E. V. D. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. *In*: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; SALCEDO, I. H. (Ed.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: UFPE, 2008. p. 11-25.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botanica Brasílica**. v.19, n. 4, p. 935-943. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v19n4/a28v19n4.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n3/a17v32n3.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2019.

SILVA, V. P. R. DA *et al.* Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131–138, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n2/v15n02a04.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS NA OCORRÊNCIA DE VERANICOS NA MICRORREGIÃO DO PAJEÚ – PE. **Revista de Geografia**. Recife, v. 26, n. 3, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228779/23193>. Acesso em: 13 maio 2019.

SPANNL, S. *et al.* Climate variability, tree increment patterns and ENSO-related carbon sequestration reduction of the tropical dry forest species *Loxopterygium huasango* of Southern Ecuador. **Trees - Structure and Function**, v. 30, n. 4, p. 1245–1258, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-016-1362-0>. Acesso em: 22 maio 2019.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do Semiárido**. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 27 fev. 2019.

THURNER, M. *et al.* Carbon stock and density of northern boreal and temperate forests. **Global Ecology and Biogeography**, v.23, n. 3, p. 297–310, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.12125>. Acesso em: 11 abr. 2019.

TIESSEN, H. *et al.* Carbon Sequestration and Turnover in Semiarid Savannas and Dry Forest. **Climatic Change**, v. 40, n. 1, p. 105-117, 1998. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1005342932178>. Acesso em: 10 ago. 2019.

TOLEDO, M. *et al.* Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 1, p. 254–264, 2011. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2745.2010.01741.x>. Acesso em: 27 maio 2019.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões Propostas para o Bioma Caatinga. *In*: \_\_\_\_\_ (Ed.). Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. p. 1-76.

VOLLAND-VOIGT, F. *et al.* Radial stem variations of *Tabebuia chrysantha* (Bignoniaceae) in different tropical forest ecosystems of southern Ecuador. **Trees**, v. 25, n. 1, p. 39-48, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-010-0461-6>. Acesso em: 18 abr. 2019.

ZHANG, C. *et al.* Structural drivers of biomass dynamics in two temperate forests in China. **Ecosphere**, v. 8, n. 3, 2017. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecs2.1752>. Acesso em: 13 maio 2019.

### **3. CAPÍTULO 1 - TENDÊNCIA SAZONAL DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM ÁREA DE DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO DA CAATINGA**

#### **RESUMO**

A grande variabilidade do regime pluviométrico e a seca são características das regiões semiáridas e o seu monitoramento pode ajudar na tomada de decisões em termos de medidas e adaptação à variabilidade climática de curto, médio e longo prazo. O conhecimento desses processos permitirá definir estratégias de mitigação dos seus efeitos sobre o semiárido. Assim, objetivou-se identificar padrões de longo prazo e tendências da precipitação e temperatura através de padrões temporais, além de avaliar a duração de períodos úmidos e secos. Empregou-se neste estudo séries históricas diárias de precipitação e temperatura do município de Iguatu-CE. Para a variável pluviométrica foi calculada a normal climatológica anual e mensal (1974 – 2018), além dos dias secos consecutivos (DSC) dentro da quadra chuvosa (veranico). Para a variável temperatura foi calculada a média anual das máximas, médias e mínimas (1996-2017). Utilizou-se também o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado. Constatou-se uma grande variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, com anos muito úmidos (1985, 2009 e 2011) e muito secos (1979, 1983 e 1993) intercalados por períodos com precipitação em torno da média. Ao analisar a ocorrência total de veranicos por classe observou-se que os veranicos de 5 a 10 dias apresentaram a maior quantidade de eventos e uma tendência à redução da ocorrência de eventos dessa classe. Também foi observado um aumento dos veranicos mais longos, superiores a 16 dias. As temperaturas máximas anuais apresentaram tendências crescentes ao longo dos anos e as temperaturas mínimas obtiveram os menores aumentos. Concluiu-se que os eventos extremos pluviométricos são comuns, e apresentam alternância entre anos de seca e anos chuvosos. Os últimos sete anos foi o maior período com precipitações totais anuais abaixo da média histórica, contudo, não foi o mais crítico. Desta forma, o aumento da temperatura máxima e a redução das chuvas expressam a variabilidade climática extrema que pode ser consequência das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Variabilidade das chuvas; Extremos climáticos; Secas.

#### **CHAPTER 1 - SEASONAL TREND OF CLIMATE VARIABLES IN THE CAATINGA PHYTOGEOGRAPHIC DOMAIN AREA**

#### **ABSTRACT**



The great variability of rainfall and drought are properties of semiarid zones and their monitoring can assist in decision making in terms of measures and adaptation to climatic variability of short, medium and long term. A better knowledge about these processes should help to support strategies to mitigate their effects on semiarid. We aimed identify long terms patterns of precipitation and temperature temporal trends, as also evaluate during of wet and dry seasons. We employed in this study daily historical series of precipitation and temperature of Iguatu city-CE. We applied the precipitation data to calculate the annual and monthly climatological normal (1974 – 2018), also as consecutive dry days (CDD) into the rainy season (hydric deficit). From the temperature we calculated the annual mean of maximum, mean and minimum (1996 – 2017). We use the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). We found great rainfall interannual variability, with very wet years (1985, 2009 and 2011) and very dry years (1979, 1983 and 1993) intercalated by periods with precipitation around the mean. The occurrence of total hydric deficit by class showed the class of 5 to 10 days present the major quantities of events and a trend to decrease the occurrence of events of this class. We also observed an increasing of longer hydric deficit upper than 16 days. The annuals maximum temperatures presented increasing trends over the years and the minimum temperatures obtained the smallest increments. We concluded that the extreme rainfall events are usual, presenting alternation between dry and wet years. The last seven years represent the longer period with total annual precipitations below the historical average however it was not the most critical. Thus the elevation of maximum temperature and the rainfall reduction express the extreme climatic variability, that can be consequence of climate changes.

**Keywords:** Rainfall variability; Climatic extremes; Dried.

### 3.1 Introdução

As regiões semiáridas do globo terrestre são caracterizadas por um elevado deficit hidrico (SILVA *et al.*, 2011), devido a elevada radiação solar incidente (MOURA *et al.*, 2007) e alta variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviométricas (ANDRADE, 2017; FERNANDES, 2014). No Brasil, a região semiárida corresponde a 53% do território do Nordeste brasileiro (FERREIRA *et al.*, 2018), e vem sendo marcada pela ocorrência dos eventos de secas que estão ficando cada vez mais recorrentes (MOURA *et al.*, 2007; MARENGO *et al.*, 2017). As secas nesta região são causadas, principalmente, pela variabilidade das fontes indutoras do regime pluviométrico e das temperaturas das águas do atlântico (GUERREIRO *et*

*al.* 2013), uma característica determinante das condições do clima local (PEREIRA, 2014), pois ele não se limita apenas à variabilidade espacial, mas também à alta variabilidade intra e interanual (ANDRADE *et al.*, 2016b).

A região semiárida brasileira apresenta grande vulnerabilidade as secas devido a degradação da terra e da desertificação oriundas de intervenções antrópicas, por motivos culturais e econômicos (MARENGO *et al.*, 2017; DANTAS *et al.*, 2015). Fato este, que pode piorar devido às previsões relacionadas às mudanças climáticas, que preveem déficits de precipitação, juntamente com o aumento da temperatura, tornando as secas mais frequentes (MARENGO; TORRES; ALVES, 2016; MENEZES *et al.*, 2008; DANTAS *et al.*, 2015 ;ANDRADE, 2011; FERREIRA *et al.*, 2018).

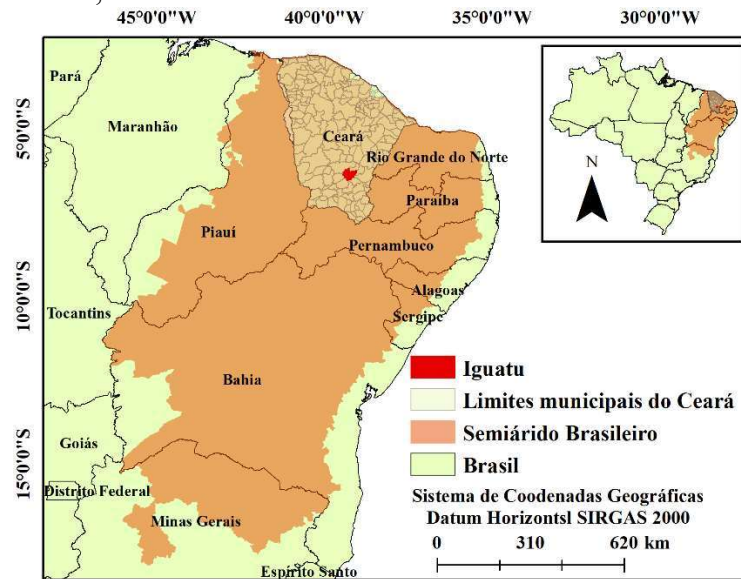
Diferentes regiões do mundo vêm estudando o regime pluviométrico em face de sua importância no ciclo hidrológico e nos ecossistemas (SILVA *et al.*, 2011; MOURA *et al.*, 2007; DANTAS *et al.*, 2015 SIGHN *et al.* 2015; ABDULLAH, 2014). Todavia, estudos relacionados as tendências em longo prazo merecem especial atenção devido a sua importância nas estratégias de mitigação dos efeitos da seca no semiárido (DANTAS *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2012), que são constantes e alternam-se com anos de cheias. (MARENGO, 2011; BRITO *et al.*, 2017).

Desta forma, o monitoramento da seca e da sazonalidade do regime pluviométrico pode ajudar na tomada de decisões em termos de medidas e adaptação à variabilidade climática de curto, médio e longo prazo, permitindo estratégias de mitigação dos efeitos da seca no semiárido. Portanto, objetivou-se identificar padrões de longo prazo e tendências na precipitação e temperatura através de padrões temporais, além de avaliar a duração de períodos úmidos e secos.

### **3.2 Material e Métodos**

O município de Iguatu está inserido na região semiárida tropical, no centro-sul do estado do Ceará, com uma área de 1.029,00 km<sup>2</sup> tendo como coordenadas centrais, 6° 21' 34" S e 39° 17' 55" O (Figura 3). A região está inserida na Depressão Sertaneja, apresentando relevo plano suave, com formas ligeiramente entalhadas e altitudes de 217,8 m. Os solos predominantes são os Aluvias, Litólicos, Podzólico Vermelho-Amarelo e Vertissolo (IPECE, 2006). A vegetação é do tipo Caatinga caducifólia, de porte baixo em média de 5m de altura, com densidade arbórea bem variável devido a ação antrópica (PEREIRA JÚNIOR, 2016).

Figura 3 - Mapa de localização do município de Iguatu, Ceará, Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor.

O clima da região é classificado como BSh'w' (semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, a temperatura média é de 28 °C variando entre 22,4 °C para as mínimas e 33,5 °C para as máximas. A evapotranspiração potencial (ETP) excede a precipitação, a média da ETP é de 1.902,5 mm ano<sup>-1</sup> ±117,8 mm ano<sup>-1</sup>, com as maiores taxas entre agosto e janeiro (INMET, 2019). A pluviosidade média histórica é de 996,6 mm ano<sup>-1</sup> ±300,0 mm ano<sup>-1</sup>, com as chuvas concentradas entre dezembro e maio, tendo 43% das chuvas concentradas entre março e abril (INMET, 2019).

As fontes indutoras que influenciam a estação chuvosa são principalmente as Frentes Frias (FF), que penetram na região ao se direcionarem à linha do Equador e atingirem latitudes em torno de 10° S entre os meses de novembro e dezembro. As FF são as responsáveis pelas chuvas ocorridas entre os meses de novembro a fevereiro. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que ocasiona as chuvas entre janeiro e maio com as suas maiores concentrações entre março e abril. As Ondas de Leste, que induzem o início da quadra chuvosa na região leste do semiárido brasileiro ou prolonga a estação chuvosa do semiárido setentrional, atuando entre os meses de maio a agosto, com as chuvas concentradas entre junho e julho.

As anomalias de Temperatura da Superfície do Mar são responsáveis pela grande variabilidade intra e interanual das chuvas, gerando anos chuvosos e anos secos. Assim, empregou-se neste estudo séries históricas diárias de precipitação e temperatura. Tanto para a série da precipitação pluviométrica quanto para a de temperatura, utilizou-se um período de 22 anos (1996-2017), devido à falta de dados de temperatura anterior a 1996. Os dados foram

obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa (BDMEP/INMET). Para a variável pluviométrica foi calculada a normal climatológica anual e mensal (1974 – 2018), além dos dias secos consecutivos (DSC) dentro da quadra chuvosa (veranico). Atribui-se como veranicos intervalos de DSC ou com chuva < 2 mm com no mínimo cinco dias, para a quadra chuvosa (dezembro a maio). Posteriormente foram separados em classes: 5-10 dias, 11-15 dias, 16-20 dias, >20 dias (FEITOSA, 2017). Para a variável temperatura foi calculada a média anual das máximas, médias e mínimas.

Utilizou-se também o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado – *Standard Precipitation and Evapotranspiration Index* (SPEI). O SPEI é capaz de identificar processos de mudança climática relacionados a mudanças na precipitação e/ou temperatura, e pode ser usado para avaliar as possíveis influências do aquecimento. Valores positivos de SPEI indicam uma anomalia positiva (maior disponibilidade hídrica), enquanto valores negativos indicam uma anomalia negativa (menor disponibilidade hídrica), ambos relativos a um período de referência (Tabela 1) (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍAM; LÓPEZ-MORENO, 2010).

Tabela 1 – Categorias de anomalias do Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado

SPEI	Categorias
$\geq 2$	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1 a 1,49	Moderadamente úmido
-0,99 a 0,99	Normal
-1 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Muito seco
$\leq -2$	Extremamente seco

Fonte: Vicente-Serrano, Begueríam e López-Moreno (2010).

O SPEI tem um caráter multiescalar, pode ser calculado em intervalos de tempo de 1 a 24 meses (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍAM; LÓPEZ-MORENO, 2010). O intervalo de 1 mês reflete uma condição de curto prazo; de 3 meses fornece uma estimativa sazonal da precipitação; de 12 meses também reflete tendências de médio prazo nos padrões de precipitação e pode fornecer uma estimativa anual do estado da água (BOHN; PICCOLO, 2018).

O SPEI é obtido através de um balanço hídrico climático simples entre a diferença da precipitação total mensal (P) e da evapotranspiração potencial mensal (PET). O PET foi calculado pelo método de Thorntwaite, que necessita apenas da temperatura mensal e da

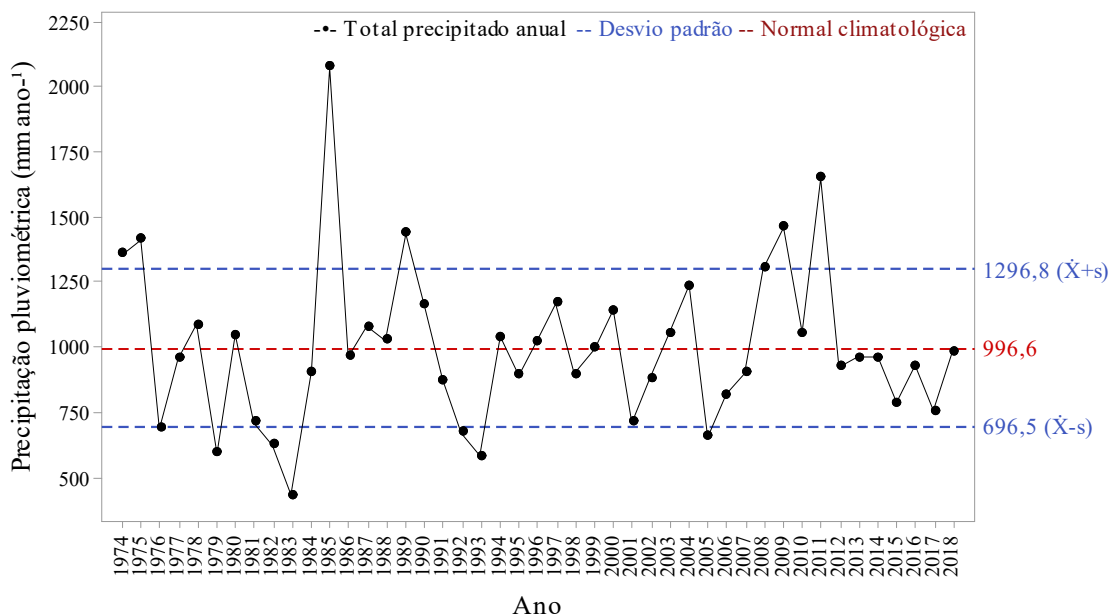
coordenada geográfica da região. Para a normalização do índice utilizou-se o período de referência 1996 a 2017. O SPEI foi calculado utilizando o software R, através do pacote SPEI.

### 3.3 Resultados e Discussão

#### 3.3.1 Regime pluviométrico

Considerando-se uma série histórica de 45 anos (1974-2018), a normal climatológica para a área investigada foi de  $996,6 \pm 300,1$  mm ano<sup>-1</sup>, encontrando-se no intervalo da  $\bar{X} \pm s$  para a região semiárida brasileira que é de 750,0 mm ano<sup>-1</sup> (ANDRADE, 2017). Constatou-se uma grande variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, com anos muito úmidos (1985, 2009 e 2011) e muito secos (1979, 1983 e 1993) intercalados por períodos com precipitação em torno da média (Figura 4). Os dois eventos extremos, um com o menor total precipitado anual em 1983 (433,1 mm) e outro com o maior volume total precipitado em 1985 (2.076,0 mm), foram separados por apenas um ano. Tais observações expressam a incerteza do regime pluviométrico da região como já discutido por Andrade *et al.* (2017), onde um ano extremamente seco pode ser seguido por um ano extremamente úmido.

Figura 4 - Série histórica de precipitação pluviométrica anual do município de Iguatu-CE

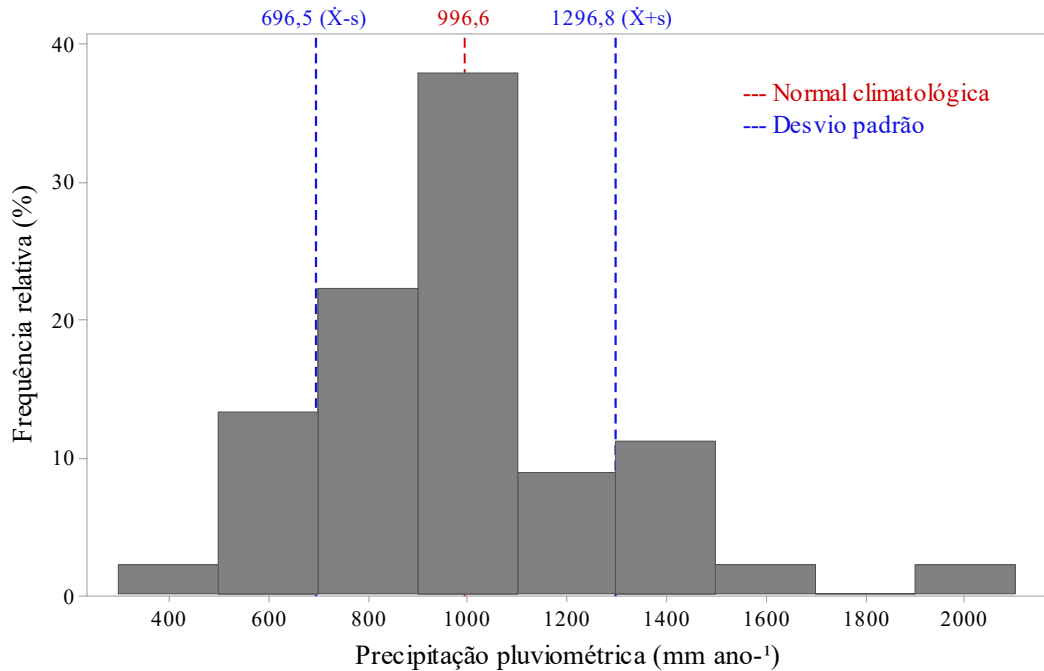


Fonte: INMET (2019).

Dos 45 anos da série, 25 anos apresentaram precipitações abaixo da média histórica, destes 25 anos 7 foram abaixo do limite inferior de 696,5 mm ( $\bar{X}-s$ ). Enquanto com precipitação anual acima da média histórica foram 19 anos; destes 19 anos, 7 foram acima do limite superior de 1.296,8 mm ( $\bar{X}+s$ ). Dois períodos de maior prolongamento dos totais precipitados anuais abaixo da normal climatológica podem ser observados. O primeiro período foi de 1981 a 1984, com uma média anual de 668,3 mm ano<sup>-1</sup>, expressando uma sequência de anos com precipitação inferior à média anual em 33%. O segundo período de 2012 a 2018 comendo uma sequência de 7 anos, e uma média de 898,6 mm ano<sup>-1</sup>. Um fato a ser considerado é que a ocorrência de dois períodos longos de secas e a constante alternância entre anos muito chuvosos e secos imprimem à região a característica de que a variabilidade temporal é um fator determinante no déficit hídrico da região de maior importância do que a média pluviométrica anual (ANDRADE, 2017).

Ao observar as frequências de ocorrência das precipitações pluviométricas anuais (Figura 5), constatou-se que a maioria dos eventos foram registrados na classe de 1.000,0 mm ano<sup>-1</sup> perfazendo 37,8% dos anos observados, seguida pelas classes 800 e 600 mm ano<sup>-1</sup> com 22,2% e 13,3% das observações, respectivamente. Tal fato expressa que a maioria dos totais das precipitações pluviométricas anuais ocorrem entre 500 e 1.100 mm ano<sup>-1</sup>, que correspondem a 73,3% dos anos. Enquanto que os eventos extremos, que são os eventos superiores a ( $\bar{X}\pm s$ ) 2,2% cada, representados pelas classes 400, 600, 1.600, 1.800 e 2.000 mm. Ferreira *et al.* (2018), correlacionou a precipitação pluviométrica total anual com as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e constatou que há grande influência das mesmas sobre os totais anuais da precipitação. Tal fato explica a grande variabilidade do volume total precipitado de chuva, já que as anomalias de TSM são sazonais e influenciam os sistemas atmosféricos.

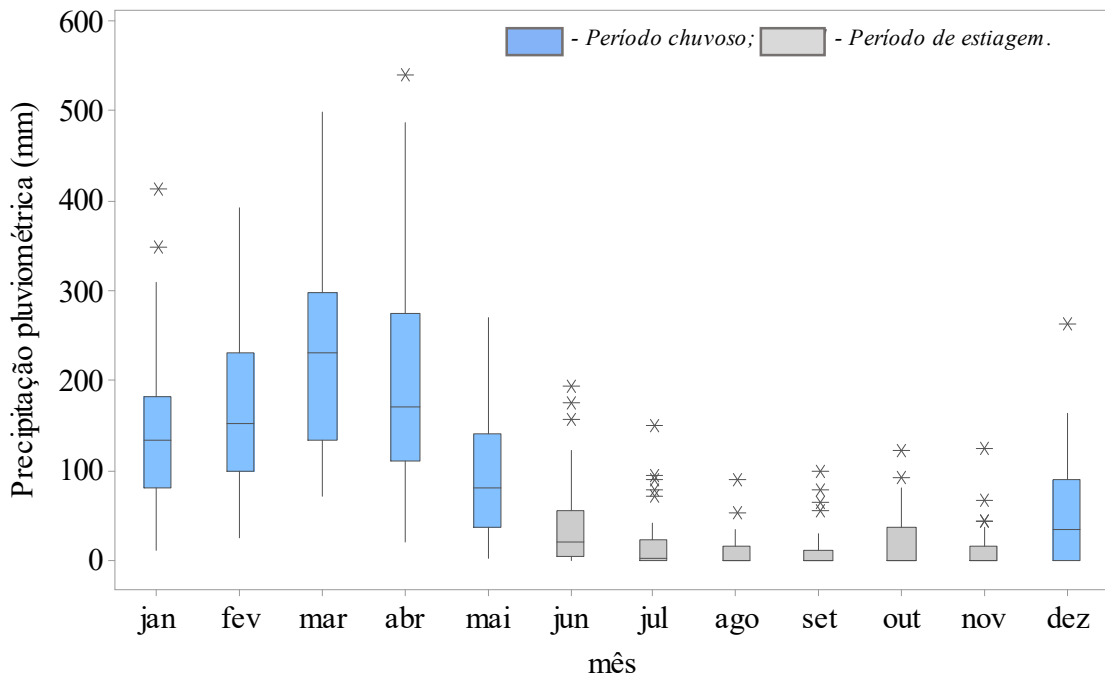
Figura 5 - Distribuição da frequência da precipitação pluviométrica anual para o município de Iguatu-CE



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição intra-anual das chuvas no município de Iguatu é caracterizado por sua irregularidade mensal (Figura 6). Percebe-se dois períodos distintos na distribuição dos totais mensais de chuva durante o ano, uma estação chuvosa e outra seca. A estação úmida ocorre de dezembro a maio, e detém 89% do total precipitado no ano. A estação seca inicia em junho e termina em novembro que é responsável pelos 11% restantes da precipitação pluviométrica anual. Nota-se que o ano hidrológico para a região sertão-central se inicia em dezembro, portanto, ao se fazer estudos hidrológicos sobre essa região deve-se ficar atento ao início do ano hidrológico.

Figura 6 - Distribuição da precipitação pluviométrica mensal para o município de Iguatu-CE, para o período de 1974 a 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estação chuvosa nos estados do nordeste brasileiro atinge seu ápice nos meses de março, abril e maio (trimestre chuvoso), quando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está mais ao Sul ( $6^{\circ}\text{S}$ ) (SILVA *et al.*, 2011). Na área de estudo se evidencia tal fato pelas máximas precipitações pluviométricas que ocorrem nos meses de março e abril, correspondendo a 43% do volume total de chuvas do ano. Desta forma, A ZCIT se mostra como o principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas nessa região como já discutido por distintos pesquisadores (ANDRADE *et al.*, 2017; GUERREIRO *et al.*, 2013).

Nota-se que os meses do período chuvoso apresentam uma grande variabilidade dos dados, evidenciado pelo distanciamento entre Q1 e Q4 na caixa do boxplot (intervalo interquartilico). Tal comportamento expressa uma elevada amplitude e dispersão em torno da mediana, e divide a população em duas partes iguais quanto ao número de eventos. Os eventos não apresentam simetria em sua distribuição como pode ser visto pela localização da mediana. Para todos os meses da quadra chuvosa, os eventos apresentam uma tendência de estarem mais próximas do Q1, com exceção de março que apresenta uma tendência de se aproximar do Q3. Identifica-se, também, que no mês de janeiro a distribuição tende a ser simétrica, já que a mediana está centralizada entre Q2 e Q3.

Desta forma, observa-se que há uma incerteza nos eventos de chuva, pois hora os valores são muito baixos, hora são muito altos. Evidenciando a variabilidade dos eventos e



demonstrando uma tendência a eventos mensais extremos, já que as alturas pluviométricas mensais inferiores à mediana estão mais próximos e os superiores estão mais dispersos. Além de em um único mês (março/2019) poder chover mais que o total anual em um ano seco (1983). Já para o período de estiagem (junho a novembro), identifica-se uma menor amplitude das chuvas quando comparadas ao período chuvoso, demonstrado pela menor amplitude entre Q2 e Q3, além de apresentarem mediana próximo de zero (Figura 6), o que caracteriza meses com total precipitado igual a zero. Ademais, neste período identifica-se a ocorrência de uma maior quantidade de eventos extremos à mediana, ou seja, apresentam uma diversidade de eventos isolados durante todo o período, que são superiores ao Q3 em 1,5 vezes.

Devido a série histórica de temperatura (1996 – 2017) ser inferior a série histórica de precipitação, os cálculos do Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI) e dos veranicos se fundamentou nos dados dos últimos 22 anos.

### 3.3.2 *Veranico*

Ao analisar a ocorrência total de veranicos por classe observou-se que a classe I (Tabela 2) foi a que apresentou a maior quantidade de eventos, em um total de 127 observações, seguida pela classe II com 35 e pelas classes III e IV com 18 e 13 observações, respectivamente. O período estudado apresentou uma média anual de 9 eventos, resultado este superior ao encontrado por Fernandes (2014) e Soares e Nóbrega (2009). Os referidos autores quantificaram uma média de 5 eventos de veranicos para o município de Quixeramobim, Ceará e 7 para o sertão pernambucano, respectivamente, essa variação pode estar relacionada ao período avaliado entre os trabalhos.

O maior número de veranicos da classe IV foi registrado no ano de 2012, com 48 dias consecutivos sem chuva ou com chuva abaixo de 2mm, sendo superior ao encontrado por Pereira (2014), com 20 a 36 dias para todo o Nordeste brasileiro (entre 1911 e 2006). Tal variação pode estar relacionada ao limite atribuído para considerar como DSC que Pereira (2014) utilizou 1mm, o que pode ter incluído menos veranicos, além do período estudado que pode influenciar a ocorrência de mais veranicos, já que vem sendo observado o aumento deste fenômeno. De fato, a ocorrência de veranicos é uma característica do semiárido brasileiro e sua duração e quantidade é bastante variável ao longo do tempo e do espaço (FERNANDES, 2014).

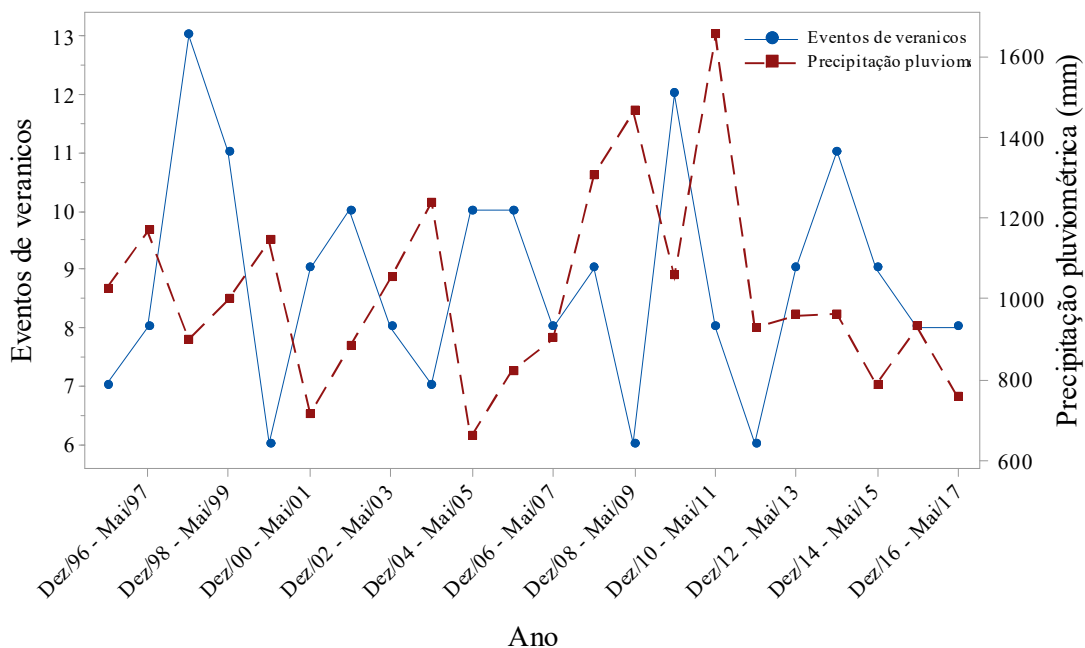
Tabela 2 - Ocorrência de veranicos para diversas classes para o município de Iguatu-CE

Ano hidrológico	Classe (dia)				Total
	I (5-10)	II (11-15)	III (16-20)	IV (>20)	
Dez/95 - Mai/96	5	0	0	2	7
Dez/96 - Mai/97	5	1	1	1	8
Dez/97 - Mai/98	11	1	0	1	13
Dez/98 - Mai/99	9	2	0	0	11
Dez/99 - Mai/00	4	1	1	0	6
Dez/00 - Mai/01	5	2	2	0	9
Dez/01 - Mai/02	8	2	0	0	10
Dez/02 - Mai/03	4	3	0	1	8
Dez/03 - Mai/04	5	2	0	0	7
Dez/04 - Mai/05	5	3	0	2	10
Dez/05 - Mai/06	8	2	0	0	10
Dez/06 - Mai/07	4	3	0	1	8
Dez/07 - Mai/08	7	2	0	0	9
Dez/08 - Mai/09	4	1	0	1	6
Dez/09 - Mai/10	9	1	1	1	12
Dez/10 - Mai/11	6	2	0	0	8
Dez/11 - Mai/12	2	0	1	3	6
Dez/12 - Mai/13	5	1	1	2	9
Dez/13 - Mai/14	7	2	2	0	11
Dez/14 - Mai/15	5	2	0	2	9
Dez/15 - Mai/16	3	1	3	1	8
Dez/16 - Mai/17	6	1	1	0	8
Total	127	35	13	18	193
Média	6	2	1	1	9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebeu-se que os eventos de veranicos seguem uma tendência inversa a precipitação pluviométrica anual, ou seja, anos com precipitação elevada apresentam uma menor quantidade de eventos de veranicos e vice e versa (Figura 7). Resultado semelhante foi observado por Fernandes (2014), que separou os anos em classes de precipitação e identificou que nas maiores alturas pluviométricas totais anuais há uma menor ocorrência de veranicos. Soares e Nóbrega (2009) também observou não só um maior número de veranicos em anos com baixa precipitação pluviométrica, mas também uma tendência de ocorrência de veranicos mais longos.

Figura 7 - Distribuição da precipitação pluviométrica e dos veranicos entre os anos de 1997 a 2017



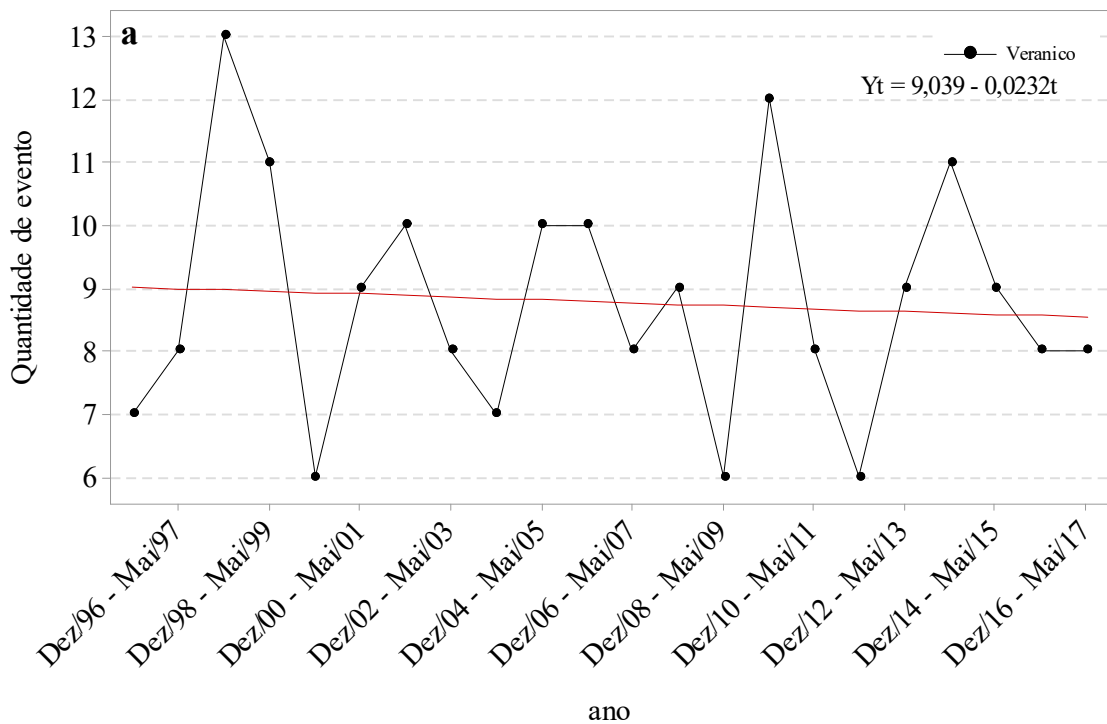
Fonte: INMET (2019); Elaborada pelo autor.

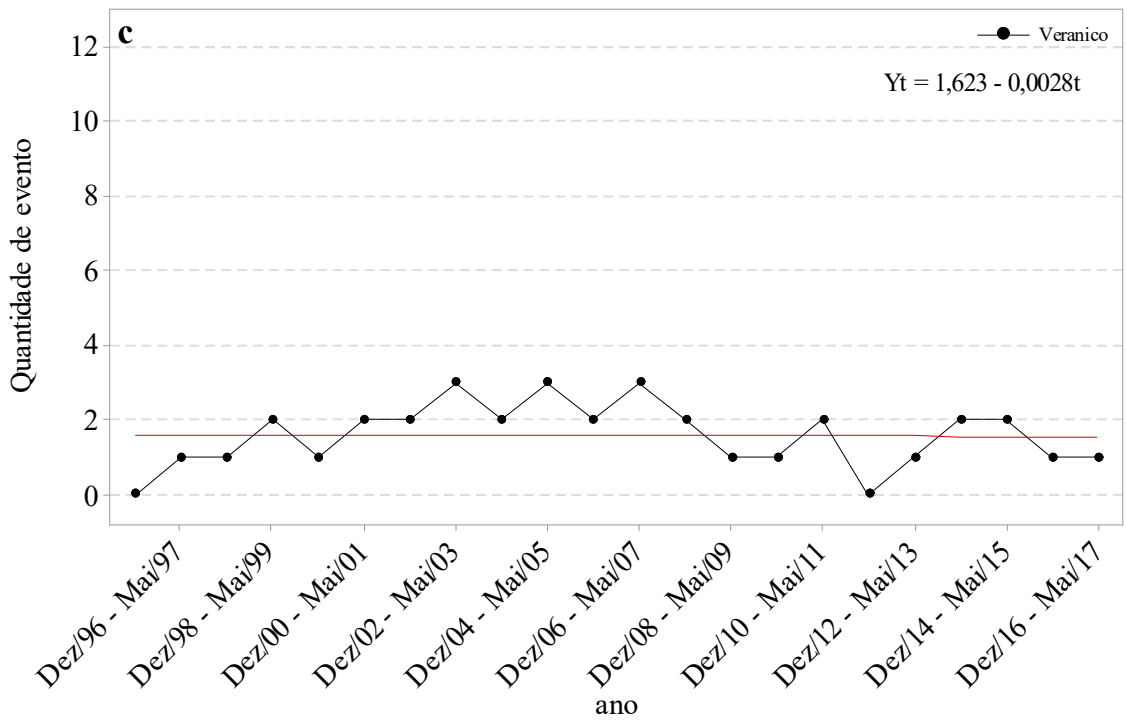
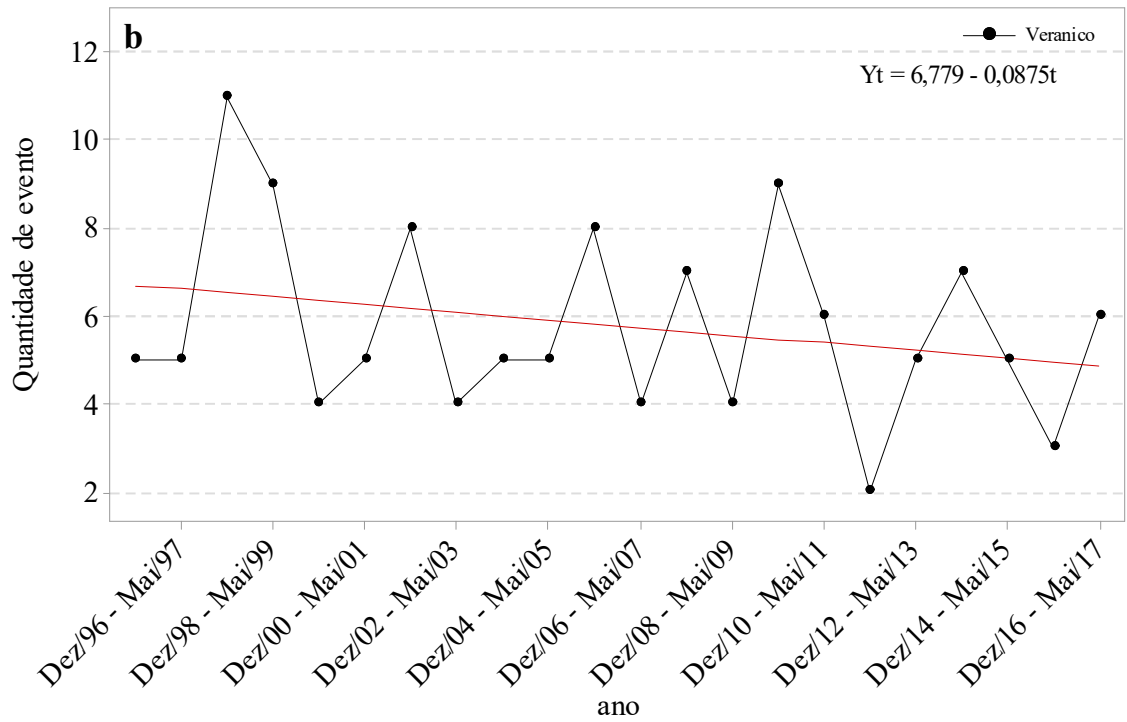
Essa variação da ocorrência de veranicos está relacionada principalmente ao Padrão de Dipolo do Atlântico Tropical, que por sua vez tem grande influência sobre o regime pluviométrico do nordeste brasileiro juntamente com as anomalias TSM no Pacífico (MARENGO, 2011; MENEZES *et al.*, 2008). Considerando as projeções futuras para as mudanças climáticas que relatam um aumento da temperatura e uma redução das chuvas, além da do aumento dos dias secos consecutivos (MARENGO; TORRES; ALVES, 2016), a situação nas regiões semiáridas pode se agravar, pois já se observa uma redução da altura total precipitada (BRITO *et al.*, 2017; MARENGO *et al.*, 2017). Assim, os veranicos podem trazer diversos prejuízos a produção agrícola e desenvolvimento das florestas, pois quanto maior o número de dias secos consecutivos menor será a umidade do solo, resultando em um déficit hídrico na planta (MENEZES; BRITO; LIMA, 2010).

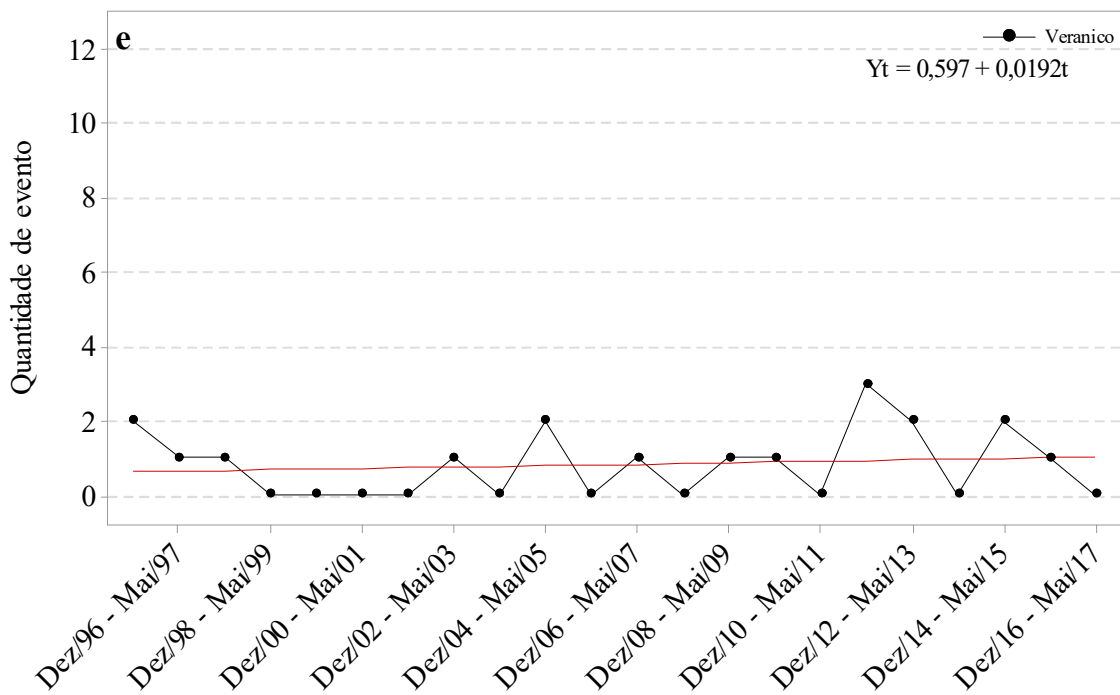
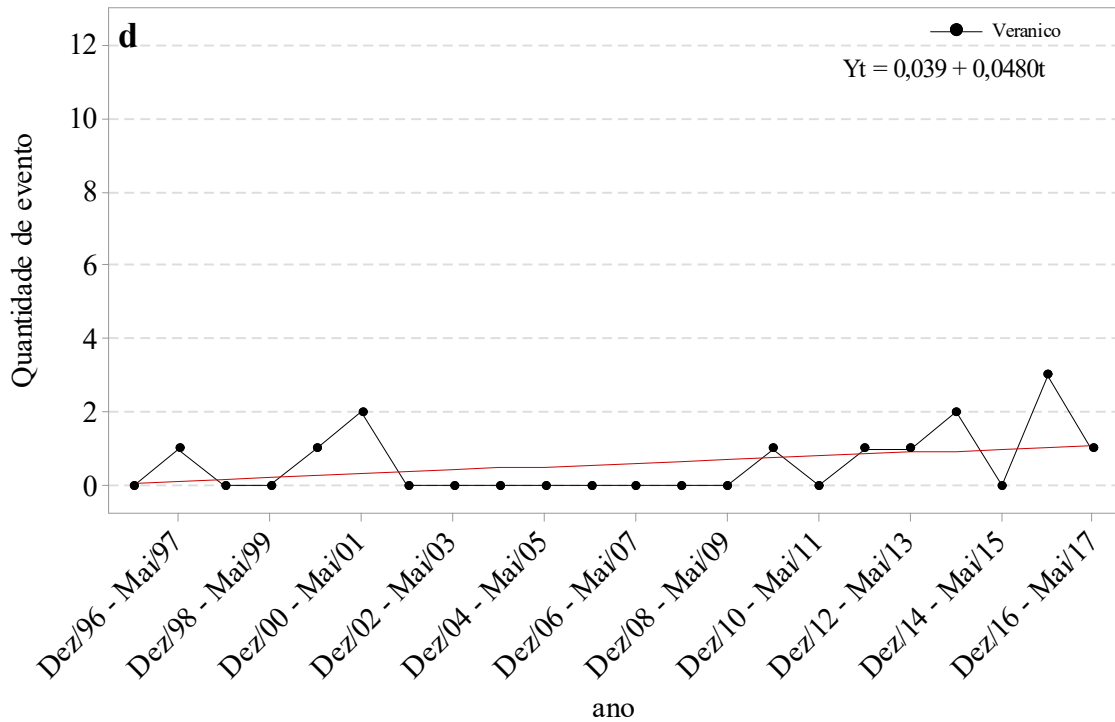
Neste estudo, observou-se a redução de veranicos relacionada a ocorrência de eventos curtos, de 5 a 10 dias (Figura 8a e 8b), que são responsáveis por 66% de todos os eventos de veranicos. Ao investigar as outras classes verificou-se um aumento dos veranicos mais longos, superiores a 16 dias (Figura 8d e 8e). O que confirma os relatos de distintos pesquisadores (FERNANDES, 2014; MENEZES *et al.*, 2008; MENEZES; BRITO; LIMA, 2010), no qual observaram uma redução dos veranicos mais curtos e o aumento dos veranicos mais longos (PEREIRA, 2014). Tal situação expressa uma tendência a uma maior escassez hídrica e/ou uma

maior ocorrência de eventos extremos, a ocorrência de eventos extremos é uma característica de mudanças climáticas (GUERREIRO *et al.*, 2013).

Figura 8 - Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para o município de Iguatu-Ce. a. Série temporal da quantidade total de eventos de veranicos; b. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (5-10 DSC); c. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (11-15 DSC); d. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (16-20 DSC); e. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (>21 DSC)







Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3.3 Temperatura

A temperatura média registrada na região é de  $27,9^{\circ}\text{C} \pm 0,48^{\circ}\text{C}$ , com uma média máxima de  $33,5^{\circ}\text{C} \pm 0,69^{\circ}\text{C}$  e uma mínima com  $22,4^{\circ}\text{C} \pm 0,38^{\circ}\text{C}$  (Tabela 3). O menor valor da temperatura mínima foi de  $21,5^{\circ}\text{C}$  em 1999 e o maior valor foi de  $23^{\circ}\text{C}$  em 2013, com uma amplitude de

1,5°C. Já para a temperatura máxima registrou-se os menores valores em 1997, 1999 e 2000, com 32,6°C e o maior valor de 34,8°C em 2015, com uma amplitude de 2,25°C (Figura 7).

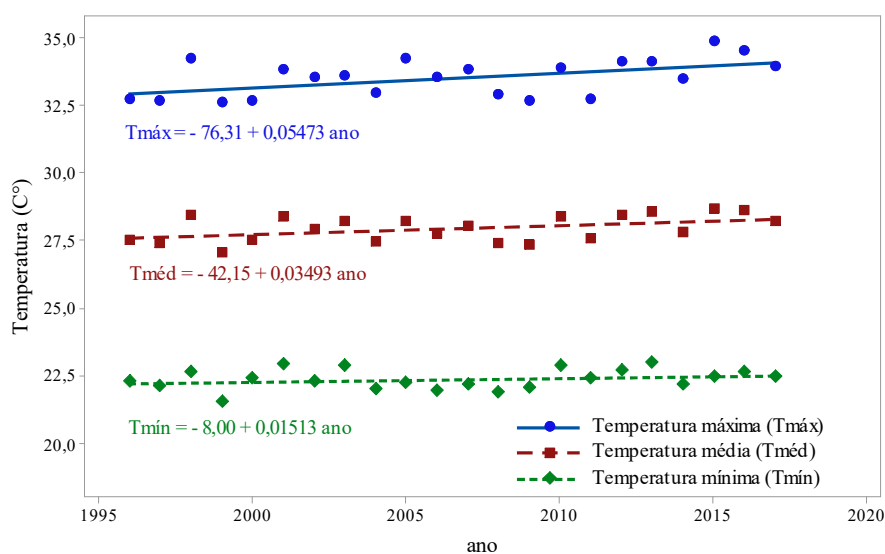
Tabela 3 - Análise da temperatura para o município de Iguatu-CE

Temperatura	Valor			DP	CV	Amplitude
	mínimo	médio	máximo			
Máxima	32,6	33,5	34,8	0,69	2,06	2,25
Média	27,0	27,9	28,6	0,48	1,72	1,58
Mínima	21,5	22,4	23,0	0,38	1,68	1,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas últimas décadas vem-se observando aumento da temperatura média em diversas regiões do nordeste (ANDRADE, 2011; MARENGO; TORRES; ALVES, 2016) e em outras regiões semiáridas (SIGHN *et al.* 2015). Em nosso estudo observou-se um incremento anual de 0,03°C e 0,05°C na temperatura média e máxima, respectivamente, a um nível de significância de 0,05, o mesmo não foi observado para a temperatura mínima (Figura 9) (Tabela 3). DANTAS *et al.* (2015), observou o mesmo incremento de 0,05°C na temperatura máxima (1975 a 2011), em Campina Grande-PB. Tais valores estão dentro do encontrado por SIGHN *et al.* (2015), que mostrou um aumento 0,04-0,09°C em regiões semiáridas, com tais aumentos ocorrendo, principalmente, nos últimos 5 a 10 anos.

Figura 9 - Distribuição da temperatura mínima, média e máxima anual para o município de Iguatu-CE



Fonte: Elaborado pelo autor.

Notou-se que as tendências de temperatura no nordeste brasileiro estão relacionadas, principalmente, aos aumentos observados na temperatura máxima conforme vêm sendo relatado por diversos autores (ANDRADE, 2011; LIMA *et al.*, 2012; MOURA *et al.*, 2007), além da ocorrência nas décadas mais recentes (ANDRADE, 2011; SIGHN *et al.* 2015). A variação de temperatura está relacionada as trocas de energia com a atmosfera e esse aumento da temperatura expressa a maior quantidade de energia disponível na forma de calor sensível durante o dia (ANDRADE, 2011), sendo um possível reflexo da expansão das áreas urbanas e redução de áreas com cobertura vegetal. Uma maior taxa de aumento da temperatura máxima pode refletir um aumento da liberação de ondas longas pela terra, indicando que superfícies de albedo mais alto ou que empregam energia solar em processos biológicos estão sendo substituídas por superfícies com maior capacidade de absorção de energia e liberação dessa energia em ondas longas (ANDRADE, 2011; DANTAS, 2015).

Temperatura mais elevadas resultará em maiores taxas de evapotranspiração e consequente aumento da deficiência hídrica, o que pode provocar a expansão de áreas com alto risco climático para a maior parte das culturas agrícolas, (LIMA,2012). Modelos de simulação têm previsto aumento de temperatura e possível impacto na agricultura brasileira (MARENGO; TORRES; ALVES, 2016); portanto, a situação climática das regiões semiáridas pode se agravar apresentando situações de seca mais frequentes.

### *3.3.4 Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI)*

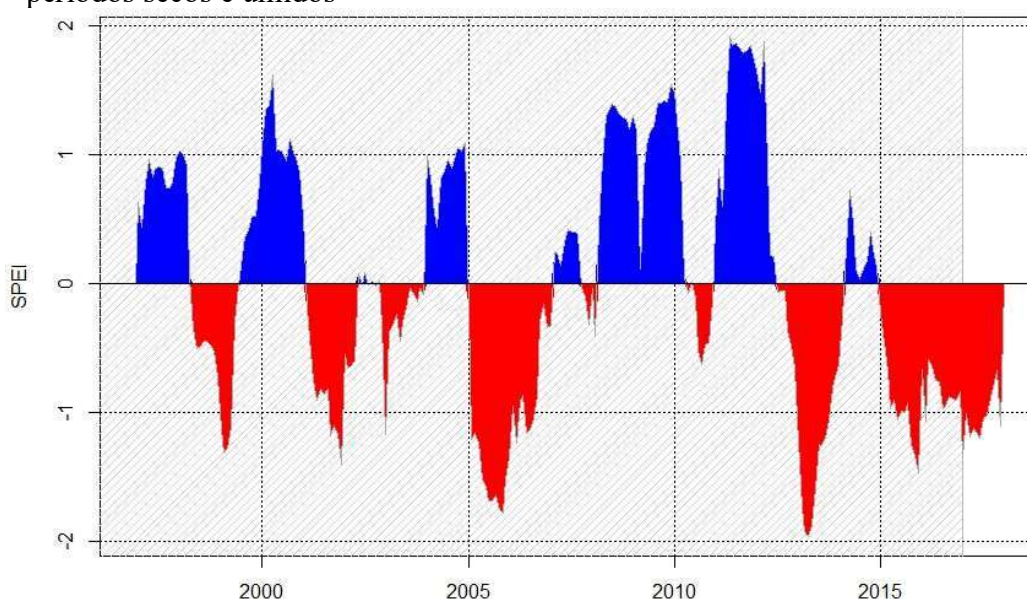
A seca é um fenômeno complexo e é de difícil entendimento, haja visto que alguns eventos de seca severa podem ser mascaradas por curtos eventos de chuvas, causando o não atendimento da demanda real de água do ecossistema (ABDULLAH, 2014). Um índice de seca é capaz de determinar várias características da seca, como duração, intensidade e severidade. Em nosso estudo utilizou-se o SPEI, que é um índice multiescalar e identifica anomalias períodos de secas, normais e úmidos. O SPEI é calculado usando a diferença mensal entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (PET) (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍAM; LÓPEZ-MORENO, 2010). Em nosso estudo observou-se ciclos que intercalaram períodos mais úmidos com períodos de seca que variaram entre 4 e 21 meses.

Foram identificados 4 períodos úmidos e 5 períodos secos na região de Iguatu-CE (Figura 10). Em relação aos períodos úmidos, o mais longo foi observado entre abril de 2008 e fevereiro de 2010, embora março e abril de 2009 tenham sido considerados normais, o mais intenso foi o ocorrido entre abril de 2011 a abril de 2012, enquanto os outros períodos úmidos



foram entre janeiro e novembro de 2000 e julho a dezembro de 2004 (Figura 10). Já para o período seco, o mais longo foi observado entre abril de 2015 e dezembro de 2017, e o mais intenso registrado de janeiro a outubro de 2013. Os períodos secos mais curtos compreenderam janeiro a abril de 1999, setembro a dezembro de 2001, fevereiro de 2005 e setembro de 2006 (Figura 10). O maior e o menor valor do SPEI, respectivamente, foram encontrados no período de abril de 2011 a março de 2012 (SPEI = 1,90), período muito úmido, e no período de janeiro a outubro de 2013 (SPEI = -1,97), período muito seco.

Figura 10 - SPEI de 12 meses aplicado a área de estudo para identificação dos períodos secos e úmidos



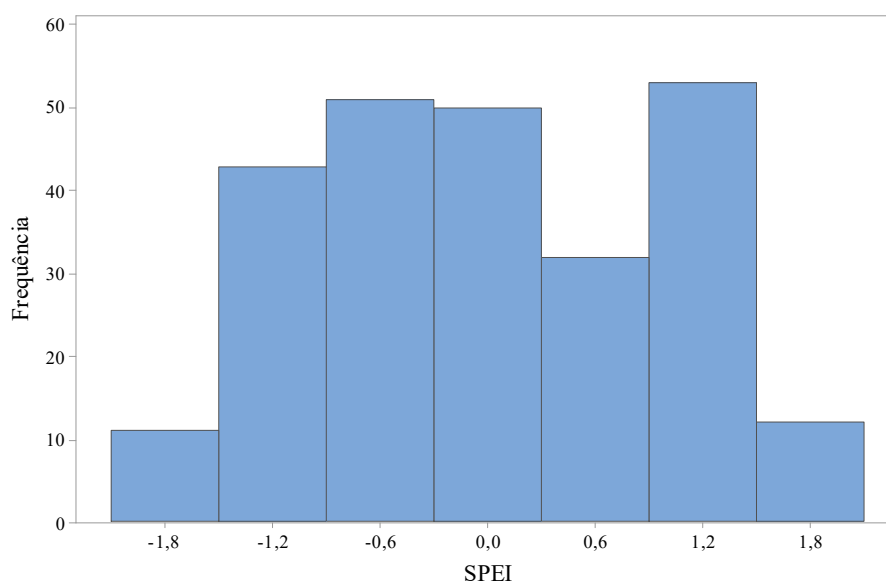
Fonte: Elaborada pelo autor.

Períodos secos mais longos e/ou intensos resultam em uma maior taxa de evapotranspiração potencial, (PET), exemplificado na figura 8 através do SPEI, poderál afetar a futura ocorrência, intensidade e magnitude das secas. Vicente-Serrano, Begueríam e López-Moreno (2010), em suas projeções observou que em regiões de alta temperatura média, o caso do semiárido brasileiro, o acréscimo de 2°C na temperatura acarretaria em um aumento das perdas de água devido à maior demanda de água pela PET. Sabemos que a evaporação e a transpiração podem consumir até 80% da chuva (ABRAMOPOULOS; ROSENZWEIG; CHOUDHURY, 1988), agravando a situação quando a seca é resultante das anomalias de temperatura que geram mais perdas de umidade que a falta de chuvas.

Seguindo a classificação proposta por Vicente-Serrano, Begueríam e López-Moreno (2010) (Tabela 1), a classe normal foi a mais frequente para o local analisado. Para um período de doze meses, o índice SPEI apresentou uma frequência de 153 observações (61%) foram

classificadas como normal, a segunda classe predominante foi a moderadamente seca com 40 observações (16%), enquanto moderadamente úmido obtiveram 35 observações (14%). As classes extremamente seco e úmido ficaram com 13 (5%) e 11 (4%) observações, respectivamente. Não foram observados valores correspondentes a úmido (Figura 11).

Figura 11 - Frequência de observação do SPEI para o município de Iguatu-CE



Fonte: INMET (2019).

### 3.4 Conclusão

Os eventos extremos pluviométricos são comuns, e apresentam alternância entre anos de seca e anos chuvosos. Os últimos sete anos foi o maior período com precipitações totais anuais abaixo da média histórico, contudo, não foi o mais crítico. Observou-se uma redução na quantidade de eventos de menor duração, que por consequência diminuiriam a quantidade total de eventos de veranicos, todavia, a quantidade de eventos de veranicos de maior duração apresentou tendência de aumento. As temperaturas expressaram um padrão de aumento ao longo do período estudado, sendo que temperaturas máximas anuais apresentaram maiores tendências ( $0,05^{\circ}\text{C}$ ) ao longo dos anos e as temperaturas mínimas tiveram as menores taxas de aumentos ( $0,01^{\circ}\text{C}$ ). As maiores taxas nas temperaturas máximas apontam para um aumento decorrente do uso da terra ou cobertura do solo, uma vez que está ocorrendo a perda dessa energia para o espaço durante a noite expressa pela menor taxa de aumento da temperatura mínima. Tais resultados mostram que ocorrerá uma maior disponibilidade de energia para ser empregada no processo de evaporação com consequente redução da disponibilidade hídrica.

Desta forma, acredita-se que o aumento da temperatura máxima e a redução das chuvas apontam para a consequência das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, H. M. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) based drought assessment in Bangladesh. **Proceedings of 5th International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh** [ICEAB 2014]. Disponível em: <http://benjapan.org/ICEAB/proceedingsICEAB14/i10%20p24.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.

ABRAMOPOULOS, F.; ROSENZWEIG, C.; CHOUDHURY, B. Improved Ground Hydrology Calculations for Global Climate Models (GCMs): Soil Water Movement and Evapotranspiration. **Journal Climate**, v.1, p. 921 – 941, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<0921:IGHCFG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0921:IGHCFG>2.0.CO;2). Acesso em: 7 maio 2019.

ANDRADE, E. M. A. **Floresta Tropical Seca, Caatinga: as Certezas e Incertezas das Águas**. Tordesillas Revista de Investigación Multidisciplinar. [s.l.], [s.n.], n. 12., 2017. p.11 – 20.

ANDRADE, E. M. *et al.* Investigation of the maximum and minimum temperatures in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 82-87, 2011. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/514>. Acesso em: 12 maio 2019.

ANDRADE, E. M. *et al.* Water as Capital and Its Uses in the Caatinga. *In*: SILVA, J. M. C; LEAL, I. R; TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. [s.l.], Spring, 2017. p. 281-302.

BRITO, S. S. B. *et al.* Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2017. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.5225>. Acesso em: 12 maio 2019.

DANTAS, L. G.; SANTOS, C. A. C.; OLINDA, R. A. TENDÊNCIAS ANUAIS E SAZONAIS NOS EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO EM CAMPINA GRANDE – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, 423 - 434, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v30n4/0102-7786-rbmet-30-04-00423.pdf>. Acesso em: 21 maio 2019.

FERNANDES, F. B. P. **DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DO FEIJÃO-DE-CORDA EM FUNÇÃO DO MANEJO DE SOLO NO SEMIÁRIDO CEARENSE**. 2014. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FERREIRA, P. S. *et al.* Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista Brasileira de**

**Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 141-152, 2018. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v33n1/0102-7786-rbmet-33-01-0141.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2019.

GUERREIRO, M. J. S. *et al.* Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 14, p. 2929–2939, 2013. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.3645>. Acesso em: 21 maio 2019.

LIMA, J. G. A. *et al.* Análise de tendências na temperatura e precipitação em Caicó, Rio Grande do Norte. **Revista ACSA**, v. 8, n. 1, p. 34 -38, 2012. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/209/pdf>. Acesso em: 1 maio 2019.

MARENGO, J. A. *et al.* Características climáticas da seca 2010-2016 na região semiárida do Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, *In*: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. da S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, INSA. 2011. p.383-422.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 25 maio 2019.

MENEZES, H. E. A. *et al.* A RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DOS OCEANOS TROPICAIS E A DURAÇÃO DOS VERANICOS NO ESTADO DA PARAÍBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v23n2/04.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181–186, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a09.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

MOURA, M. S. B. *et al.* Clima e a água de chuva no SemiÁrido. *In*: Brito, L. T. L.; Moura, M. S. B.; Gama, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 2007.

PEREIRA, E. R. R. **ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS NA ANÁLISE DA INTENSIDADE E VARIABILIDADE REGIONAL DAS CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL**. 2014. 100f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina, Campina Grande, 2014.

SILVA, V. P. R. DA *et al.* Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131–138, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n2/v15n02a04.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.

SINGHA, A. *et al.* Temperature and Precipitation Changes and Possible Threats to Crop Production in Arid, Semi-Arid and Tropical Forest Environment. **Procedia Environmental Sciences**, v. 29, p. 26 – 27, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615003497>. Acesso em: 13 maio 2019.

VICENTE-SERRANO, S. M. A.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. **Journal Climate**, v. 23, p. 1696-1718. 2010. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2009JCLI2909.1>. Acesso em: 3 maio 2019.

## **4 CAPÍTULO 2 - DINÂMICA DA BIOMASSA EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA TROPICAL BRASILEIRO (CAATINGA) EM ANOS CONSECUTIVOS SECOS**

### **RESUMO**

Entre os fatores determinantes da produção de biomassa a alteração na disponibilidade hídrica é a mais importante por determinar a dinâmica das espécies sucessivas. Portanto, objetivou-se avaliar a influência da distribuição das chuvas sobre a dinâmica da biomassa vegetal aérea em Floresta Tropical Seca/Domínio Fitogeográfico da Caatinga (FTS/DFC). O experimento foi conduzido no município de Iguatu em um fragmento de FTS/DFC em regeneração a 40 anos, Ceará, Brasil. Todos os indivíduos vivos do componente arbustivo-arbóreo com Diâmetro ao Nível do Solo (DNS)  $\geq 3$  cm e altura (h)  $\geq 100$  cm foram identificados, medidos e quantificados nos anos de 2009/2010/2015/2016/2018/2019. A produção de biomassa foi calculada por equação alométrica. Identificaram-se 9 famílias, 14 gêneros e 15 espécies, que não variaram ao longo dos 11 anos. O maior número de espécie identificadas pertencem as famílias Fabaceae e Euphorbiaceae. Devido a mortalidade dos indivíduos no período de 2009 a 2019 ocorreu um decréscimo da biomassa de  $65,33 \text{ Mg ha}^{-1}$  para  $44,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, com uma redução média da biomassa de  $3,26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Concluiu-se que mesmo após 40 anos em processo de regeneração o fragmento de FTS/DFC não atinge o clímax. Anos de seca promovem a mortalidade de árvores e arbustos, principalmente os que se encontram nas menores classes diamétricas. A produção de biomassa sofre forte influência da sazonalidade climática, existindo uma relação direta com a distribuição temporal dos eventos pluviométricos.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas; Semiárido; Diversidade florística; Mortalidade; Recrutamento.

## **CHAPTER 2 - BIOMASS DYNAMICS IN A BRAZILIAN TROPICAL DRY FOREST FRAGMENT (CAATINGA) IN DRIED CONSECUTIVE YEARS**

### **ABSTRACT**

Among the most important factors of biomass production the water availability change is one of the most important to limit the dynamics of successive species. Therefore, we aimed investigate the effect of rainfall distribution over aerial biomass dynamic in a Dry Tropical Forest/Caatinga Phytogeographic Domain (DTF/CPD). We conducted the experiment on a DTF/CPD fragment under regeneration for 40 years, located in Iguatu city, Ceará, Brazil. We

identified all lives individuals of trees and shrub components with Diameter at Ground Level (DGL)  $\geq 3$  cm and height (h)  $\geq 100$  cm were identified, measured and quantified in the years of 2009/2010/2015/2016/2018/2019. We estimated Biomass production by allometric equation. We identified 9 families, 14 genera and 15 species, which do not vary over the 11 years. The largest amount of species present in the area belongs to Fabaceae and Euphorbiaceae family. Due to the mortality of individuals during the 2009 to 2019 period occurred the biomass decreased from 65.33 Mg ha<sup>-1</sup> to 44.47 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively, with the average biomass decreasing was 3.26 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. We concluded that even after 40 years of regeneration process, the DTF/CPD fragment does not reached the climax. Consecutive dry years contributed to the death of trees and shrubs, especially those with small diameter classes. Biomass production is strongly influenced by climatic seasonality, with a direct relationship with temporal variability of rainfall events.

**Keywords:** Climate Change; Semiarid; Floristic diversity; Mortality; Recruitment.

#### 4.1 Introdução

O domínio das terras secas representa 41,5% da superfície do Globo e de acordo com os mais recentes modelos de simulação, as mudanças climáticas poderão expandir essa área de 11 a 23% até o final do século 21, sendo que as maiores expansões ocorrerão nas regiões semiáridas (HUANG *et al.*, 2015). As Florestas Tropicais Secas (FTS) fazem parte desse domínio e correspondem à 42% dos recursos florestais tropicais e subtropicais, ocupando cerca de 2,7 milhões km<sup>2</sup> distribuídos em todo o globo terrestre (MILES, 2006). A característica mais contundente das regiões secas do globo é o déficit hídrico que predomina por 8 a 10 meses por ano. Tal característica pode ser agravada por alterações climáticas que venham a ocorrer.

No Brasil a FTS recebe a denominação de Caatinga, onde insere-se na região nordeste do Brasil nos limites da região semiárida, com uma área aproximada de 844 mil km<sup>2</sup> e uma população de 27 milhões de pessoas (MMA, 2019). As áreas da Caatinga, geralmente, são exploradas para produção de lenha, uso agrícola e pastagem, e logo em seguida são abandonadas iniciando o processo de regeneração (ARAÚJO FILHO, 2013). Tal processo dá origem a novos fragmentos florestais que apresentam uma alta taxa de recrutamento e densidade de novos indivíduos e espécies arbustivo-arbóreos de pequeno porte que terão um grande crescimento e incremento de biomassa (ARYAL. *et al.*, 2014; CABRAL; SAMPAIO; ALMEIDA-CORTEZ, 2013). A dinâmica da biomassa no começo da sucessão é dominada por

espécies mais tolerantes que são capazes de lidar melhor com o ambiente severo nos estádios iniciais de sucessão (MCDOWEL; ALLEN, 2015; SILVA; OLIVEIRA, 2015).

Essa dinâmica depende de diversos fatores como composição e variabilidade das espécies (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016), fatores edáficos, nível e tipo de distúrbios antropogênicos e padrão da precipitação (FEITOSA, 2017; GREENWOOD *et al.*, 2017; MORO *et al.*, 2016). Entre os fatores determinantes da produção de biomassa, as alterações na disponibilidade hídrica é o mais limitante sobre a dinâmica das espécies sucessivas (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016; SPANNL *et al.*, 2016).

Quando se tem anos sucessivos de seca e a ocorrência frequente de veranicos, a capacidade de recuperação das plantas é prejudicada (FEITOSA, 2017). As árvores reduzem a evapotranspiração durante a seca através de mecanismos de tolerância ao déficit hídrico como o fechamento estomático, a caducifolia, e a cavitação de folhas (ANDEREGG; KANE; ANDEREGG, 2012). Quando as condições climáticas ultrapassam os limites de tolerância das plantas, devido ao aumento da temperatura e pressão de vapor e déficit hídrico (MCDOWEL; ALLEN, 2015), pode ocorrer a morte de algumas árvores. Períodos longos de seca podem gerar diversos problemas como falha hidráulica do xilema (SPERRY *et al.*, 2016), embolias que cortam o suprimento de água, levando à morte do tecido durante a seca (BRODRIBB, 2016).

Anderegg, Kane e Anderegg (2012), observaram, teoricamente, que conforme a seca se agrava as árvores se aproximam do limite de absorção de água, devido as propriedades do solo. Neste momento, a árvore entra em um período de “dívida hídrica”; o “acúmulo” dessa dívida pode resultar em danos irreversíveis e letais ao sistema. Contudo, em geral os trabalhos vêm investigado a mortalidade florestal em curto prazo, não sendo avaliados essas perdas a longo prazo (MORO *et al.*, 2016). Assim, ante a maior sequência de anos secos (2010-2019) ocorridos no semiárido brasileiro, com consequente redução da disponibilidade hídrica (MITCHARD, 2018), efetua-se o seguinte questionamento: Como a sequência de anos secos consecutivos vem afetando a dinâmica da produção de biomassa no domínio fitogeográfico da Caatinga (FTS/DFC)? Para responder a esse questionamento efetuamos a hipótese de que as espécies predominantes da caatinga são resilientes a anos consecutivos de secas severas.

Assim, compreender a contribuição do crescimento das árvores, do recrutamento e da mortalidade para a acumulação de biomassa acima do solo, durante a sucessão nas florestas tropicais secas, é de extrema importância para se avaliar as respostas das estimativas em virtude da ameaça do agravamento da crise ambiental frente as mudanças climáticas (HARRIS *et al.*, 2018; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017; MCDOWEL; ALLEN, 2015; PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016). Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da

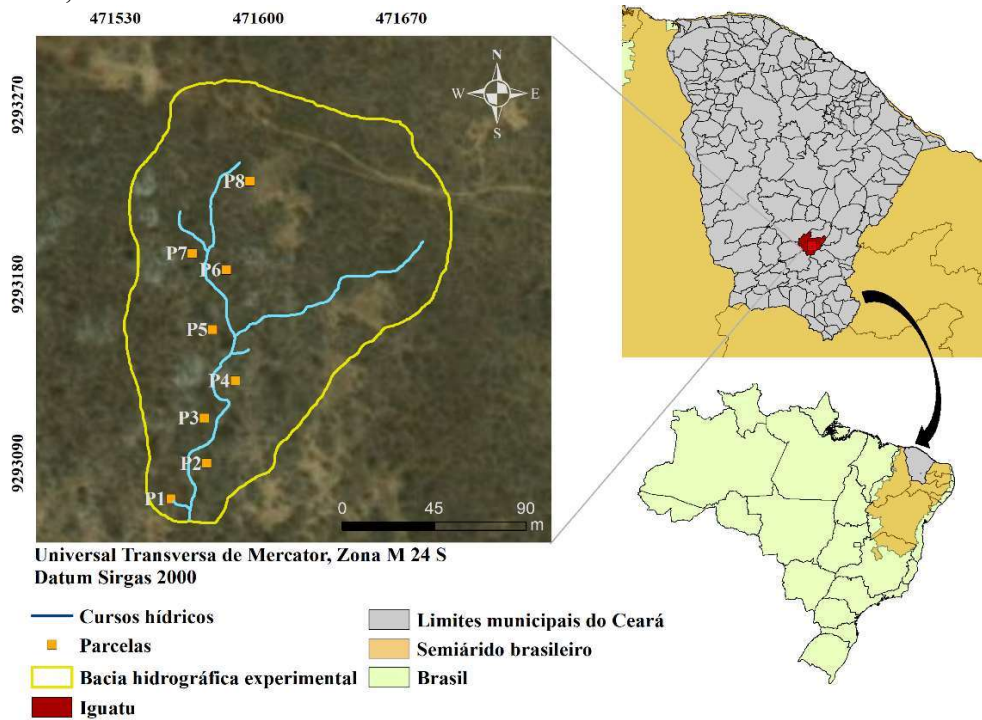


distribuição intra e interanual das chuvas sobre a dinâmica vegetativa e da produção de biomassa aérea em um fragmento em regeneração de floresta tropical seca.

#### 4.2 Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em um fragmento de floresta tropical seca em domínio fitogeográfico da Caatinga (FTS/DFC), no município de Iguatu, região centro-sul do estado do Ceará. A área experimental pertence ao Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Ceará (IFCE), sob as coordenadas UTM 047158 E e 9293148 S (WGS84) (Figura 12).

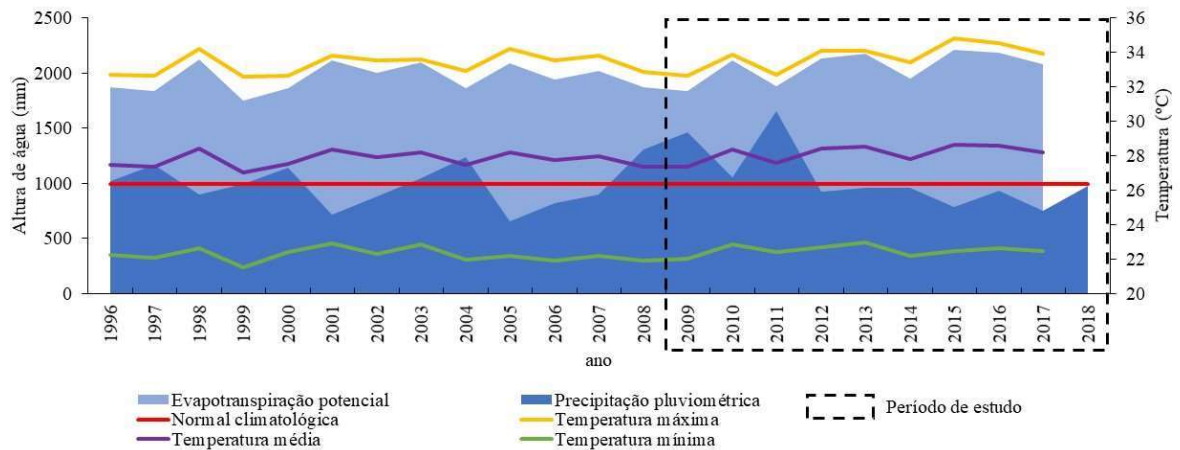
Figura 12 - Mapa de localização da área experimental no município de Iguatu, Ceará, Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor.

O clima da região é classificado como BSh'w' (semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, a temperatura média é de 28 °C variando entre 22,4 °C para as mínimas e 33,5 °C para as máximas (Figura 13). A evapotranspiração potencial (ETP) média é de 2.000,1 mm ano<sup>-1</sup> ±135,3 mm ano<sup>-1</sup>, com as maiores taxas entre agosto e janeiro. A pluviosidade média histórica é de 996,6 mm ano<sup>-1</sup> ±300,0 mm ano<sup>-1</sup>, com as chuvas concentradas entre dezembro e maio, tendo 43% das chuvas concentradas entre março e abril.

Figura 13 - Distribuição das variáveis climatológicas do município de Iguatu, Ceará, Brasil



Fonte: INMET, 2019.

A região está inserida na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe na Depressão Sertaneja, apresenta relevo plano suave e altitude de 217,8 m. Os solos são Aluviais, Litólicos, Podzólico Vermelho-Amarelo e Vertissolo. A vegetação predominante é do tipo Caatinga caducifólia, de porte baixo em média de 5m de altura, densidade arbórea bem variável devido a ação antrópica (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016). O fragmento de FTS/DFC está inserido em uma microbacia hidrográfica, com área de 3,6 ha que se encontra em regeneração desde 1980. Anteriormente era utilizada em cultivo de subsistência, como o milho (*Zea mays* L.) (AQUINO *et al.*, 2017).

#### 4.2.1 Estrato vegetativo

Para investigarmos o efeito de anos secos consecutivos sobre o potencial de produção de biomassa em FTS/DFC analisamos a composição funcional da vegetação através de uma série de 10 anos (2009 – 2019). O período de estudo corresponde a transição entre anos úmidos (2008-2011) e secos (2012-2019). Nesse período a área foi recenseada 6 vezes (set/2009, set/2010, mar/2015, mar/2016, mar/2018 e fev/2019).

Em 2009 foram instaladas oito parcelas experimentais permanentes e contíguas com dimensões de 10 x 10 m, seguindo o curso d'água. Em cada parcela foram identificados, medidos e quantificados todos os indivíduos vivos do componente arbustivo-arbóreo com Diâmetro ao Nível do Solo (DNS)  $\geq 3$  cm e altura (h)  $\geq 100$  cm (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016). As medidas foram realizadas 10 cm acima do nível do solo. Para caracterizar a estrutura da comunidade arbustivo-arbóreo foram calculados número de indivíduos e densidade absoluta e relativa conforme metodologia de Rodal *et al.* (2013). Para a estimativa da biomassa do estrato

arbustivo-arbóreo empregou-se a equação alométrica desenvolvida por Sampaio e Silva (2005) para espécies da Caatinga:

$$\text{Biomassa (Mg ha}^{-1}\text{)} = 0,0644 \times \text{DNS}^{2,3948} \quad (1)$$

Onde: DNS – é o diâmetro ao nível do solo.

Todas as plantas que atendiam aos critérios de inclusão no ano de 2009 foram recenseadas em anos do período de 2010 a 2019. As plantas que não haviam sido amostradas nas coletas anteriores por não atenderem aos critérios de inclusão foram identificadas, marcadas, medidas e consideradas como recrutas. As plantas medidas nos anos anteriores que não foram encontradas nos levantamentos posteriores foram contabilizadas como mortas, juntamente com as árvores mortas em pé ou no chão.

#### 4.2.2 Variáveis climáticas

Empregou-se séries de dados diários de precipitação e temperatura para o período de 2008 a 2018. Os dados foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa (BDMEP/INMET). Calculou-se a normal climatológica anual (1974 – 2018) para a série de dados disponíveis no sistema do INMET, além dos dias secos consecutivos (DSC) ou veranicos dentro da quadra chuvosa (dezembro a maio) no período de 2008 a 2018. Atribui-se como veranicos a ocorrência de 5 Dias Consecutivos Secos DCS ou com evento pluviométrico < 2mm (FERNANDES, 2014). Posteriormente os veranicos foram separados em classes: C1 (5-10 dias), C2 (11-20 dias) e C3 (>20 dias).

Calculamos o déficit hídrico acumulado máximo - Maximum Cumulative Water Deficit (MCWD) pela metodologia de Aragão *et al.* (2007). MCWD é uma estimativa anual do déficit hídrico que considera tanto a duração quanto a intensidade da estação seca com base unicamente em variáveis climáticas, ou seja, ignorando as propriedades do solo. Para o cálculo do MCWD utilizou-se o ano hidrológico iniciando em dezembro, quando inicia a quadra chuvosa, pois o início do ano hidrológico, não segue necessariamente o ano civil (ESQUIVEL-MUELBERT *et al.*, 2018).

#### 4.2.3 Análise estatística

Primeiramente foi realizada uma análise dos dados quanto a distribuição normal dos mesmos, pelo teste de Shapiro Wilk ( $p \leq 0,05$ ). Constatado a não normalidade da distribuição dos dados, na comparação da produção de biomassa empregou-se o teste de Friedman ( $p \leq 0,05$ ).

Além da estatística descritiva utilizou-se também a análise de agrupamento (AA) e a análise da componente principal (ACP) para avaliar a similaridade dos indicadores climáticos (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2011). Para as análises estatísticas fez-se uso do software SPSS 16.0 for Windows.

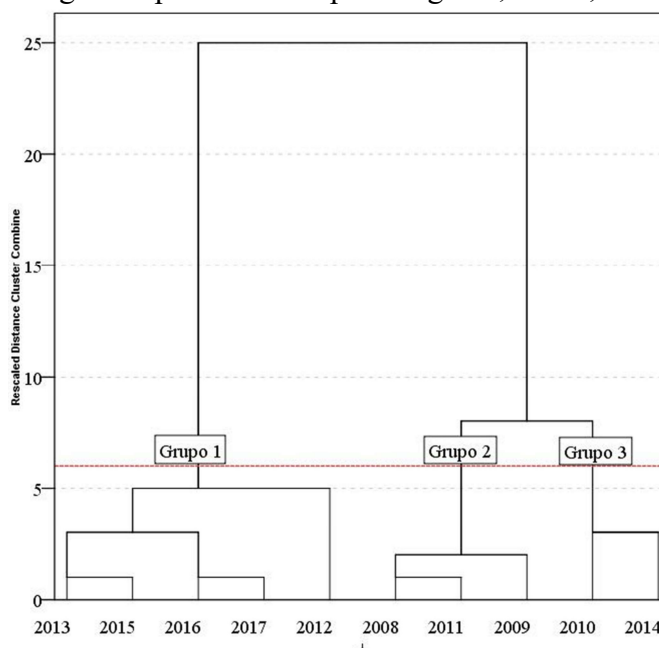
### **4.3 Resultados e Discussão**

#### *4.3.1 Similaridade dos indicadores climáticos*

A análise de agrupamento formou três grupos homogêneos (Figura 14). O critério para definir o ponto de corte e consequentemente o número de grupo foi o critério do primeiro “salto” da distância reescalada (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2011). O G1 definido pelos anos de 2012, 2013, 2015, 2016 e 2017, os quais correspondem aos anos com maior déficit hídrico anual (Tabela 3). O G1 foi composto pelos maiores valores de temperaturas e evapotranspiração, além das menores precipitações, caracterizando-o como o grupo de anos mais secos ou de maior déficit hídrico.

O G2 foi formado pelos anos de 2008, 2009 e 2011, que correspondem aos anos com as maiores disponibilidades hídricas. Observou-se as menores temperaturas e evapotranspiração, além dos maiores valores de precipitações, caracterizando o G2 como o grupo mais úmido dentre os três formados. O G3 foi composto pelos dados dos anos de 2010 e 2014, este grupo foi formado por dois anos que apresentaram os valores das variáveis mais próximos da média, sendo considerados como intermediários. O ano de 2010 apresentou valores acima da média, enquanto o ano de 2014 apresentou valores abaixo da média em relação, o que definiu sua semelhança, colocando-os como um grupo intermediário entre os três formados.

Figura 14 - Dendrograma do agrupamento dos anos homogêneos para o município de Iguatu, Ceará, Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4 - Médias e desvios padrão, das variáveis climáticas, para cada agrupamento formado para o município de Iguatu, Ceará, Brasil

Grupo	Ano		MCWD	T (°C)	P (mm ano <sup>-1</sup> )	C1	C2	C3
1	2012	$\bar{x}$	-1446.9	28.5	870.0	4.0	1.0	1.8
	2013							
	2015	dp	±38.5	±0.1	±83.7	±1.3	±1.1	±0.7
	2016							
	2017							
2	2008	$\bar{x}$	-1076.1	27.4	1472.3	5.7	0.0	0.3
	2009							
	2011	dp	±11.9	±0.3	±47.0	±1.0	±0.5	±0.5
3	2010	$\bar{x}$	-1191.4	28.1	1007.0	8.0	1.5	0.5
	2014							

Fonte: Elaborada pelo autor.

SPEI - Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado; MCWD - déficit hídrico acumulado máximo; T - Temperatura; P - Precipitação pluviométrica; ETP - Evapotranspiração potencial; C1 - (5-10 dias); C2 - (11-20 dias); C3 - (>20 dias).

#### 4.3.2 Estrato vegetativo

Quanto a diversidade da cobertura arbustivo-arbóreo em uma área de FTS/DFC em regeneração há aproximadamente 40 anos, identificou-se: 9 famílias, 14 gêneros e 15 espécies, que não variaram ao longo dos 11 anos (Tabela 4). As pesquisas realizadas em fragmentos de florestas tropicais secas (FTS/DFC) no Nordeste do Brasil constataram valores que variaram de

6 a 26 famílias e de 12 a 64 espécies (MORO *et al.*, 2015). Áreas em regeneração na Caatinga tendem a atingir seus estoques iniciais após 40 anos do pousio (ARAÚJO FILHO, 2013). Entretanto, a área de estudo não confirma esta assertiva, pois mesmo com 40 anos em regeneração a espécie, considerada *Croton spp* pioneira, possui a maior densidade dentre as espécies observadas (CABRAL; SAMPAIO; ALMEIDA-CORTEZ, 2013). A ocorrência das famílias Anacardiaceae e Burseraceae, representadas pelas espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Commiphora leptophloeos*, respectivamente, indicam que a área se encontra em processo de regeneração avançado, uma vez que elas são indicadoras de áreas da Caatinga mais protegidas ou bem conservadas (ANDRADE *et al.*, 2005; CABRAL; SAMPAIO; ALMEIDA-CORTEZ, 2013).

Tabela 5 - Relação botânica dos indivíduos em um fragmento de floresta tropical seca em regeneração há 40 anos no município de Iguatu, Ceará, Brasil

Família	Espécie	Densidade de madeira (g cm <sup>-3</sup> )	Hábito	Densidade	
				Absoluta (unid.)	Relativa (%)
Euphorbiaceae	<i>Croton spp</i>	0,760	ARBU	885	32.1
Apocynaceae	<i>Aspidosperma spp</i>	0,710	ARBO	538	19.5
Combretaceae	<i>Combretum spp.</i>	0,696	ARBU	279	10.1
Fabaceae	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	0,839	ARBO	277	10.0
Fabaceae	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	0,865	ARBU	217	7.8
Mimosaceae	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	0,653	ARBU	127	4.6
Euphorbiaceae	<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	0,270	ARBU	117	4.2
Burseraceae	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	0,309	ARBU/ ARBO	94	3.4
Olacaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	0,700	ARBU	73	2.6
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	0,845	ARBO	50	1.8
Fabaceae	<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex Tul.	0,820	ARBO	35	1.3
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	0,811	ARBO	21	0.8
Fabaceae	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	0,449	ARBO	27	1.0
Malvaceae	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.Hil.) A. Robyns	-	ARBO	13	0.5
Desconhecido	Desconhecido	-	-	10	0.4
Total				2763	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

ARBU = Arbustiva; ARBO = Arborea.

Araújo Filho (2013), observou que após 25 anos de pousio a densidade dos arbustos começa a ser reduzida à valores abaixo das 5.000 plantas ha<sup>-1</sup> e após 45 anos há uma dominância das espécies arbóreas, o que nos levaria a crer que este fragmento de FTS está em processo de

regeneração, entre a 3ª e a 4ª fase de sucessão secundária. No entanto, os resultados nos mostram que a área de estudo ainda não apresenta uma predominância de espécies arbóreas. As espécies arbustivas são a maioria (64,8%), enquanto as arbóreas totalizam 35,2% (Tabela 4).

Porém, não podemos deixar de destacar que a variabilidade da diversidade florística das diferentes regiões da FTS/DFC são dependentes do gradiente de precipitação pluviométrica, da sazonalidade climática, da geologia, do estágio de regeneração e desenvolvimento vegetal, bem como do histórico de antropização e dos atributos funcionais das espécies (MORO *et al.*, 2016). Assim, acreditamos que a determinação de cada fase deve levar em consideração não somente a parte fitossociologia, mas também o efeito de fatores abióticos como precipitação e solo.

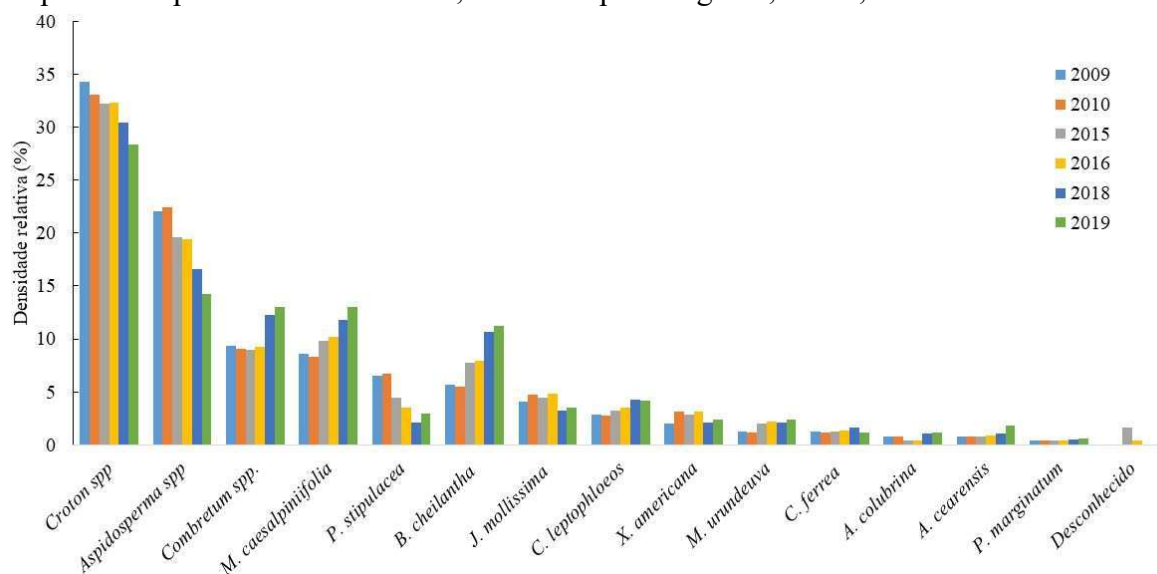
As famílias com maior quantidade de espécie identificadas foram representadas pela Fabaceae e Euphorbiaceae, com seis e duas espécies, respectivamente (Tabela 4). Estas duas famílias tendem ao padrão florístico de fragmentos de florestas secas no Nordeste do Brasil (MORO *et al.*, 2016) e em outras FTS do mundo (PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009). Trata-se das famílias lenhosas mais abundantes em diversidade de gênero, espécie e abundância de plantas (RODAL *et al.*, 2013).

Dentre as espécies identificadas destacam-se a *Croton spp.* (885 ind.), *Aspidosperma spp.* (538 ind.), *Combretum spp.* (279 ind.), *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (277 ind.) e *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. (217 ind.), que juntas dominaram em torno de 80% da densidade total (Tabela 1). *Croton spp.* é uma das espécies que comumente é relatada entre os levantamentos florísticos, devido ao seu hábito arbustivo e grande capacidade de rebrota, sendo considerada o principal arbusto colonizador das FTS/DFC sucessionais (ARAÚJO FILHO, 2013). A *Aspidosperma spp.* está presente em ambientes mais preservados, com baixa intervenção antrópica (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016). *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud são espécies pioneiras, comuns em formações primárias e secundárias (SILVA; OLIVEIRA, 2015), caracterizadas por apresentarem rápido crescimento, alta capacidade de regeneração e resistência à seca.

No primeiro recenseamento (2010), período de precipitação acima da média, todas as espécies apresentaram um aumento na quantidade de indivíduos (Figura 15). Os maiores incrementos de indivíduos recrutados foram observados para *Ximenia americana* L. (37,5 ind. ha<sup>-1</sup>), *Aspidosperma spp.* (37,5 ind. ha<sup>-1</sup>) e *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (25 ind. ha<sup>-1</sup>). Já no recenseamento relativo ao período de 2015 a 2019, período de precipitação abaixo da média, constatou-se redução no número de indivíduos, principalmente para *Croton spp.*, *Aspidosperma spp.* e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Duck., que apresentaram taxas de mortalidade média de 45,0 ind. ha<sup>-1</sup>, 41,3 ind. ha<sup>-1</sup> e 16,3 ind. ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os indivíduos que morreram no período de estudo possuíam densidade da madeira superior à média da área que é de  $0,660 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabela 4). A densidade da madeira afeta diretamente o armazenamento e transporte de água na planta, resultando em potenciais de água foliar que varia menos ao longo do ano (SANTOS *et al.*, 2014), além de afetar também a estabilidade mecânica e está associada à resistência à cavitação induzida pela seca (GREENWOOD *et al.*, 2017). Espécies arbóreas com alta densidade de madeira apresentam incapacidade de evitar declínios no potencial hídrico, em comparação com espécies com madeira menos densa (GREENWOOD *et al.*, 2017).

Figura 15 - Distribuição anual da densidade de espécies em um fragmento de floresta tropical seca preservada há 40 anos, no município de Iguatu, Ceará, Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, quando as condições climáticas ultrapassam os limites de tolerância das plantas, devido ao aumento da temperatura e pressão de vapor (MCDOWEL; ALLEN, 2015), pode originar-se uma falha hidráulica que acarreta muitas vezes na morte das árvores (ADAMS *et al.*, 2017) pela embolia do xilema (ADAMS *et al.*, 2017; SPERRY *et al.*, 2016). Outro fator que pode estar relacionado a mortalidade nestas espécies é a capacidade de armazenamento e retenção de água no solo, que apresenta influência significativa sobre os potenciais de água no solo e na planta (KLEIN; KLEIN, 2015).

A área de estudo é um Vertissolo caracterizado pela retração e expansão da massa de solo, em decorrência de argilas expansivas, apresentando fendas nos períodos secos. Assim, devido às restrições impostas pela física do solo, em momentos de seca, as plantas precisam de uma grande quantidade de energia para absorver a água do solo, sendo crescente à medida que o solo seca (KLEIN; KLEIN, 2015). Com isso, as árvores se aproximam de um limite onde não

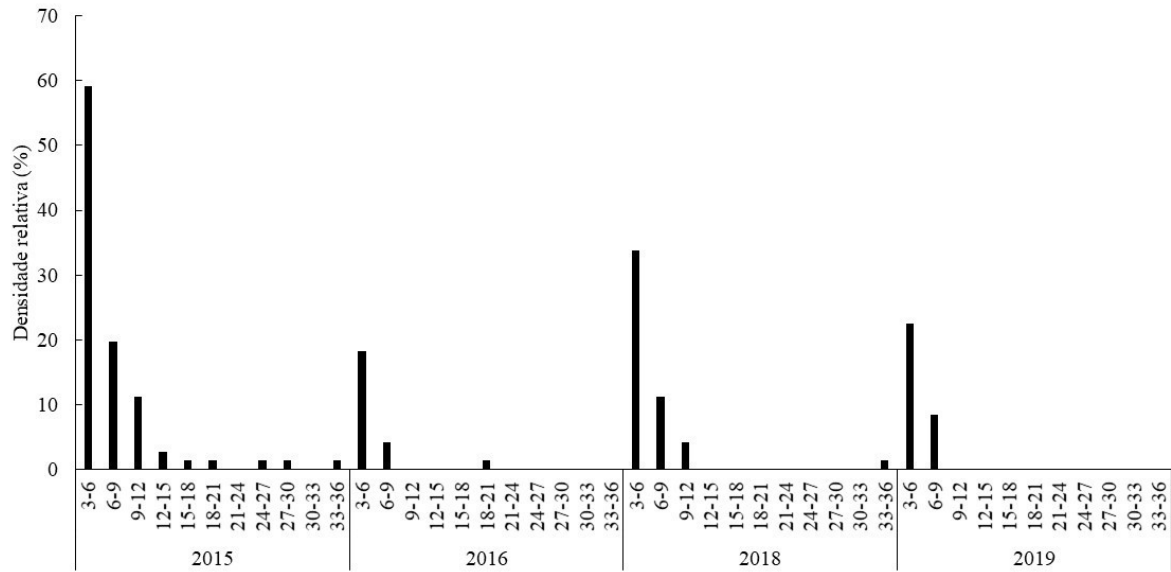


é mais possível extrair água suficiente do solo para atender às perdas de evapotranspiração, podendo ocorrer danos irreversíveis e letais ao sistema (ANDEREGG; KANE; ANDEREGG, 2012).

Ademais, acredita-se que a mortalidade observada, principalmente, entre os anos de 2015 e 2016, está relacionada também com o processo de sucessão ecológica, haja visto a redução de indivíduos como *Aspidosperma* spp. e *Croton* spp., que são espécies secundária inicial e pioneira, respectivamente. Além do recrutamento de indivíduos como *Myracrodruon urundeuva* Allemão (2015 e 2016) e *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett (2015), que são espécies secundárias tardias. Não observando, desta forma, uma quebra do recrutamento das espécies secundárias, expressando características de sucessão, onde observou-se nas tardias resiliência mesmo com o período de seca (SANTOS *et al.*, 2014).

As menores classes diamétricas concentraram a maior quantidade de indivíduos mortos (Figura 16). Tal fato é decorrente das espécies florestais de menor diâmetro do caule apresentarem um sistema radicular com pouca área de exploração e baixa quantidade de reservas (FEITOSA, 2017). Essa condição dificulta a exploração efetiva de água em camadas mais profundas do solo e a manutenção dos indivíduos mediante suas reservas em períodos de estiagem. Em 2014 foram contabilizados 60 Dias Consecutivos Secos (DCS) e nos anos seguintes houve um aumento na quantidade de DCS, 2015 (120 dias), 2016 (150 dias) e 2017 (120 dias). Foi verificada a morte dos indivíduos de maior diâmetro, *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (2015), *Aspidosperma* spp (2015), *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. (2016) e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (2018), relacionadas, provavelmente, à idade das árvores e por falhas hidráulicas que afetam condutos mais largos (ARYAL *et al.*, 2014).

Figura 16 - Distribuição do número de indivíduos mortos por espécie do período de 2009 a 2019

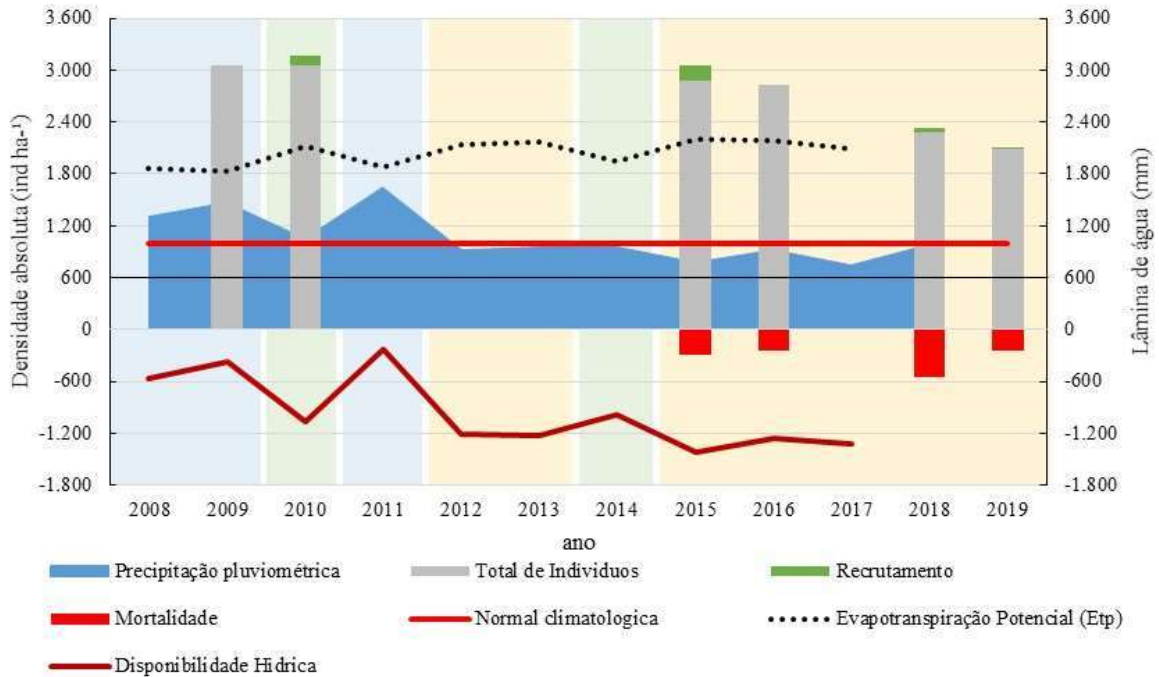


Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.3.3 Biomassa

A densidade de plantas em 2009 foi de 3.063 ind. ha<sup>-1</sup>, passando a 3.175 ind. ha<sup>-1</sup> em 2010 e reduzindo para 3.063 ind. ha<sup>-1</sup> em 2015, 2.825 ind. ha<sup>-1</sup> (2016), 2.338 ind. ha<sup>-1</sup> (2018) e 2.113 ind. ha<sup>-1</sup> (2019) (Figura 17). A redução da densidade de plantas é resultado da taxa de mortalidade maior que a taxa de recrutamento observada no período estudado, onde constatou-se uma taxa de mortalidade média de 134 ind. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e um recrutamento de 39 ind. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, gerando um déficit médio de 95 ind. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Assim, as taxas de mortalidade superiores as de recrutamento apresentam forte influência da sazonalidade climática e dos anos consecutivos de seca. Desta forma, a redução na densidade de plantas entre o período de 2015 a 2019, em relação ao período de 2009 a 2010, encontra relação com a ocorrência de secas na região desde 2012 (BRITO *et al.*, 2018).

Figura 17 - Distribuição anual da densidade, recrutamento e mortalidade de árvores em um fragmento de floresta seca no nordeste brasileiro



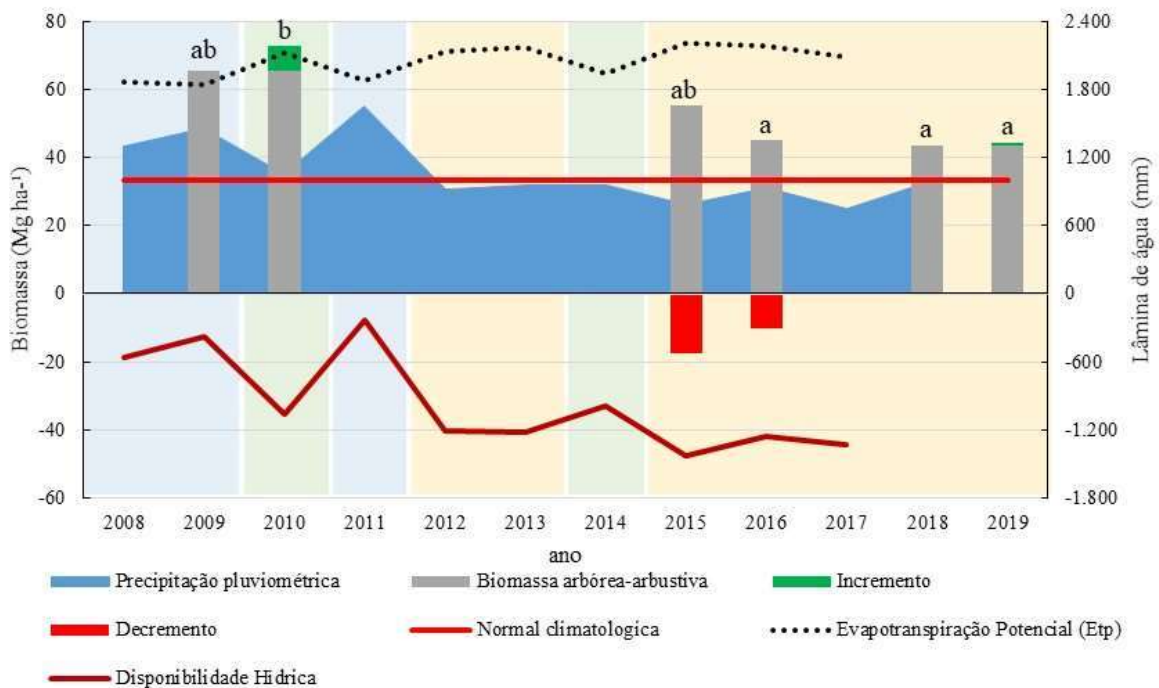
Fonte: Elaborada pelo autor.

As árvores normalmente reduzem a evapotranspiração durante a seca por meio de mecanismos adaptativos, como o fechamento estomático e a perda sazonal de folhas e do dossel (GREENWOOD *et al.*, 2017). Todavia, a variação intra e interanual das chuvas acentua a influência do estresse hídrico, podendo levar à mortalidade das plantas, que é fortemente associada a seca (ADAMS *et al.*, 2017). Uma das estratégias das comunidades florestais para a convivência ao estresse hídrico é a redução no número de árvores, aumentando a probabilidade de sobrevivência das árvores remanescentes (MCDOWEL; ALLEN, 2015). Tal estratégia permite que os subsistemas de transporte hídrico se restabeleçam após o alívio do estresse, pela diminuição da competição (ANDEREGG; KANE; ANDEREGG, 2012).

Além de anos de déficit hídrico causarem diversos problemas ao desenvolvimento de indivíduos recém recrutados, pois seu desenvolvimento se torna mais lentamente por possuírem raízes menos profundas do que árvores remanescentes e podem, portanto, experimentar um efeito negativo devido ao estresse hídrico nas camadas superiores do solo na estação seca (VAN DER SANDE; ZUIDEMA; STERCK, 2015). Outra característica importante é a baixa capacidade de acumular reservas para manter os indivíduos no período de estiagem (FEITOSA, 2017). Essas reservas são influenciadas pelo estágio fenológico, carga genética e o quão severo e intenso é o estresse hídrico (SPANNL *et al.*, 2016).

Seguindo a tendência da densidade de plantas registrou-se entre 2009 e 2010 um aumento da biomassa estocada no compartimento aéreo arbórea-arbustivo em  $7,26 \text{ Mg ha}^{-1}$ , passando de  $65,33 \text{ Mg ha}^{-1}$  para  $72,59 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 18). Nos recenseamentos seguintes 2015 ( $55,20 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), 2016 ( $45,04 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e 2018 ( $43,46 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) identificou-se uma sequência de decréscimo na biomassa estimada. Já em 2019 contabilizou-se um acréscimo de  $1,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ , passando a um estoque de  $44,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Observando assim, um aumento médio da biomassa lenhosa acima do solo, para todo o período estudado, em  $1,33 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo  $0,92 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  relativo ao incremento e  $0,41 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  ao recrutamento. O que não foi suficiente para superar o decréscimo da biomassa que foi em média  $3,26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  devido a mortalidade de indivíduos arbóreo-arbustivos, perfazendo um saldo negativo de  $1,97 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Figura 18 - Distribuição anual da biomassa aérea arbustiva-arbórea e da precipitação pluviométrica em um fragmente de floresta seca, Iguatu-CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

\*Letras minúsculas iguais entre anos não diferem entre si pelo teste de Friedman ( $p \leq 0,05$ ).

O ano de maior produção de biomassa foi 2010, que diferiu estatisticamente pelo teste de Friedman ( $p \leq 0,05$ ), da produção dos anos de 2016, 2018 e 2019, mostrando uma similaridade com os anos de 2009 e 2015 (Figura 18). Assim, o aumento da biomassa de 2009 a 2010 está relacionada com os totais precipitados entre 2008 e 2009, que foram acima da média, e portanto, apresentaram uma maior disponibilidade hídrica no período. Entre os anos de 2008 a 2011 a

lâmina total precipitada foi superior à normal climatológica em 31%; 47%; 6% e 66%, respectivamente, com um balanço hídrico médio negativo em 558,4 mm ano<sup>-1</sup>.

Entre os anos de 2012 e 2018 observou-se totais pluviométricos abaixo da normal climatológica em 7%; 4%; 4%; 21%; 7%; 24% e 2%, respectivamente, e um balanço hídrico médio negativo de 1.237,0 mm ano<sup>-1</sup>, mais do que o dobro do período anterior. Desta forma, a biomassa observada ao final de 2015 foi influenciada pela sequência de quatro anos secos (2012 a 2015), sendo agravado neste último ano (2015), que registrou um déficit hídrico de 1.422,61 mm. Observando-se o mesmo fenômeno para o ano de 2016 e 2018.

Em regiões semiáridas o recurso água é o principal limitante no incremento de biomassa (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016), uma vez que sob condições de secas consecutivas há um aumento da mortalidade de árvores e arbustos devido à escassez contínua do recurso água (SPANNL *et al.*, 2016). Ademais, as florestas secas possuem uma capacidade de produzir biomassa muito variável ano a ano, devido justamente serem influenciadas por anos consecutivos de secas, que pode reduzir essa capacidade (MITCHARD, 2018), o que demonstra o impacto das condições climáticas na produção de biomassa nas FTS (SPANNL *et al.*, 2016).

Desta forma, a limitação da disponibilidade hídrica não é decorrente, somente, do total precipitado anual, mas da distribuição no tempo e no espaço da disponibilidade hídrica, bem como a elevada disponibilidade de energia solar a ser empregada no processo de evapotranspiração (BRITO *et al.*, 2018). Levando em consideração os modelos de simulação recentes, que apontam as regiões semiáridas como as que sofrerão o maior impacto com as mudanças climática (HUANG *et al.*, 2015), observarmos que a mortandade ocorrida mostra a redução do total e do potencial de produção de biomassa pela FTS/DFC em anos secos consecutivos e podem se agravar frente as mudanças climáticas. Já que a prevê-se que as mudanças climáticas afetarão os padrões de precipitação pluviométrico e em aumentarão as temperaturas (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017), culminando em secas que antes seriam toleráveis e que futuramente poderão atingir níveis intoleráveis pelas plantas, portanto, reduzindo as formações florestais (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017; MCDOWEL; ALLEN, 2015).

#### **4.4 Conclusão**

Um fragmento de floresta tropical seca em domínio fitogeográfico da Caatinga (FTS/DFC), monitorado pelo período de 2009 até 2019, período este caracterizado por anos mais úmidos (2008 a 2011) e por anos mais secos (2012 a 2019), apresentou influência direta

das condições climáticas na mortalidade, afetando indivíduos arbustivo-arbóreos de menor diâmetro, ou seja, a mortalidade de indivíduos constatada neste estudo está mais relacionada ao estágio de desenvolvimento das plantas do que na espécie. As espécies arbustivo-arbóreas menos resilientes foram: *Croton spp.*, *Aspidosperma spp.* e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Duck. Enquanto, as mais resilientes aos anos secos consecutivos foram: *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., *Combretum spp.*, e *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett.

Mesmo após 40 anos em processo de regeneração, mediante processo de pousio, um FTS/DFC não atinge o clímax. Nossas observações demonstram que mesmo com o período longo de seca não houve a quebra do recrutamento das espécies secundárias, havendo resiliência destas espécies ao período de seca. Demonstrando que o FTS/DSC ainda está em processo de sucessão ecológica. O fragmento apresentou diversidade florística semelhante aos encontrados em outros fragmentos de Caatinga, sendo de extrema importância o monitoramento da vegetação da caatinga de longo prazo, e mais ainda sob diferentes propriedades de solo, regime pluviométrico e estádios sucessionais. Haja visto que o mesmo processo possa estar ocorrendo em outras áreas e são pouquíssimos os trabalhos registrados na literatura para este bioma com mais de 2 anos de estudo, fazendo-se necessário estudos que tenham continuidade em seu monitoramento. Contudo, os resultados ainda não nos dão suporte para afirmar que florestas tropicais secas são ou não mais tolerantes a seca, ou que já estariam no limite e por isto estão sofrendo mais rapidamente com o período de seca.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, a Universidade Federal do Ceará - UFC, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola – PPGA/UFC e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP pelo apoio científico e financeiro.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, H. D. *et al.* A multi-species synthesis of physiological mechanisms in drought-induced tree mortality. **Nature ecology & Evolution**, v. 1, p. 1285-1291, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0248-x>. Acesso em: 12 maio 2019.

ANDEREGG, W. R. L.; KANE, J. M.; ANDEREGG, L. D. L. Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. **Nature climate change**, v. 3, p.

30-36. 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate1635>. Acesso em: 12 maio 2019.

ANDRADE, L. A. *et al.* Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Revista Cerne**, v. 11, n. 3, p. 253-262, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74411305>. Acesso em: 15 maio 2019.

AQUINO, D. N. *et al.* Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, p. 2083-2100, 2017. DOI: 10.4236/ajps.2017.89140. Disponível em: <https://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?PaperID=78223>. Acesso em: 12 maio 2019.

ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL028946>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ARAÚJO FILHO, J. A. DE. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. 22. ed. Recife: [s.n.]. v. 53. 2013.

ARYAL, D. R. *et al.* Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. Agriculture. **Ecosystems and Environment**, v. 195, p. 220–230, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914003259>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRITO, S. S. B. *et al.* Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **Internetwork Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2017. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.5225>. Acesso em: 12 maio 2019.

CABRAL, G. A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Estrutura Espacial e Biomassa da Parte Aérea em Diferentes Estádios Sucessionais de Caatinga, em Santa Terezinha, Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/233060>. Acesso em: 21 maio 2019.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **ANÁLISE MULTIVARIADA para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. 1. ed. [s.l.]: Atlas, 2007. 568 p.

FEITOSA, R. C. **Estoque de carbono em Floresta Tropical Sazonalmente Seca no nordeste do Brasil: Uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 96f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERNANDES, F. B. P. **DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DO FEIJÃO-DE-CORDA EM FUNÇÃO DO MANEJO DE SOLO NO SEMIÁRIDO CEARENSE**. 2014. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

GREENWOOD, S. *et al.* Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. **Ecology Letters**, v. 20, p. 539–553, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ele.12748>. Acesso em: 21 maio 2019.

HARRIS, R. M. B. *et al.* Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events. **Nature climate change**, v. 8, p. 579–587, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0187-9>. Acesso em: 21 abr. 2019.

HUANG, J. *et al.* Accelerated dryland expansion under climate change. **Nature Climate Change**, v.6, p.166-171, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate2837>. Acesso em: 12 maio 2019.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/14990/pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 25 maio 2019.

MCDOWELL, N. G.; ALLEN, C. D. Darcy’s law predicts widespread forest mortality under climate warming. **Natura Climate Change**, v. 5, p. 669–672. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate2641>. Acesso em: 5 maio 2019.

MILES, L. *et al.* A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33 p. 491–505, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>. Acesso em: 13 maio 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acesso em: 01 mar. 2019.

MITCHARD, E. T. A. The tropical forest carbon cycle and climate change. **Nature**, v. 559, p. 527–534, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0300-2>. Acesso em: 27 maio 2019.

MORO, M. F. *et al.* A Phytogeographical Metaanalysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, v. 82, n. 2, p. 91-148, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12229-016-9164-z>. Acesso em: 13 maio 2019.

MORO, M.F. *et al.* Síntese dos estudos florísticos e fitossociológicos realizados no semiárido brasileiro. In: EISENLOHR, P. V. *et al.* (eds). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**. v. 2. Viçosa, Editora da Universidade Federal de Viçosa, p. 412,451. 2015.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437–457, 2009.



Disponível em:

<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>. Acesso em: 19 abr. 2019.

PEREIRA JÚNIOR, L. R. *et al.* Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 32-40. 2016. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n1/0045-6888-rca-47-01-0032.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudos florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga**. Brasília: SB, p. 24, 2013.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botanica Brasilica**. v.19, n. 4, p. 935-943. 2005. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/abb/v19n4/a28v19n4.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SILVA, A. C. C.; OLIVEIRA, D. G. POPULATION STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. IN TWO FRAGMENTS AT DIFFERENT REGENERATION STAGES IN THE CAATINGA, IN SERGIPE, BRAZIL.

**Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 431-437. 2015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v39n3/0100-6762-rarv-39-03-0431.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SPANNL, S. *et al.* Climate variability, tree increment patterns and ENSO-related carbon sequestration reduction of the tropical dry forest species *Loxopterygium huasango* of Southern Ecuador. **Trees - Structure and Function**, v. 30, n. 4, p. 1245–1258, 2016.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-016-1362-0>. Acesso em: 22 maio 2019.

SPERRY, J. S. *et al.* Pragmatic hydraulic theory predicts stomatal responses to climatic water deficits. **New phytologist**, v. 212, n. 3, p. 577-589, 2016. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27329266>. Acesso em: 12 abr. 2019.

VAN DER SANDE, M. T.; ZUIDEMA, P. A.; STERCK, F. Explaining biomass growth of tropical canopy trees: the importance of sapwood. **Oecologia**, v. 117, n. 4, p. 1145-1155.

2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25634307>. Acesso em: 9 maio 2019.

VICENTE-SERRANO, S. M. A.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation

Evapotranspiration Index. **Journal Climate**, v. 23, p. 1696-1718. 2010. Disponível em:

<https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2009JCLI2909.1>. Acesso em: 3 maio 2019.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

1. Os últimos sete anos foi o maior período com déficit hídrico dos últimos 43 anos, porém não foi o mais severo. Assim como, precipitações pluviométricas abaixo e acima da média são eventos comuns no semiárido brasileiro, todavia, não apresentam ciclos definidos.
2. A utilização apenas do tempo de pousio não é razoável para determinar que uma área em regeneração esteja em estágio de clímax, pois outras variáveis irão determinar se a vegetação pertencente as Florestas Tropicais Secas atingirão os estoques iniciais.
3. Em anos de seca há aumento na morte de árvores e arbustos, principalmente em anos consecutivos, sendo mais afetados os indivíduos de menores classes diamétricas.
4. A produção da biomassa no estrato arbustivo-arbóreo é diretamente influenciada pela sazonalidade climática, haja vista existir uma relação direta positiva entre as variáveis climáticas e a distribuição das chuvas com o incremento de biomassa florestal.

## REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, H. M. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) based drought assessment in Bangladesh. **Proceedings of 5th International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh** [ICEAB 2014]. Disponível em: <http://benjapan.org/ICEAB/proceedingsICEAB14/i10%20p24.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- ABRAMOPOULOS, F.; ROSENZWEIG, C.; CHOUDHURY, B. Improved Ground Hydrology Calculations for Global Climate Models (GCMs): Soil Water Movement and Evapotranspiration. **Journal Climate**, v.1, p. 921 – 941, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<0921:IGHCFG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0921:IGHCFG>2.0.CO;2). Acesso em: 7 maio 2019.
- ADAMS, H. D. *et al.* A multi-species synthesis of physiological mechanisms in drought-induced tree mortality. **Nature ecology & Evolution**, v. 1, p. 1285-1291, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0248-x>. Acesso em: 12 maio 2019.
- ALCOFORADO-FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Florística e Fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta bot. bras.**, v.17, p. 287-303, 2003. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062003000200011&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062003000200011&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 7 maio 2019.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta bot. bras.**, v. 19, n. 3, p. 615-623. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000300023>. Acesso em: 7 maio 2019.
- ANDEREGG, W. R. L.; KANE, J. M.; ANDEREGG, L. D. L. Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. **Nature climate change**, v. 3, p. 30-36. 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate1635>. Acesso em: 12 maio 2019.
- ANDRADE, E. M. A. **Floresta Tropical Seca, Caatinga: as Certezas e Incertezas das Águas**. Tordesillas Revista de Investigación Multidisciplinar. [s.l.], [s.n.], n. 12., 2017. p.11 – 20.
- ANDRADE, E. M. DE *et al.* Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 10, n. 2, p. 88, 2016. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/3500>. Acesso em: 12 maio 2019.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Investigation of the maximum and minimum temperatures in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 82-87, 2011. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/514>. Acesso em: 12 maio 2019.

ANDRADE, E. M. *et al.* Water as Capital and Its Uses in the Caatinga. In: SILVA, J. M. C; LEAL, I. R; TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. [s.l.], Spring, 2017. p. 281-302.

ANDRADE, L. A. *et al.* Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Revista Cerne**, v. 11, n. 3, p. 253-262, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74411305>. Acesso em: 15 maio 2019.

AQUINO, D. N. **Ciclagem de carbono e caracterização espectral em áreas de caatinga raleada e conservada**. 2015. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará Fortaleza, 2015.

AQUINO, D. N. *et al.* Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, p. 2083-2100, 2017. DOI: 10.4236/ajps.2017.89140. Disponível em: <https://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?PaperID=78223>. Acesso em: 12 maio 2019.

ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL028946>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ARAÚJO FILHO, J. A. DE. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. 22. ed. Recife: [s.n.]. v. 53. 2013.

ARYAL, D. R. *et al.* Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 195, p. 220–230, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914003259>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BANDA - R. K. *et al.* Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383–1387, 2016. DOI: 10.1126/science.aaf5080. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/353/6306/1383>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BAPTISTA, N. Q.; CAMPOS, C. H. Caracterização do Semiárido Brasileiro. In: Irio Luiz Conti, I. L.; Schroeder, E. O. **Convivência com o Semiárido Brasileiro: Autonomia e Protagonismo Social**. Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS/REDEgenteSAN / Instituto Ambiental Brasil Sustentável – IABS / Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento – AECID / Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome - MDS / Editora IABS, Brasília-DF, 2013. 208 p.

BECKNELL, J. M.; KUCEK, L. K.; POWERS, J. S. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. **Forest Ecology and Management**, v. 276, p. 88–95, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112712002009>. Acesso em: 12 maio 2019.

BLACKIE, R. *et al.* **As florestas tropicais secas: O estado de conhecimento global e recomendações para futuras pesquisas.** 2014. Documento para Discussão. Bogor, Indonésia: CIFOR. 2014.

BRITO, S. S. B. *et al.* Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **Internation Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2017. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.5225>. Acesso em: 12 maio 2019.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical Secondary Forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, n. 1, p. 1-32, 1990. Disponível em: [https://www.jstor.org/stable/2559366?seq=1#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2559366?seq=1#metadata_info_tab_contents). Acesso em: 12 maio 2019.

CABRAL, G. A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Estrutura Espacial e Biomassa da Parte Aérea em Diferentes Estádios Sucessionais de Caatinga, em Santa Terezinha, Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233060>. Acesso em: 21 maio 2019.

CALIXTO JÚNIOR, J. T. **Análise estrutural de duas fitofisionomias de caatinga em diferentes estados de conservação no semiárido pernambucano.** 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2009.

CARVALHO, E. C. D. **Estrutura e Estágios de Sucessão Ecológica da vegetação de caatinga em ambiente serrano no Cariri paraibano.** 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2009.

CAVALCANTI *et al.*, Fontes de renda dos pequenos agricultores no semi-árido do Nordeste brasileiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 38., 2000, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Campinas: UNICAMP; Auburn: IRSA; Brasília, DF: SOBER, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/37186/1/OPB1722.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2019.

CAVALCANTI, A. D. C. *et al.* Mudanças florísticas e estruturais, após cinco anos, em uma comunidade de Caatinga no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 1210-1212, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v23n4/v23n4a32.pdf>. Acesso em: 11 maio 2019.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **ANÁLISE MULTIVARIADA para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia.** 1. ed. [s.l.]: Atlas, 2007. 568 p.

DANTAS, L. G.; SANTOS, C. A. C.; OLINDA, R. A. TENDÊNCIAS ANUAIS E SAZONAIS NOS EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO EM CAMPINA GRANDE – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, 423 - 434, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v30n4/0102-7786-rbmet-30-04-00423.pdf>. Acesso em: 21 maio 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.

FEITOSA, R. C. **Estoque de carbono em Floresta Tropical Sazonalmente Seca no nordeste do Brasil: Uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 96f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERNANDES, F. B. P. **DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DO FEIJÃO-DE-CORDA EM FUNÇÃO DO MANEJO DE SOLO NO SEMIÁRIDO CEARENSE**. 2014. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FERREIRA, P. S. *et al.* Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 141-152, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v33n1/0102-7786-rbmet-33-01-0141.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2019.

FIGUEIREDO, K. V. *et al.* Epicuticular-wax removal influences gas exchange and water relations in the leaves of an exotic and native species from a Brazilian semiarid region under induced drought stress. **Australian Journal of Botany**, v. 60, n. 8, p. 685–692, 2012. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/bt/bt12168>. Acesso em: 12 maio 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED. **Global ecological zones for FAO forest reporting: 2010 update**. Forest Resources Assessment Working Paper 179. 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/ap861e/ap861e00.pdf>. Acesso em: 1 de set. de 2019.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Fixação biológica do N<sub>2</sub> em leguminosas arbóreas da Paraíba e de Pernambuco. *In*: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2008. p. 27-46.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. **Sistemas Meteorológicos Causadores de Chuva na Região Nordeste do Brasil**. Fortaleza, 2002. Disponível em: [http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico\\_chuvas\\_postos\\_pluviometricos/entender/entender2.htm](http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/entender/entender2.htm). Acesso em: 27 de fev. de 2019.

GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos florestais da Caatinga**. 2. ed. Brasília, Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

GREENWOOD, S. *et al.* Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. **Ecology Letters**, v. 20, p 539–553, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ele.12748>. Acesso em: 21 maio 2019.

GUERREIRO, M. J. S. *et al.* Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 14, p. 2929–2939, 2013.

Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.3645>. Acesso em: 21 maio 2019.

HARRIS, R. M. B. *et al.* Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events. **Nature climate change**, v. 8, p. 579-587, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0187-9>. Acesso em: 21 abr. 2019.

HOEKSTRA, J. M. *et al.* Confronting a biome crisis: Global disparities of habitat loss and protection. **Ecology Letters**, v. 8, n. 1, p. 23–29, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x>. Acesso em: 21 abr. 2019.

HUANG, J. *et al.* Accelerated dryland expansion under climate change. **Nature Climate Change**, v.6, p.166-171, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate2837>. Acesso em: 12 maio 2019.

HUGHES, C. E.; PENNINGTON, R. T.; ANTONELLI, A. Neotropical Plant Evolution: Assembling the Big Picture. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 171, n. 1, p. 1–18, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/boj.12006>. Acesso em: 21 maio 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e de vegetação**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 1 mar. 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Caatinga**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/caatinga>. Acesso em: 8 de fev. de 2019.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 140-151, 1993. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1939509>. Acesso em: 21 maio 2019.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/14990/pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

KUMAR J.I. N. *et al.* Tree species diversity and soil nutrient status in three sites of tropical dry deciduous forest of western India. **Tropical Ecology**, v. 51, n.2, p. 273-279, 2010. Disponível em: [https://pdfs.semanticscholar.org/8191/37ae933756a9d7d3e20803b0cb8fa78722a8.pdf?\\_ga=2.79249047.243590104.1576523071-31292908.1576523071](https://pdfs.semanticscholar.org/8191/37ae933756a9d7d3e20803b0cb8fa78722a8.pdf?_ga=2.79249047.243590104.1576523071-31292908.1576523071). Acesso em: 21 abr. 2019.

LEITE, J. A. N. *et al.* Análise quantitativa da vegetação lenhosa da Caatinga em Teixeira, PB. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 89-100, 2015. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/584>. Acesso em: 21 abr. 2019.

- LEWIS, S. L. *et al.* Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1625, 2013. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2012.0295>. Acesso em: 21 abr. 2019.
- LIMA JÚNIOR, C. *et al.* Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Sci. For., Piracicaba**, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45531172.pdf>. Acesso em: 1 maio 2019.
- LIMA, A. L. A. *et al.* The phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? **Trees**, v. 26, p. 1605–1616, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-012-0735-2>. Acesso em: 1 maio 2019.
- LIMA, J. G. A. *et al.* Análise de tendências na temperatura e precipitação em Caicó, Rio Grande do Norte. **Revista ACSA**, v. 8, n. 1, p. 34 -38, 2012. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/209/pdf>. Acesso em: 1 maio 2019.
- MARENGO, J. A. *et al.* Características climáticas da seca 2010-2016 na região semiárida do Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>. Acesso em: 26 jun. 2019.
- MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, *In*: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. da S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, INSA. 2011. p.383-422.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 25 maio 2019.
- MARIANO, R. F. **Sucessão de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) no Brasil**. 2014. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- MARTIN, P. A.; NEWTON, A. C.; BULLOCK, J. M. Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1773, 2013. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2013.2236>. Acesso em: 5 maio 2019.
- MCDOWELL, N. G.; ALLEN, C. D. Darcy’s law predicts widespread forest mortality under climate warming. **Natura Climate Change**, v. 5, p. 669–672. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate2641>. Acesso em: 5 maio 2019.
- MEIR, P. *et al.* The effects of drought on Amazonian rain forests. *In*: Keller, M. *et al.* **Amazonia and Global Change**. Eds., Geophysical Monograph Series, American Geophysical Union, Washington, p. 429-449, 2009.



MENDONÇA, A. V. R. *et al.* Estimação de biomassa aérea da caatinga do norte da Bahia. **Pesq. flor. bras.**, v. 33, n. 76, p. 355-368, 2013. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/579>. Acesso em: 22 maio 2019.

MENDONÇA, M. A. B. **Interferência da Precipitação na Produção de Serrapilheira em Área de Caatinga Submetida a Diferentes Manejos**. 2014. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará Fortaleza, 2014.

MENDOZA-PONCE, A.; GALICIA, L. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. **Forestry**, v. 83, n. 5, p. 497–506, 2010. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestry/article/83/5/497/659429>. Acesso em: 17 abr. 2019.

MENEZES, H. E. A. *et al.* A RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DOS OCEANOS TROPICAIS E A DURAÇÃO DOS VERANICOS NO ESTADO DA PARAÍBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v23n2/04.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181–186, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a09.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

MENEZES, R. S. C. *et al.* Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Braz. J. Biol.**, v. 72, n. 3, p. 643-653, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjb/v72n3s0/v72n3s0a04.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.

MILES, L. *et al.* A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33 p. 491–505, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>. Acesso em: 13 maio 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acesso em: 01 de março de 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Unidades de Conservação por Bioma**. Brasília 2012. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_dap\\_cnuc2/\\_arquivos/uc\\_por\\_bioma\\_cnuc\\_31jan2012\\_119.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_dap_cnuc2/_arquivos/uc_por_bioma_cnuc_31jan2012_119.pdf). Acesso em: 11 maio 2019.

MITCHARD, E. T. A. The tropical forest carbon cycle and climate change. **Nature**, v. 559, p. 527-534, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0300-2>. Acesso em: 27 maio 2019.

MOHANRAJ, R.; SARAVANAN, J.; DHANAKUMAR, S. Carbon stock in Kolli forests, Eastern Ghats (India) with emphasis on aboveground biomass, litter, woody debris and soils. **iForest**, v. 4, n. 2, p. 61-65, 2011. Disponível em: <https://iforest.sisef.org/contents/?id=ifor0568-004>. Acesso em: 27 abr. 2019.

MORO, M. F. *et al.* A Phytogeographical Metaanalysis of the Semiárido Caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, v. 82, n. 2, p. 91-148, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12229-016-9164-z>. Acesso em: 13 maio 2019.

MORO, M.F. *et al.* Síntese dos estudos florísticos e fitossociológicos realizados no semiárido brasileiro. In: EISENLOHR, P. V. *et al.* (eds). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**. v. 2. Viçosa, Editora da Universidade Federal de Viçosa, p. 412,451. 2015.

MOURA, M. S. B. *et al.* Clima e a água de chuva no SemiÁrido. In: Brito, L. T. L.; Moura, M. S. B.; Gama, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 2007.

MOURA, M. S. B. **Precipitação e evaporação**. Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma\\_caatinga/arvore/CONT000g798rt3p02wx5ok0wtedt3nd3c631.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3p02wx5ok0wtedt3nd3c631.html). Acesso em: 11 maio 2019.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of Tropical Dry Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 67–88, 1986. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>. Acesso em: 11 maio 2019.

NGO, K. M. *et al.* Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore. **Forest Ecology and Management**, v. 296, p. 81-89, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713000984>. Acesso em: 11 maio 2019.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do distrito federal. **Revista Árvore**, v. 35, p. 527-538, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v35n3/a15v35n3.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2019.

PALÁCIO, H. A. Q. **Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos**. 2011. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437-457, 2009. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>. Acesso em: 19 abr. 2019.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Brasília, p. 15, 2007. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1604>. Acesso em: 27 fev. 2019.

PEREIRA JÚNIOR, L. R. **Estrutura e estoque de carbono em vegetação de caatinga: estudo de caso em uma área com 30 anos de regeneração**. 2016. 84 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Centro de Ciências, Departamento de Biologia, Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

- PEREIRA JÚNIOR, L. R. *et al.* Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 32-40. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n1/0045-6888-rca-47-01-0032.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- PEREIRA, E. R. R. **ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS NA ANÁLISE DA INTENSIDADE E VARIABILIDADE REGIONAL DAS CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL**. 2014. 100f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina, Campina Grande, 2014.
- POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, p. 211–214, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature16512>. Acesso em: 23 abr. 2019.
- POORTER, L. *et al.* Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1314–1328, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.12364>. Acesso em: 23 abr. 2019.
- PRADO, H. **Solos tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso**. São Paulo: Nobel, 1995.
- PRADO-JUNIOR, J. A. *et al.* Conservative species drive biomass productivity in tropical dry forests. **Journal of Ecology**, v. 104, n. 3, p. 817–827, 2016. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2745.12543>. Acesso em: 17 maio 2019.
- REZENDE, A. V. *et al.* Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65-76, 2006. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap07.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.
- RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudos florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga**. Brasília: SB, p. 24, 2013.
- ROZENDAAL, D. M. A. *et al.* Demographic Drivers of Aboveground Biomass Dynamics During Secondary Succession in Neotropical Dry and Wet Forests. **Ecosystems**, v. 20, n. 2, p. 340–353, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-016-0029-4>. Acesso em: 17 maio 2019.
- SALGADO, E. V. **Capacidade de suporte da serapilheira da Caatinga na recuperação de solos degradados no Semiárido**. 2014. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- SAMPAIO, E. V. D. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. *In*: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; SALCEDO, I. H. (Ed.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: UFPE, 2008. p. 11-25.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botanica Brasilica**. v.19, n. 4, p. 935-943. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v19n4/a28v19n4.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SILVA, A. C. C.; OLIVEIRA, D. G. POPULATION STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. IN TWO FRAGMENTS AT DIFFERENT REGENERATION STAGES IN THE CAATINGA, IN SERGIPE, BRAZIL.

**Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 431-437, 2015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v39n3/0100-6762-rarv-39-03-0431.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga.

**Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n3/a17v32n3.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2019.

SILVA, V. P. R. DA *et al.* Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131–138,

2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n2/v15n02a04.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.

SINGHA, A. *et al.* Temperature and Precipitation Changes and Possible Threats to Crop Production in Arid, Semi-Arid and Tropical Forest Environment. **Procedia Environmental Sciences**, v. 29, p. 26 – 27, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615003497>. Acesso em: 13 maio 2019.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS NA OCORRÊNCIA DE VERANICOS NA MICRORREGIÃO DO PAJEÚ – PE. **Revista de Geografia**. Recife, v. 26, n. 3, 2009. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228779/23193>. Acesso em: 13 maio 2019.

SPANNL, S. *et al.* Climate variability, tree increment patterns and ENSO-related carbon sequestration reduction of the tropical dry forest species *Loxopterygium huasango* of Southern Ecuador. **Trees - Structure and Function**, v. 30, n. 4, p. 1245–1258, 2016.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-016-1362-0>. Acesso em: 22 maio 2019.

SPERRY, J. S. *et al.* Pragmatic hydraulic theory predicts stomatal responses to climatic water deficits. **New phytologist**, v. 212, n. 3, p. 577-589, 2016. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27329266>. Acesso em: 12 abr. 2019.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do**

**Semiárido**. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 27 fev. 2019.

THURNER, M. *et al.* Carbon stock and density of northern boreal and temperate forests.

**Global Ecology and Biogeography**, v.23, n. 3, p. 297–310, 2014. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.12125>. Acesso em: 11 abr. 2019.

TIESSEN, H. *et al.* Carbon Sequestration and Turnover in Semiarid Savannas and Dry Forest. **Climatic Change**, v. 40, n. 1, p. 105-117, 1998. Disponível em:

<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1005342932178>. Acesso em: 10 ago. 2019.

TOLEDO, M. *et al.* Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 1, p. 254–264, 2011. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2745.2010.01741.x>. Acesso em: 27 maio 2019.

VAN DER SANDE, M. T.; ZUIDEMA, P. A.; STERCK, F. Explaining biomass growth of tropical canopy trees: the importance of sapwood. **Oecologia**, v. 117, n. 4, p. 1145-1155. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25634307>. Acesso em: 9 maio 2019.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões Propostas para o Bioma Caatinga. *In: \_\_\_\_\_* (Ed.). Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. p. 1-76.

VICENTE-SERRANO, S. M. A.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. **Journal Climate**, v. 23, p. 1696-1718. 2010. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2009JCLI2909.1>. Acesso em: 3 maio 2019.

VOLLAND-VOIGT, F. *et al.* Radial stem variations of *Tabebuia chrysantha* (Bignoniaceae) in different tropical forest ecosystems of southern Ecuador. **Trees**, v. 25, n. 1, p. 39-48, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-010-0461-6>. Acesso em: 18 abr. 2019.

ZHANG, C. *et al.* Structural drivers of biomass dynamics in two temperate forests in China. **Ecosphere**, v. 8, n. 3, 2017. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecs2.1752>. Acesso em: 13 maio 2019.