



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ANTÔNIO GIVANILSON RODRIGUES DA SILVA**

**DINÂMICA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA RADICULAR EM ANOS SECOS, EM  
FLORESTA TROPICAL SECA, CAATINGA**

**FORTALEZA**

**2019**

ANTÔNIO GIVANILSON RODRIGUES DA SILVA

DINÂMICA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA RADICULAR EM ANOS SECOS, EM  
FLORESTA TROPICAL SECA, CAATINGA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.  
Coorientadora: Profa. Dra. 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)

---

S578d Silva, Antônio Givanilson Rodrigues da.  
Dinâmica na produção de biomassa radicular em anos secos, em Floresta Tropical Seca,  
Caatinga / Antônio Givanilson Rodrigues da Silva. – 2019.  
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro  
de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.  
Coorientação: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade.

1. Ingrowth core. 2. Precipitação. 3. Temperatura. I. Título.

CDD 630

---

ANTÔNIO GIVANILSON RODRIGUES DA SILVA

DINÂMICA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA RADICULAR EM ANOS SECOS, EM  
FLORESTA TROPICAL SECA, CAATINGA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 17/06/2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade (Coorientadora)  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

---

Profa. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esta obra a Deus, por tudo, aos meus pais, que me deram tudo, aos meus irmãos, por me serem tudo, e por fim, àquela com quem quero construir um novo tudo.

## AGRADECIMENTOS

Ao criador, que aqui me trouxe e segurou nos momentos mais difíceis. Deus bem sabe o quanto foi difícil chegar ao ensino superior numa universidade federal saindo de uma realidade pobre, mas um dia ele me disse “Vá, eu estarei ao teu lado”.

Aos meus pais, Dileusa e Silvanildo, que sempre colocaram os filhos antes deles mesmos, que me ensinaram o certo e o errado, e que na humilde forma de ser me ensinaram valores que em nenhum outro lugar eu poderia aprender.

Aos meus irmãos, Givanildo e Cibele, por serem exemplo de bondade e alegria, e por estarem sempre à disposição, seja para uma ajuda, seja para um abraço.

À minha namorada, Karine, que segurou minha mão na jornada acadêmica e na vida, e graças ao navio que um dia construímos, temos navegado com firmeza em meio a tempestades.

À minha tia Helena e seu filho David, que me acolheram com bondade em seu lar durante mais de 5 anos, me sendo uma segunda família. E aos demais familiares, pelo apoio e confiança.

Ao Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes e à Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade, pela valiosa orientação acadêmica e pelos grandes ensinamentos pessoais. Pessoas e profissionais a quem muito admiro e tenho como exemplo. Obrigado pela confiança.

Aos professores participantes da banca examinadora Isabel Cristina da Silva Araújo e Claudivan Feitosa de Lacerda pelo tempo, pelas importantes colaborações e sugestões.

Aos professores do Centro de Ciências Agrárias da UFC, pelos ensinamentos frutuosos, pelas palavras de incentivo e pelas cobranças que contribuíram para meu crescimento.

Aos professores do ensino fundamental e médio que acreditaram em mim e me encorajaram a seguir.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida e pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus amigos, Larissa, Murilo, Neto, Adriana, Davi, Úrsula e Caique, e aos demais colegas de turma, pelos bons momentos de conversa, descontração e “viagens filosóficas”.

Ao grupo MASSA, que me recebeu com carinho, me aproximou de pessoas incríveis, e me proporcionou experiências desafiadoras e construtivas. Na “salinha do

MASSA” fiz bons amigos e aproveitei valorosas conversas acompanhadas de uma xícara de café.

Aos funcionários e moradores da Fazenda Experimental Vale do Curu, nas pessoas de Zé Airton, Zé Hamilton, Gleyciane, Cícero, Francivalda, Júlia, Ana, Iara, Anilton e Itamar, pela enorme ajuda durante a realização do experimento.

A todos que contribuíram diretamente com seu tempo e trabalho na realização do experimento: Adriana Cruz, Honório Neto, Victor Beviláqua, Gina Sena, Cecílio Leite, Diego Antunes, Ramon Feitosa, Jairo Soares, Elber Lopes, Gilberto Quevedo, Aldênia Mascena, Wilner Valbrun, Úrsula Prado, Larissa Lopes, Janaína Castro, Manoel Carlos, e demais que por hora não recordo.

E a todos aqueles que foram coadjuvantes na minha empreitada até agora.

Meu muitíssimo obrigado!

“Quando a semente germina,  
dentro da terra vigora,  
enraíza, suga a seiva,  
bota a folhinha de fora,  
toma gosto, cria caule,  
desenvolve, cresce e flora.  
A flor nasce de uma planta  
situada num canteiro,  
num cascalho, num monturo,  
na várzea, no tabuleiro,  
no pedregulho, na areia,  
na água, no lamaceiro”

José de Sousa Dantas Filho  
(Zé Dantas)

## RESUMO

A Caatinga, uma das maiores áreas remanescentes de Floresta Tropical Seca (FTS), é insuficientemente investigada e consideravelmente ameaçada, assim como as demais FTS no mundo. Isto contribui para a lacuna de conhecimentos sobre a dinâmica da biomassa nessas florestas, principalmente a biomassa radicular, que tem papel fundamental na ciclagem de nutrientes, especialmente no ciclo do carbono. Este trabalho investiga a dinâmica da biomassa radicular na FTS Caatinga a longo prazo (2015 a 2022), e sua relação com a sazonalidade climática. Para isso foram instalados, em julho de 2015, 142 núcleos de crescimento interno (*ingrowth cores*) para o acompanhamento da biomassa radicular na camada 0-30 cm do solo, numa área de Caatinga em regeneração há 31 anos. Foi realizado levantamento inicial da biomassa radicular (10 núcleos coletados) em julho de 2015. A partir de novembro de 2015, 6 núcleos foram coletados a cada 4 meses até novembro de 2018, as raízes foram separadas do solo por lavagem, secadas em estufa e posteriormente obtido seu peso seco. Dados de precipitação e temperatura foram coletados na estação agrometeorológica próxima ao experimento. A biomassa em jul/2015 foi de 16,46 Mg ha<sup>-1</sup>, esse valor representa a dinâmica radicular nos 31 anos sem intervenções antrópicas. Correlação significativa (Spearman=0,329\*\*) foi encontrada entre a precipitação acumulada de 3 meses anteriores a coleta e a biomassa obtida na mesma. Nos primeiros dois anos (2016 e 2017) a biomassa apresentou incrementos superiores aos decrementos. A produção de biomassa total durante a estação chuvosa dos três anos foi de 16,22 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto os decrementos na estação seca resultaram no aporte de 10,51 Mg ha<sup>-1</sup> de M.O ao solo. As raízes finas responderam por mais de 80% da biomassa em todas as coletas subsequentes à instalação, e se apresentaram mais sensíveis às variações na disponibilidade hídrica do que as raízes grossas. A vegetação da FTS Caatinga responde melhor a distribuição da precipitação do que ao total precipitado anualmente, sendo que a biomassa radicular se mostrou significativamente sensível a sazonalidade da precipitação, com incrementos na quadra chuvosa, e decrementos na estação seca. Apesar de se tratar de uma floresta tropical seca, a produção radicular na Caatinga ocorreu mesmo em anos abaixo da média pluviométrica. Os resultados iniciais mostram que a vegetação necessita de um período mínimo de chuvas acumuladas (3 meses) para responder de forma significativa no incremento da biomassa radicular. Com os resultados obtidos até o momento percebe-se que para entender com clareza a dinâmica radicular em FTS são necessários estudos com duração superior ao período aqui analisado.

**Palavras-chave:** *Ingrowth core*. Precipitação. Temperatura.

## ABSTRACT

The Caatinga, one of the largest remaining areas of Dry Tropical Forest (DTF), has been inadequately investigated and is considerably threatened, as are the other DTF around the world. This adds to the knowledge gap in biomass dynamics in these forests, especially of root biomass, which plays a key role in nutrient cycling, particularly in the carbon cycle. This work investigates root biomass dynamics in the Caatinga DTF in the long term, and its relationship to climate seasonality. In July 2015, 142 ingrowth cores were installed to monitor root biomass in the 0-30 cm soil layer in an area of Caatinga under regeneration for 31 years. An initial survey of the root biomass (10 cores collected) was carried out in July 2015. From November 2015, six cores were collected every four months until November 2018, the roots were separated from the soil by washing and their dry weight was determined. Precipitation and temperature data were collected from the agrometeorological station close to the experiment. In July 2015, the biomass was 16.46 Mg ha<sup>-1</sup>; this value represents the root dynamics for the 31 years without anthropogenic intervention. A significant correlation (Spearman = 0.329\*\*) was found between the rainfall accumulated during the three months prior to collection and the collected biomass. During the first two years (2016 and 2017), the increases in biomass were greater than the reductions. Over the three years, total biomass production during the rainy season was 16.22 Mg ha<sup>-1</sup>, while reductions during the dry season resulted in the contribution of 10.51 Mg ha<sup>-1</sup> of OM to the soil. Fine roots accounted for more than 80% of the biomass in each collection following installation, and were more sensitive to variations in water availability than the coarse roots. The vegetation of the Caatinga DTF has a better response to rainfall distribution than to the annual total rainfall, with root biomass proving to be significantly sensitive to rainfall seasonality, increasing during the rainy season and decreasing during the dry season. Despite being a dry tropical forest, root production in the Caatinga took place even in years of below average rainfall. Initial results show that the vegetation requires a minimum period of accumulated rainfall (3 months) to respond significantly to the increase in root biomass. Considering the results obtained until now, it can be seen that in order to clearly understand root dynamics in the DTF, studies of longer than the period analysed here are necessary.

**Keywords:** Ingrowth core. Rainfall. Temperature.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das Florestas Tropicais Secas pelo mundo no ano de 2000 .....	15
Figura 2 – Zonas Ecológicas Globais de acordo com o Relatório Florestal da FAO 2010..	17
Figura 3 – Localização da área de estudo .....	25
Figura 4 – Precipitação e temperaturas médias mensais com base nos dados obtidos para o período de 1970-2018, na FEVC, Pentecoste/CE .....	26
Figura 5 – Retrato da vegetação da área experimental durante a estação chuvosa (A) e durante a estação seca (B) .....	26
Figura 6 – Sacola de malha construída com malha de polietileno de alta densidade para amostragem das raízes (Diâmetro: 14 cm x Profundidade: 30 cm) .....	27
Figura 7 – Locação dos núcleos na área experimental .....	28
Figura 8 – Processo de instalação das malhas. Representação do processo de peneiramento e separação das camadas em recipientes (A), detalhe da malha revestindo o interior do buraco, e já preenchida com o solo livre de raízes da camada 20-30 cm (B), e, exemplo de núcleo em que a camada rochosa não permitiu o aprofundamento da malha (C) .....	28
Figura 9 – Acomodação das amostras de solos contendo as raízes, por camadas. Camada 10-20 cm do núcleo 002 (A), e camada 0-10 cm do núcleo 111 (B), ambos coletados em mar/2016 .....	29
Figura 10 – Evolução temporal da biomassa radicular total no período de jul/2015 a nov/2018, na FTS Caatinga, Pentecoste/CE. Cada <i>box plot</i> representa a biomassa total medida nos 6 núcleos/coleta, exceto a testemunha (jul/15) em que o <i>box plot</i> representa 10 núcleos .....	32
Figura 11 – Bloco de solo e raízes encontrado na camada 0-10 cm do núcleo 002, na coleta de mar/2016. As raízes juntamente com a umidade formaram o agregado .....	33
Figura 12 – Balanço da produtividade radicular entre as coletas de 2015 a 2018. O valor de jul/2015 não faz parte do balanço, serve apenas para comparação .....	35

Figura 13 – Precipitação mensal e acumulada entre 2015 e 2018, medidas na FEVC, Pentecoste/CE .....	37
Figura 14 – Percentual de dias, durante a quadra chuvosa, com precipitações nas classes PD 2-11 mm, PD 11-20 mm e PD >20 mm, de 2015 a 2018. Os números dentro das barras indicam a contagem de dias em cada classe .....	37
Figura 15 – Distribuição das chuvas diárias durante o ano, de 2015 a 2018 .....	38
Figura 16 – Variação temporal da biomassa de raízes finas e grossas entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga .....	38
Figura 17 – Contribuição percentual de raízes finas e grossas na biomassa radicular total nas coletas entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga .....	40
Figura 18 – Raízes da camada 0-10 cm do núcleo 137, coletado em jul/2015 .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de métodos para estimativa de biomassa e produção de raízes finas e grossas .....	22
Tabela 2 – Valores médios de biomassa total das raízes na camada 0-30 cm, para cada coleta entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga, Pentecoste/CE .....	31
Tabela 3 – Correlação de Spearman entre a biomassa radicular total e a precipitação acumulada nos meses anteriores a cada coleta entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga .....	34
Tabela 4 – Correlação de Spearman entre a biomassa radicular total em cada coleta e a média mensal das temperaturas mínima (TMínM), máxima (TMáxM) e média (TMéd), medidas na FEVC, Pentecoste/CE .....	39
Tabela 5 – Correlação de Spearman entre a biomassa de raízes finas e grossas e a precipitação acumulada nos meses anteriores a cada coleta entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga .....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Florestas Tropicais Secas - FTS</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Caatinga: a Floresta Tropical Seca do Brasil</b> .....	17
<b>2.3</b>	<b>Biomassa radicular nas florestas</b> .....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	25
<b>3.2</b>	<b>Obtenção da biomassa radicular</b> .....	27
<b>3.3</b>	<b>Dados climáticos</b> .....	30
<b>3.4</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	31
<b>4.1</b>	<b>Dinâmica temporal da biomassa radicular total</b> .....	31
<b>4.2</b>	<b>Dinâmica temporal da biomassa de raízes finas (<math>\leq 2</math> mm) e grossas (<math>&gt; 2</math> mm)</b> .....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES PRELIMINARES</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

As Florestas Tropicais Secas (FTS) são consideradas os ecossistemas florestais mais ameaçados e devastados do planeta, além de serem substancialmente pouco investigados. Entretanto, ainda ocupam grandes áreas e apresentam ampla distribuição geográfica, fornecendo abrigo e sustento à maior parte da população pobre do mundo, bem como prestam importantes serviços ecossistêmicos.

Uma das maiores áreas ocupadas por esse tipo de floresta ocorre na região semiárida do nordeste do Brasil, e é conhecida como Caatinga. Mesmo que os poucos e recentes estudos tenham apontado para o potencial de contribuição em importantes processos ambientais, a exemplo da ciclagem do Carbono, as investigações sobre as FTS ainda são incipientes, e não é diferente com a Caatinga.

Entre os aspectos florestais que merecem a atenção e esforços dos pesquisadores, a dinâmica da biomassa nos diferentes compartimentos da vegetação e sua relação com o ecossistema têm sugestiva prioridade, tendo em vista que seu entendimento pode elucidar quais papéis as florestas terão nos cenários futuros de mudanças climáticas. Estes estudos estão mais avançados com relação a biomassa aérea da vegetação, enquanto a biomassa radicular permanece pouco investigada, inclusive nos demais tipos de florestas. A isso relaciona-se a laboriosidade e dificuldade metodológica dos estudos com raízes.

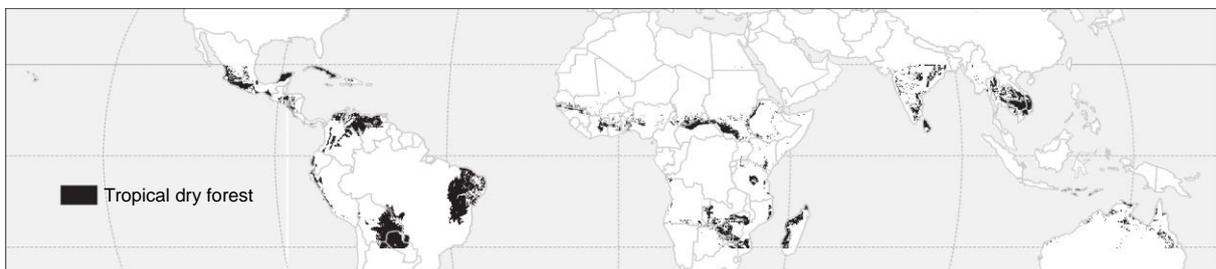
Em vista disso, este trabalho busca investigar a dinâmica da biomassa radicular na FTS Caatinga a longo prazo, e sua relação com a sazonalidade climática. Pretende-se, especificamente, entender como esta se correlaciona com a dinâmica intra e interanual da biomassa radicular, e quais as possíveis implicações dessa dinâmica no potencial da Caatinga frente às mudanças climáticas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Florestas Tropicais Secas - FTS

Estima-se que restem ainda cerca de 1.048.700 km<sup>2</sup> de Florestas Tropicais Secas - FTS, sendo que mais da metade desse total está localizada na América do Sul, onde se encontram também aproximadamente 71,8% da área que coincide com alguma forma de área protegida (Figura 1) (MILES *et al.*, 2006). Dentre os tipos florestais localizados nos trópicos as FTS são consideradas como as mais ameaçadas, as menos estudadas, e possivelmente as mais vulneráveis (GILLESPIE *et al.*, 2012; JANZEN, 1988; MILES *et al.*, 2006). As áreas ocupadas com as FTS vêm diminuindo ao longo das últimas décadas em consequência da ação de diferentes, múltiplas e complexas ameaças, a maioria de origem antrópica (JANZEN, 1988; MILES *et al.*, 2006). Destaca-se a extração de madeira e outros recursos não madeireiros, o uso do fogo e a abertura de novas áreas para pastagem, implantação de culturas ou usos urbanos (PULLA *et al.*, 2015).

Figura 1 – Distribuição das Florestas Tropicais Secas pelo mundo no ano de 2000.



Fonte: MILES *et al.* (2006).

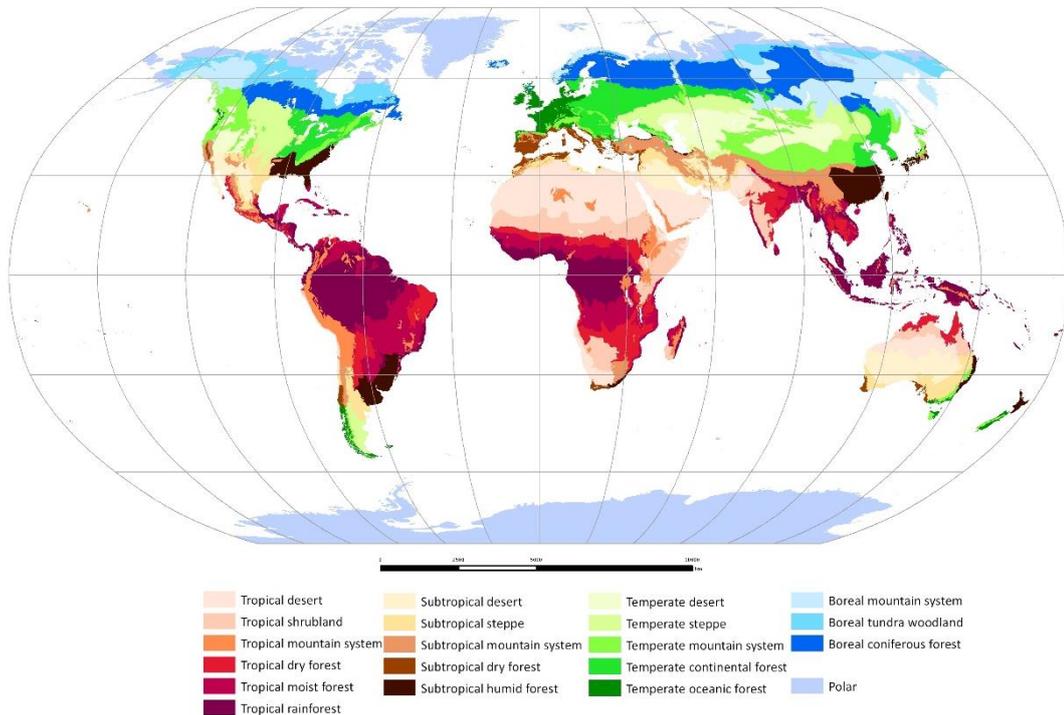
As FTS são habitadas por grande parte da população pobre do mundo (CUNNINGHAM *et al.*, 2008), sobrevivendo direta ou indiretamente dos seus recursos naturais. Mas há que se considerar que nem sempre é fácil separar a exploração dos recursos florestais para a sobrevivência com a possível degradação imposta por tal prática. As FTS fornecem recursos madeireiros para o setor de construções (DJOUDI *et al.*, 2015), lenha para abastecer as residências da população pobre que habita dentro ou no entorno das florestas, e madeira para a fabricação de carvão (BLACKIE *et al.*, 2014; CUNNINGHAM *et al.*, 2008; DJOUDI *et al.*, 2015). Já com relação aos produtos não-madeireiros essas florestas são fontes de produtos medicinais, sejam de origem vegetal ou animal (SUNDERLAND *et al.*, 2015), de alimentos (BLACKIE *et al.*, 2014), e ainda desempenham importante papel na oferta de serviços ecossistêmicos (CUNNINGHAM *et al.*, 2008).

Segundo Blackie *et al.* (2014) e Miles *et al.* (2006) a definição de FTS é um ponto fundamental para o desenvolvimento de estudos, mas ainda não se existe consenso quanto a esse assunto, de forma que um dos principais desafios é encontrar um equilíbrio entre as diferentes classificações vegetais desenvolvidas em diferentes regiões. Tomando como base o esquema de classificação proposto por Holdridge (1967), Murphy e Lugo (1986) descrevem que as FTS ocorrem em áreas livres de gelo, com temperatura média anual superior a 17 °C, precipitação média anual inferior a 1800 mm, 4-6 meses secos (precipitação <100 mm), e com uma relação evapotranspiração potencial/precipitação maior que 1. Janzen (1988) acrescenta que durante a estação seca (4-6 meses) ocorre a diminuição do fluxo ou até a secagem de cursos d'água em decorrência da alta incidência solar, que afeta também a serapilheira causando sua decomposição, e afirma que a umidade relativa diária varia de 20-60%. Ainda segundo Janzen (1988), a vegetação se apresenta uniformemente verde durante a estação chuvosa, dando lugar para um complexo mosaico de aparências na estação seca nessas florestas.

Uma das mais recentes definições de FTS é a proposta pela FAO (2001; 2012) que caracteriza a mesma como aquela que experimenta clima tropical com chuvas de verão, 5-8 meses secos durante o inverno, precipitação média anual entre 500 e 1500 mm, e temperatura média anual superior a 18 °C. São assim classificados o mais seco tipo de Miombo e bosques Sudaneses, a savana (África), a caatinga e o chaco (América do Sul), e as florestas e bosques decíduos de Dipterocarpus (Ásia) (FAO, 2001). Corroborando com o argumento de que ainda não existe uma definição amplamente aceita das áreas que são consideradas FTS, o mapa das Zonas Ecológicas Globais da FAO (2012) caracteriza como Florestas Tropicais Úmidas algumas áreas que Miles *et al.* (2006) haviam definido antes como FTS (Figura 2).

Pennington, Lavin e Oliveira-Filho (2009) propuseram que as Florestas Tropicais Secas do mundo fossem agrupadas em uma espécie de grande bioma (“global metacommunity”), entretanto Dexter *et al.* (2015) verificaram que a similaridade entre diferentes tipos florestais em um mesmo continente é maior que entre o mesmo tipo de floresta em continentes diferentes, devendo essas generalizações serem feitas com muito critério. Mesmo compartilhando características edafoclimáticas e fisionômicas suficientes para receberem a mesma nomenclatura, a notável variabilidade dos ecossistemas florestais secos, em conjunto com a escassez de dados, permite somente uma generalização das características das FTS (MURPHY; LUGO, 1986).

Figura 2 – Zonas Ecológicas Globais de acordo com o Relatório Florestal da FAO 2010.



Fonte: FAO (2012).

As FTS têm sido incluídas, embora ainda em quantidade aquém da satisfatória, nos estudos sobre o potencial dos ecossistemas florestais no sequestro e estoque do carbono, e o resultado tem sido positivo (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016). Feitosa (2017) destaca que a redução da biomassa devido à enorme pressão a qual essas florestas têm sido submetidas, acaba por reduzir também esse potencial.

## 2.2 Caatinga: a Floresta Tropical Seca do Brasil

Na América do Sul estão localizadas as duas maiores áreas contíguas de FTS, sendo uma delas encontrada no nordeste do Brasil, a Caatinga (MILES *et al.*, 2006). A vegetação da Caatinga por vezes se confunde com a região geográfica de mesmo nome (PRADO, 2003), assim, o domínio fitogeográfico da Caatinga, que ocupa uma área de aproximadamente 844.453 km<sup>2</sup>, cerca de 9,9% do território brasileiro (IBGE, 2004), encontra-se inserido na região semiárida brasileira, experimentando condições climáticas adversas e extremas como a ocorrência de anos secos alternados por anos de cheias (PRADO, 2003).

De acordo com Costa *et al.* (2014), a Caatinga é a que apresenta a menor disponibilidade hídrica dentre as FTS globais, entretanto, o que melhor caracteriza o padrão

pluviométrico da Caatinga não é o total precipitado anualmente, mas sim sua distribuição temporal e espacial. Quase o total da área fitogeográfica recebe de 50% a 70% da precipitação total anual em apenas 3 meses consecutivos, e em cerca de metade da área chove menos de 750 mm por ano (ANDRADE *et al.*, 2017). As temperaturas médias anuais são elevadas, variando de 26 a 28 °C (NIMER, 1972). Os solos, que são em sua maioria assentados sobre terrenos cristalinos com poucas regiões sedimentares, se apresentam como um mosaico e distribuem-se predominantemente nas classes dos Vertissolos, Luvisolos, Neossolos, Planossolos e Latossolos (AB’SABER, 1974; PRADO, 2003).

Dentre os biomas brasileiros a Caatinga figura como o menos valorizado e estudado, entretanto, apresenta uma grande riqueza biológica contendo inclusive táxons raros e endêmicos (GIULIETTI *et al.*, 2003). A perda dessa diversidade representa o desaparecimento de espécies não encontradas em nenhum outro lugar do mundo (FERNANDES; QUEIROZ, 2018). Segundo o levantamento feito por Hauff (2010) foram contabilizadas no bioma Caatinga cerca de 178 espécies de mamíferos, 591 espécies de aves, 177 espécies de répteis, 79 espécies de anfíbios, 241 espécies de peixes e 221 espécies de abelhas. Cerca de 13% dessas espécies são restritas à Caatinga.

Entre as FTS do mundo a Caatinga tem a maior riqueza em espécies vegetais, com aproximadamente 23% destas sendo endêmicas (FERNANDES; QUEIROZ, 2018). A vegetação apresenta alta variabilidade florística e estrutural em escala espacial local e sub-regional, grande parte explicada em decorrência da adaptação à grande variação das características do solo (APGAUA *et al.*, 2015). Devido a ampla variação, não existe uma classificação consensualmente aceita para as diversas fitofisionomias dessa vegetação, mas há um entendimento geral sobre as características da Caatinga (SAMPAIO, 2010).

O solo é considerado um fator que exerce grande influência no estabelecimento do tipo de vegetação numa área, o que segundo Fernandes e Queiroz (2018) pode determinar dois tipos principais de vegetação na Caatinga: “(i) a Caatinga do Cristalino, associada a solos com fertilidade moderada ou elevada da Depressão Sertaneja; e (ii) a Caatinga Arenosa, associada a solos arenosos profundos e de baixa fertilidade”. Ainda segundo os autores o primeiro tipo é o que apresenta maior semelhança da flora com outras FTS do mundo, e cobre cerca de 70% da área de Caatinga. Já o segundo, abriga muitas espécies restritas, grande parte delas tendo sido descritas somente nos últimos 15 anos. Além desses dois tipos principais, os autores ainda mencionam um terceiro, a Caatinga Arbórea, cuja ocorrência se dá no norte do estado de Minas Gerais, e centro sul da Bahia, além da borda oriental da Chapada Diamantina.

Enquanto as duas Caatingas descritas antes são caracterizadas pela prevalência de plantas de porte baixo a intermediário, esta última suporta plantas altas e robustas.

Tamanha diversidade de fisionomias implica também em grande variação de hábitos das plantas, com diferentes padrões de crescimento, incorporação de biomassa, deposição de serapilheira, renovação do sistema radicular, densidade da madeira etc., de forma que todos esses componentes integram a dinâmica do carbono no ecossistema florestal, em específico na Caatinga. Aquino (2015) mostrou em sua pesquisa, numa área de Caatinga no Ceará, que o padrão natural de morte das raízes finas contribui para maior aporte de carbono ao solo. Pereira Júnior *et al.* (2016) estudando o estoque de carbono em diversos compartimentos numa vegetação de Caatinga em regeneração há 30 anos quantificou cerca de 19,27 Mg ha<sup>-1</sup> nos compartimentos lenhosos, 2,62 Mg ha<sup>-1</sup> na serapilheira, 0,57 Mg ha<sup>-1</sup> no estrato herbáceo e 4,73 Mg ha<sup>-1</sup> nas raízes. Embora as florestas tropicais chuvosas tenham valores mais expressivos de biomassa do que as secas (MURPHY; LUGO, 1986), e conseqüentemente maior estoque de carbono, as FTS apresentam grande potencial de estocar tal elemento. Pesquisadores como Portillo-Quintero *et al.* (2015) afirmam que se as FTS do mundo fossem restauradas, elas comportariam, só no compartimento acima do solo, cerca de 22 Pg de carbono.

Apesar de sua importância em escala nacional, enquanto único bioma exclusivamente brasileiro e detentor de uma grande riqueza endêmica, e em escala mundial, enquanto uma das maiores áreas contínuas remanescente de FTS, a caatinga tem sofrido, segundo Calixto Junior e Drumond (2014), uma devastação histórica, em função do avanço das atividades agropecuárias pelo território semiárido. A atividade humana já modificou cerca de 63.6% da Caatinga, e o uso insubstituível da terra nessa região pode levá-la a um cenário inevitável de desertificação, uma vez que 94% da Caatinga apresenta um risco de desertificação de moderado a alto (SILVA *et al.*, 2017). Dado o baixo número de estudos que têm sido desenvolvidos sobre esse bioma, a velocidade de sua devastação supera em muito a velocidade que adquirimos conhecimento sobre ele.

### **2.3 Biomassa radicular nas florestas**

A biomassa é definida, segundo Higa *et al.* (2014), como o total de matéria orgânica, seja ela viva ou morta, localizada acima ou abaixo do solo, que compõe os vegetais e animais encontrados em uma determinada comunidade. No contexto florestal, os mesmos autores definem como biomassa florestal a soma da matéria orgânica de todos os

componentes vegetais da comunidade, sendo estes divididos em biomassa viva (troncos, galhos, raízes, cascas, sementes e folhagens) e morta (serapilheira, galhos e troncos caídos, e raízes mortas), e é expressa em massa de matéria seca (MS) por unidade de área, geralmente  $\text{Mg ha}^{-1}$  MS.

A quantificação da biomassa em uma floresta resulta da diferença entre o que é produzido, através do processo de fotossíntese, e o que é consumido, nos processos de respiração ou colheita. Essa mensuração é bastante útil no entendimento das mudanças na estrutura florestal, bem como na compreensão das mudanças globais, a exemplo dos estudos que relacionam a biomassa nas florestas tropicais com o papel destas no ciclo biogeoquímico do carbono (BROWN, 1997).

Enquanto a biomassa total de uma floresta depende, por exemplo, da sua idade, das condições de clima e solo, e do histórico de uso (HIGA *et al.*, 2014), a alocação da biomassa nos diferentes componentes vegetacionais varia, entre outros fatores, em função do tipo florestal (BROWN, 1997). Murphy e Lugo (1986) verificaram que a biomassa de todos os componentes (caules, galhos, folhas e raízes) das florestas tropicais e subtropicais chuvosas/úmidas superavam o total encontrado nas florestas tropicais e subtropicais secas. Neste mesmo estudo foi identificado, entretanto, que o percentual da biomassa total ocupado pelo componente radicular nas florestas secas é maior que nas chuvosas/úmidas.

Essa informação traz grande contribuição para o reconhecimento do papel das raízes no potencial de estoque de carbono, principalmente em florestas tropicais secas. Essa importância se dá ao passo que este componente parece ser bem menos estudado que aqueles acima do solo (AQUINO, 2015; BARDGETT; MOMMER; DE VRIES, 2014; ERKTAN; MCCORMACK; ROUMET, 2018; GREEN *et al.*, 2005; LIMA; MIRANDA; VASCONCELOS, 2012). É possível pontuar algumas razões para essa lacuna de investigação sobre as raízes, entre as quais cita-se:

- (i) devido as raízes estarem inseridas na complexa matriz do solo sua amostragem torna-se difícil (ERKTAN; MCCORMACK; ROUMET, 2018), principalmente raízes finas (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013);
- (ii) as metodologias de acompanhamento do desenvolvimento radicular a longo prazo são laboriosas e requerem grandes investimentos (ANDREASSON *et al.*, 2015; IVERSEN *et al.*, 2017; VOGT; VOGT; BLOOMFIELD, 1998);

(iii) e não existe uma metodologia considerada universalmente apropriada para amostragem das raízes (ADDO-DANSO; PRESCOTT; SMITH, 2016; LIMA; MIRANDA; VASCONCELOS, 2010; VOGT; VOGT; BLOOMFIELD, 1998).

Apesar de ainda serem insuficientemente investigadas (IVERSEN *et al.*, 2017), as raízes apresentam uma diversidade de características e interações com o ambiente (BARDGETT; MOMMER; DE VRIES, 2014) que os processos que as envolvem são tão ou mais importantes que os processos acima do solo em muitas florestas. A biomassa radicular chega a ser a maior parcela da biomassa vegetal em muitos biomas (POORTER *et al.*, 2012).

As raízes são comumente subdivididas em classes diamétricas, devido a relação existente entre o diâmetro e a função das mesmas, e essa divisão facilita as investigações. Em geral os pesquisadores classificam as raízes com diâmetro menor ou igual a 2 mm como finas, e acima disso são ditas grossas (ADDO-DANSO; PRESCOTT; SMITH, 2016; IVERSEN *et al.*, 2017; LIN; ZENG, 2017; LUKAC, 2011; ZHANG; WANG, 2015).

As raízes finas podem ainda ser subdivididas levando em consideração suas funções. McCormack *et al.* (2015) sugerem que as raízes finas sejam separadas em raízes de absorção e raízes de transporte, sendo que geralmente as raízes finas de absorção são aquelas com diâmetro menor que 0,5 mm, e aquelas entre 0,5 e 2 mm são as raízes finas de transporte.

As raízes finas são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes, além de responderem por cerca de 33% da produção primária líquida global (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997). São ainda extremamente importantes na ciclagem do carbono no solo devido ao aporte característico durante o processo de renovação das raízes, ou “turnover”, que consiste na sua constante produção e morte (LUKAC, 2011). As raízes grossas, por sua vez, são responsáveis pelo suporte estrutural da planta e pelo transporte de água e nutrientes para a parte aérea (GONÇALVES; MELLO, 2000), e devido apresentarem maior longevidade contribuem pouco para a ciclagem de carbono e nutrientes (LUKAC, 2011).

Não existe um consenso sobre a melhor metodologia para amostrar e quantificar a biomassa e produção radicular, haja vista a diversidade de trabalhos ao longo de tempo que comparam diferentes métodos (p. ex. ADDO-DANSO; PRESCOTT; SMITH, 2016; ANDREASSON *et al.*, 2015; HENDRICKS *et al.*, 2006; MAKKONEN; HELMISAARI, 1999; VOGT; VOGT; BLOOMFIELD, 1998). Percebe-se que os diversos métodos foram desenvolvidos na tentativa de melhorar o entendimento da dinâmica radicular nos ecossistemas globais. Estes podem ser divididos em diretos e indiretos, em relação a como as mensurações são obtidas, e ainda classificados quanto ao impacto que trazem ao ecossistema

em destrutivos e não-destrutivos (ADDO-DANSO; PRESCOTT; SMITH, 2016). Os métodos diferem em função do tipo de raízes que estão sendo avaliadas. Addo-Danso, Prescott e Smith (2016) levantaram informações de diversos métodos usados para estimar a produção e biomassa de raízes finas e grossas (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação de métodos para estimativa de biomassa e produção de raízes finas e grossas

Método	Método	Impacto no ecossistema
<i>Raízes finas</i>		
Núcleo de solo (Soil-core)	Direto	Destrutivo
Monólito (Monolith)	Direto	Destrutivo
Equações alométricas (Allometric models)	Indireto	Não-destrutivo
Núcleo de crescimento interno (Ingrowth-core)	Direto	Destrutivo
(Mini) rizotrons [(Mini) rhizotrons]	Direto	Não-destrutivo
Núcleos sequenciais (Sequential-coring)	Direto	Destrutivo
Balanço de Nitrogênio (N budget)	Indireto	Destrutivo
<i>Raízes grossas</i>		
Escavação de raízes (Root excavation)	Direto	Destrutivo
Poços de solo (Soil-pit)	Direto	Destrutivo
Núcleo de solo (Soil-core)	Direto	Destrutivo
Razão raiz/parte aérea (Root/shoot ratios)	Indireto	Não-destrutivo
Equações alométricas de tamanho de massa (Mass-size allometric equations)	Indireto	Não-destrutivo
Poço de crescimento interno (Soil ingrowth pit)	Direto	Destrutivo
Percentual da produção de madeira (Percentage of wood production)	Indireto	Não-destrutivo

Fonte: Adaptado de Addo-Danso, Prescott e Smith (2016).

O método do núcleo de crescimento interno (*ingrowth core*) consiste na estimativa do total de raízes que crescem para dentro de um volume conhecido de solo, livre de raízes, em um determinado intervalo de tempo, e apesar de suas limitações é considerado um dos mais empregados na estimativa da produção e renovação de raízes finas (ADDO-DANSO; PRESCOTT; SMITH, 2016). É ainda considerado o mais adequado para regiões com rápido desenvolvimento radicular como nos ecossistemas tropicais (VOGT; VOGT; BLOOMFIELD, 1998).

O desenvolvimento e crescimento radicular são controlados pela interrelação entre fatores internos às plantas, ou endógenos, e fatores externos bióticos e abióticos. Os fatores endógenos são aqueles que correspondem intrinsecamente ao controle genético, a fisiologia e

a anatomia do vegetal, a exemplo do balanço de fitohormônios (ABRAMOFF; FINZI, 2015; TANIMOTO, 2005) e o transporte, alocação e armazenamento de fotoassimilados (ABRAMOFF; FINZI, 2015). Os outros fatores ainda de cunho biológico, os bióticos, são aqueles que dizem respeito a interação entre organismos, a exemplo da interação das raízes com fungos e bactérias (BARDGETT; MOMMER; DE VRIES, 2014; ERKTAN; MCCORMACK; ROUMET, 2018), e/ou com outras raízes (ERKTAN; MCCORMACK; ROUMET, 2018).

Já com relação aos fatores abióticos, cita-se como exemplos a influência exercida, direta ou indiretamente, positiva ou negativamente, pela temperatura (ABRAMOFF; FINZI, 2015; FRESCHET *et al.*, 2017; GILL; JACKSON, 2000), precipitação e disponibilidade hídrica no solo (ABRAMOFF; FINZI, 2015; FRESCHET *et al.*, 2017; GREEN *et al.*, 2005; JANOS; SCOTT; BOWMAN, 2008; PANDEY; SINGH, 1992), disponibilidade de nutrientes (BLAIR; PERFECTO, 2001; POORTER *et al.*, 2012; SMITHWICK *et al.*, 2014), e textura e densidade do solo (FRESCHET *et al.*, 2017; METCALFE *et al.*, 2008). Faz-se pertinente notar, no entanto, que a interação das raízes com o ambiente não é uma via de mão única, enquanto por um lado o sistema radicular é influenciado pelo meio, em contrapartida as raízes são capazes de mudar várias características do ambiente, a exemplo da estrutura do solo, composição e atividade da biota do solo, e ciclagem de carbono e nutrientes (BARDGETT; MOMMER; DE VRIES, 2014; ERKTAN; MCCORMACK; ROUMET, 2018).

No que se refere aos fatores abióticos, a precipitação, sinônimo de disponibilidade hídrica no solo, é considerada uma variável chave na explicação da dinâmica de aumento e redução na biomassa de raízes. A disponibilidade de água no solo pode ter até mais importância no impulso inicial ao desenvolvimento radicular do que a disponibilidade de nutrientes (KAVANAGH; KELLMAN, 1992).

Os vegetais evoluíram para se adaptar aos diferentes ambientes que hoje colonizam, e como resultado as suas raízes - assim como outras partes da planta - apresentam uma grande variabilidade de características, funções e respostas ao meio (KAVANAGH; KELLMAN, 1992). Enquanto em alguns tipos de vegetação as raízes se mostram positivamente relacionadas com a disponibilidade hídrica no solo (JANOS; SCOTT; BOWMAN, 2008; KUMMEROW *et al.*, 1990), em outros o maior desenvolvimento radicular parece estar ligado ao maior déficit hídrico (LIMA; MIRANDA; VASCONCELOS, 2010, 2012; METCALFE *et al.*, 2008).

A disponibilidade hídrica tem papel fundamental na determinação de características das raízes, por exemplo no aprofundamento do sistema radicular, no volume de

raízes explorando a matriz do solo e na sua distribuição (FANG; XIONG, 2015). Entretanto, as raízes não são apenas influenciadas pela disponibilidade de água no solo, são também responsáveis pela resposta das plantas aos estresses hídricos, por meio de diferentes estratégias (FANG; XIONG, 2015; METCALFE *et al.*, 2008).

A água é um recurso imprescindível nos processos essenciais às plantas, logo, a redução da sua disponibilidade é considerada um problema ambiental e global que requer grande atenção (FANG; XIONG, 2015). Ademais, dada a importância já citada das raízes nos processos ecológicos em todo o planeta, é fundamental entender como estas respondem ao cenário de incertezas na disponibilidade hídrica como consequência das mudanças globais.

Um segundo fator abiótico de grande impacto no desenvolvimento radicular é a temperatura (ABRAMOFF; FINZI, 2015; FRESCHE *et al.*, 2017), talvez o mais importante a nível global (GILL; JACKSON, 2000). A taxa de renovação radicular, por exemplo, é um dos processos mais dependentes da temperatura (GILL; JACKSON, 2000). Nas regiões onde a vegetação apresenta baixa área foliar, como nas savanas, pradarias, pampas, estepes e vegetações arbustivas, a temperatura do ar e do solo são fortemente relacionadas, e isso explica a correlação positiva entre a temperatura anual média do ar e a taxa de renovação radicular (GILL; JACKSON, 2000).

De maneira geral, o aumento da temperatura do solo tende a aumentar a atividade da fauna edáfica, e com isso ocorre uma maior decomposição da matéria orgânica do solo, inclusive das raízes (GILL; JACKSON, 2000; GONGALSKY; PERSSON; POKARZHEVSKII, 2008; GONZÁLEZ; SEASTEDT, 2001; WALL *et al.*, 2008). No entanto, a temperatura por si só não é capaz de explicar a complexa dinâmica da biomassa radicular, e essa interação, biomassa radicular – temperatura, pode produzir resultados diferentes em diferentes tipos florestais (MCGRODDY; SILVER, 2000). Sabendo que os processos radiculares de crescimento e decomposição são sensíveis à temperatura, entendê-los ajuda a fundamentar as estimativas de fluxo de carbono nos ecossistemas num cenário de mudanças globais (ABRAMOFF; FINZI, 2015).

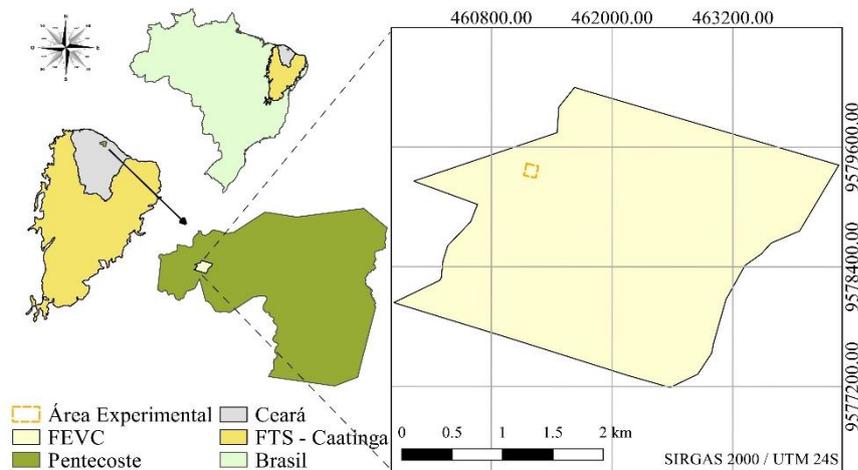
Assim, é necessário entender como esses dois fatores, precipitação e temperatura, influenciam a dinâmica radicular para fornecer informações que permitam identificar a sensibilidade dos ecossistemas às mudanças globais (GILL; JACKSON, 2000).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo vem sendo conduzido na Fazenda Experimental Vale do Curu - FEVC, que fica localizada no município de Pentecoste - Ceará, no nordeste do Brasil (Figura 3). A FEVC pertence a Universidade Federal do Ceará - UFC.

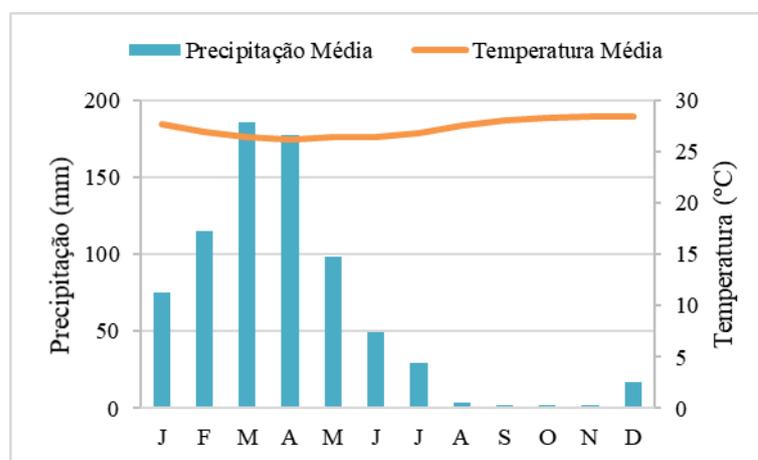
Figura 3 – Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo BSw'h': semiárido quente e seco com chuvas de verão-outono, e temperaturas médias mensais superiores a 18 °C. Com base nos dados coletados na estação meteorológica da FEVC, para o período de 1970-2018, a precipitação pluviométrica média anual é de 759 mm, sendo que mais de 85% desse total ocorre entre os meses de janeiro e maio. A temperatura média anual é de 27,3 °C, sendo as máximas mensais registradas nos meses de outubro a dezembro (Figura 4). O solo predominante na área de estudo pertence à classe dos Luvisolos, mas há grande variação espacial das características do solo.

Figura 4 – Precipitação e temperaturas médias mensais com base nos dados obtidos para o período de 1970-2018, na FEVC, Pentecoste/CE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O experimento, que ocupa uma área de 1,44 ha, está inserido numa área de vegetação de Caatinga (Figura 5), e foi implantado em 2015, quando esta vegetação se encontrava há 31 anos em estado de regeneração após ser usada para atividades agrícolas. Em 1974 a vegetação nativa dessa área foi retirada para dar lugar ao plantio da gramínea *Cenchrus ciliaris* L. por 10 anos, tendo sido abandonada e deixada em processo de regeneração desde então (FEITOSA, 2017).

Figura 5 – Retrato da vegetação da área experimental durante a estação chuvosa (A) e durante a estação seca (B).



Fonte: Elaborada pelo autor.

A composição florística da área de estudo conta com a presença de 18 espécies, sendo que 70% dos indivíduos ( $3329 \text{ ind. ha}^{-1}$ ) pertencem às espécies *Sebastiania macrocarpa* Müll. Arg., *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke, *Croton blanchetianus* Baill. e *Poincianella bracteosa* (Tul.) L. P. Queiroz (FEITOSA, 2017).

### 3.2 Obtenção da biomassa radicular

Para realizar a amostragem das raízes utilizou-se o método do núcleo de crescimento interno (*ingrowth core*) descrito primeiramente por Persson (1980, 1983), com adaptações. O núcleo utilizado consiste numa sacola de malha preenchida com solo livre de raízes, que permite as raízes crescerem para dentro, e são então coletados após um período determinado. O solo utilizado para preencher a malha pode ser do próprio local onde o núcleo será instalado ou solo vindo de outro local, desde que peneirado para retirar as raízes. A sacola foi construída em formato cilíndrico com malha de polietileno de alta densidade, abertura da malha de ~1,0 cm, com dimensões de 14 cm de diâmetro x 30 cm de profundidade (Figura 6).

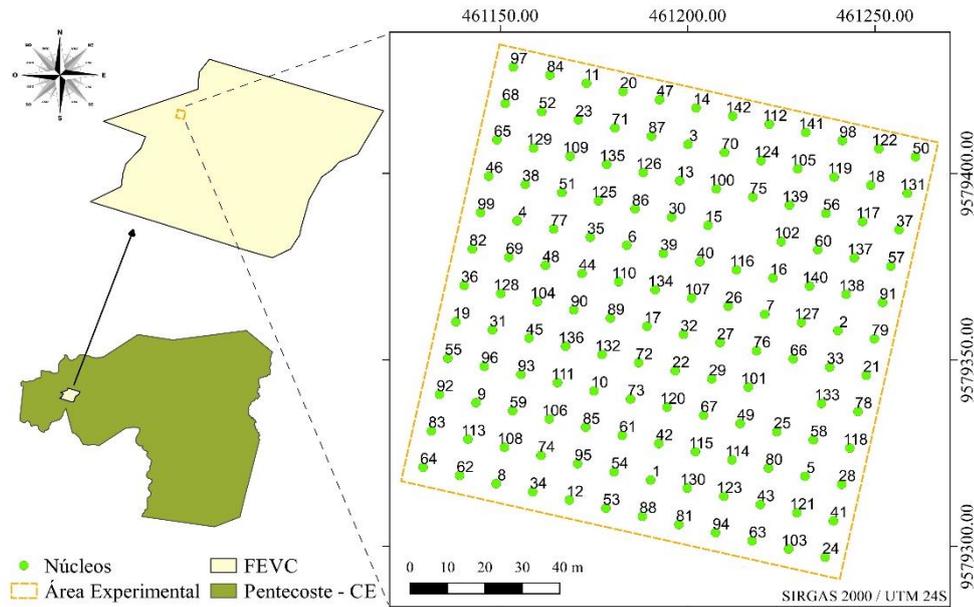
Figura 6 – Sacola de malha construída com malha de polietileno de alta densidade para amostragem das raízes (Diâmetro: 14 cm x Profundidade: 30 cm).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em julho de 2015 foram locados 144 pontos na área experimental (Figura 7) para proceder a instalação dos núcleos, entretanto 2 dos pontos locados ficaram próximos a árvores contendo colmeias da abelha *Apis mellifera scutellata*, e estes pontos não foram utilizados devido ao risco de um ataque envolvendo as abelhas, totalizando assim 142 núcleos instalados. Os núcleos foram locados respeitando uma distância entre eles de 10 m, perfazendo uma área de 1,44 ha.

Figura 7 – Locação dos núcleos na área experimental.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em cada ponto locado, o solo foi retirado em camadas de 10 cm, até a profundidade máxima de 30 cm, ou até a camada de impedimento (Figura 8A). O solo de cada camada foi peneirado em malha de 2 mm de abertura para remoção das raízes, e separado para posterior preenchimento da abertura (Figura 8B). A malha foi colocada no interior do orifício, e em seguida o solo livre de raízes foi devolvido seguindo a ordem de retirada das camadas, para preservar ao máximo as características do perfil do solo (Figura 8C).

Com base na sazonalidade da precipitação regional definiu-se que as coletas dos núcleos ocorreriam em intervalos de 4 meses, sendo realizadas no meses de março – a fim de abranger o meio da estação chuvosa; julho – a transição entre a estação chuvosa e a seca; e novembro – o meio da estação seca. Considerando que o trabalho é um estudo de longa duração com previsão de conclusão para 2022, os dados apresentados aqui correspondem às coletas realizadas entre julho de 2015 e novembro de 2018. Durante instalação, em julho de 2015, foram coletadas as raízes de 10 núcleos para caracterizar a dinâmica natural das raízes antes da intervenção, constituindo a coleta testemunha, a qual serviu de referencial para comparações futuras.

Figura 8 – Processo de instalação das malhas. Representação do processo de peneiramento e separação das camadas em recipientes (A), detalhe da malha revestindo o interior do buraco, e já preenchida com o solo livre de raízes da camada 20-30 cm (B), e, exemplo de núcleo em que a camada rochosa não permitiu o aprofundamento da malha (C).



Fonte: Elaborada pelo autor.

A cada 4 meses 6 núcleos foram sorteados e coletados, sendo que até o presente momento foram realizadas 10 coletas além da testemunha (jul/2015). Durante a coleta, uma lâmina metálica foi inserida no solo por fora da malha para cortar as raízes que haviam penetrado e o núcleo foi cuidadosamente retirado, separado em 3 camadas de 10 cm de espessura cada, as quais foram acomodadas em sacos de plástico etiquetados (Figura 9), e então levadas para a UFC.

Figura 9 – Acomodação das amostras de solos contendo as raízes, por camadas. Camada 10-20 cm do núcleo 002 (A), e camada 0-10 cm do núcleo 111 (B), ambos coletados em mar/2016.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na UFC, as raízes foram separadas do solo por meio de lavagem sobre peneira de malha de 1 mm e foram utilizadas pinças para remover os detritos retidos junto com as raízes (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013). Não foi feita separação entre raízes mortas e vivas, tampouco a distinção das raízes por espécies. Após a lavagem as raízes foram colocadas para secar ao ar livre por cerca de 48h, e então separadas em raízes finas ( $\emptyset \leq 2$  mm) e grossas ( $\emptyset > 2$  mm) com o auxílio de peneira com tamanho de malha de 2 mm. Para aumentar a confiabilidade da separação com a peneira, um fator de ajuste foi determinado a partir da separação de algumas amostras de raiz com o uso de paquímetros. Após a secagem ao ar, as raízes foram submetidas a secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C, até massa constante, e a massa seca foi obtida em balança com precisão de 0,001g.

### 3.3 Dados climáticos

Dados diários de precipitação e temperatura foram obtidas na estação meteorológica da FEVC durante todo o período de investigação. Estudos como Andrade *et al.* (2016) demonstram que a região em estudo apresenta alta variabilidade intra e interanual da precipitação, assim, para melhor compreender como essa variabilidade afeta a dinâmica de produção radicular, foram determinadas:

- (i) a precipitação acumulada 1 mês (PA1m), 2 meses (PA2m), 3 meses (PA3m), 4 meses (PA4m) e 5 meses (PA5m) antes de cada coleta;
- (ii) os dias com precipitações entre 2,0 e 11,0 mm (PD 2-11 mm), entre 11,0 e 20,0 mm (PD 11-20 mm) e superiores a 20,0 mm (PD >20 mm);
- (iii) a precipitação total anual (PTA);
- (iv) a precipitação na quadra chuvosa (PQC);
- (v) e a precipitação diária anual.

Já com relação a temperatura, foram obtidos os valores médios mensais das temperaturas máxima, média e mínima do ar.

### 3.4 Análises estatísticas

Os dados foram analisados quanto a normalidade (Kolmogorov-Smirnov,  $p < 0,05$ ), e constatada a não normalidade procedeu-se o teste de Kruskal-Wallis para comparar a biomassa entre as coletas, e o coeficiente de correlação de Spearman ( $\rho$ ) para verificar a influência das variáveis climáticas sobre o desenvolvimento radicular. As análises estatísticas

e gráficos foram feitos nos *softwares* Minitab® Statistical Software v. 18 e Microsoft Excel® 365.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dinâmica temporal da biomassa radicular total

Na amostragem realizada no momento da instalação do experimento (jul/2015), considerada a testemunha, foi obtido um valor médio de 16,46 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa radicular (Tabela 2) na camada de 0-30 cm. Esse total reflete a dinâmica do sistema radicular após os 31 anos que se passaram desde o fim da exploração agrícola na área de estudo. Comparando esse resultado com o encontrado por Costa *et al.* (2014) numa área de Caatinga na Paraíba com vegetações em 3 diferentes estágios de regeneração (18, 40 e >60 anos) após uso agrícola, verifica-se que esse total supera a biomassa da vegetação com 18 e 40 anos (2,6 Mg ha<sup>-1</sup> e 7,3 Mg ha<sup>-1</sup>), mas é inferior à de >60 anos (34,2 Mg ha<sup>-1</sup>). Observa-se, ainda, que o valor se encontra de acordo com o intervalo de 10 – 45 Mg ha<sup>-1</sup> descrito por Murphy e Lugo (1986) para as FTS. Apesar de se tratar do mesmo tipo de floresta, diferenças na intensidade da exploração agrícola, nas características edafoclimáticas e na composição florística, por exemplo, podem produzir respostas diferentes na produtividade radicular. Com relação a composição florística, Ma *et al.* (2016) afirmam que a diversidade de espécies nos ecossistemas globais tem influência positiva na produtividade de raízes.

Tabela 2 – Valores médios de biomassa total das raízes na camada 0-30 cm, para cada coleta entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga, Pentecoste/CE.

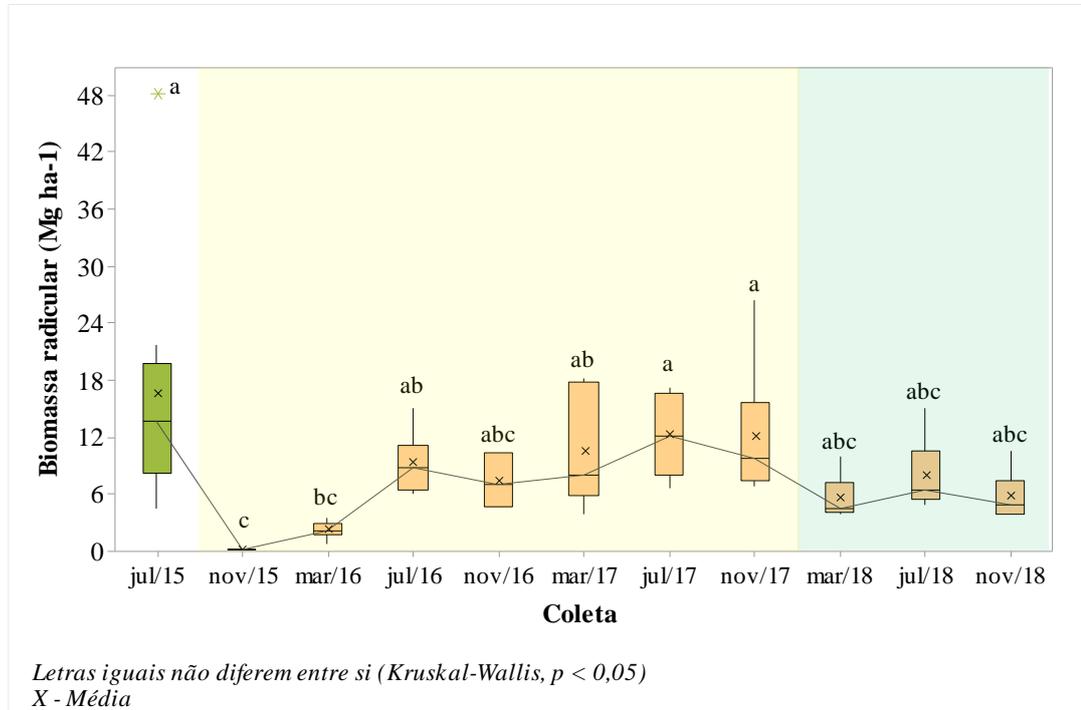
Coleta	Nº de núcleos	Biomassa total (Mg ha <sup>-1</sup> )		CV (%)
		Média	Desv. Pad.	
<b>Jul/2015</b>	10	16,46	12,47	75,8
<b>Nov/2015</b>	6	0,00	0,00	0,0
<b>Mar/2016</b>	6	2,11	0,87	41,5
<b>Jul/2016</b>	6	9,12	3,21	35,2
<b>Nov/2016</b>	6	7,33	2,58	35,2
<b>Mar/2017</b>	6	10,32	6,09	59,0
<b>Jul/2017</b>	6	12,12	4,45	36,7
<b>Nov/2017</b>	6	11,99	7,36	61,3
<b>Mar/2018</b>	6	5,52	2,31	41,8
<b>Jul/2018</b>	6	7,84	3,81	48,7
<b>Nov/2018</b>	6	5,71	2,57	44,9

Fonte: elaborada pelo autor.

A vegetação desse estudo, após 31 anos (2015) em processo de regeneração se apresentou heterogênea tanto em composição de espécies quanto em estágio de desenvolvimento das plantas (Feitosa, 2017). Tomando-se por base o elevado CV observado na amostra controle (Tabela 2) pode-se inferir que essa heterogeneidade reflete no sistema radicular de toda a vegetação. As coletas seguintes à instalação também apresentaram valores de CV altos, o que pode ser atribuído à alta variabilidade espacial nas características do solo e vegetação, no entanto, foram sempre inferiores à testemunha. Essa observação sugere que a resposta das espécies na regeneração das raízes após a perturbação é similar, embora que com o avançar dos anos diferentes espécies apresentem diferentes dinâmicas radiculares e assim um elevado CV como o da testemunha.

Na 1ª amostragem após a instalação do experimento não se obteve biomassa radicular (Figura 10), além disso, verificou-se que o solo ainda se apresentava desestruturado devido a ação de peneiramento durante a instalação. As raízes, entre outras funções, atuam na agregação do solo (BARDGETT; MOMMER; DE VRIES, 2014; ERKTAN; MCCORMACK; ROUMET, 2018) e sua ausência na coleta de nov/2015 confirmam essa argumentação. Já na segunda coleta (mar/2016), primeira após eventos de precipitação, 2 dos 6 núcleos apresentavam solo estruturado, com formação de agregados contendo raízes (Figura 11). Nessa coleta foi encontrada uma biomassa média de 2,11 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 2), valor correspondente a 13% da biomassa da testemunha.

Figura 10 – Evolução temporal da biomassa radicular total no período de jul/2015 a nov/2018, na FTS Caatinga, Pentecoste/CE. Cada *box plot* representa a biomassa total medida nos 6 núcleos/coleta, exceto a testemunha (jul/15) em que o *box plot* representa 10 núcleos.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 11 – Bloco de solo e raízes encontrado na camada 0-10 cm do núcleo 002, na coleta de mar/2016.



Fonte: elaborada pelo autor.

A biomassa computada em jul/2016 foi de  $9,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sendo essa coleta a primeira a não apresentar diferença estatística com a testemunha (Figura 10). De acordo com os resultados, em apenas um ano a produção de biomassa radicular correspondeu a 55% da biomassa encontrada em jul/2015 (Tabela 2), entretanto, como não foi realizada neste estudo investigação sobre o *turnover* radicular, não é possível afirmar que a produção de biomassa

em 12 meses tenha sido de 9,12 Mg ha<sup>-1</sup>, haja vista que a dinâmica de produção e morte das raízes é intensa nas florestas tropicais (GILL; JACKSON, 2000). O *turnover* é definido como “o número de vezes que uma população de raízes é substituída durante um dado período de tempo e pode reunir informações sobre a produção, biomassa acumulada e vida útil das raízes” (SMITHWICK *et al.*, 2014). O período, para fins de estudo, geralmente corresponde a um ano.

Na coleta de nov/2016 foi verificado uma redução, apesar de não significativa, de quase 20% na biomassa em relação a coleta anterior (Figura 10). Este resultado está de acordo com o encontrado por outros trabalhos em FTS que identificaram uma redução da biomassa na estação seca, principalmente das raízes finas (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016; JANOS; SCOTT; BOWMAN, 2008). Esse decréscimo na biomassa de raízes finas mostra-se como uma estratégia para reduzir o gasto energético das plantas no período seco (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016), bem como um indicador de adição de matéria orgânica ao solo. Por outro lado, entende-se que a maior produtividade das mesmas no período chuvoso seria uma forma de “compensar” as condições de déficit de água e possibilitar o crescimento radicular maximizando-o durante os períodos de disponibilidade hídrica no solo (METCALFE *et al.*, 2008).

Os resultados da correlação entre a biomassa amostrada em cada coleta e a precipitação acumulada nos meses anteriores ajudam a explicar a dinâmica temporal da biomassa radicular. Foi verificado que o total acumulado a partir de 3 meses antes de uma coleta tem influência positiva e significativa na biomassa encontrada na mesma (Tabela 3). Tal fato expressa a necessidade de um período mínimo de chuva (três meses) para as raízes responderem significativamente ao total precipitado, evidenciando a importância da distribuição temporal da chuva sobre a produção de raízes em FTS.

Tabela 3 – Correlação de Spearman entre a biomassa radicular total e a precipitação acumulada nos meses anteriores a cada coleta entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga.

Variáveis climáticas	Biomassa radicular total (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Spearman	Sig.
PA1m	0,140	0,246 <sup>ns</sup>
PA2m	0,019	0,878 <sup>ns</sup>
PA3m	0,329	0,005 <sup>**</sup>
PA4m	0,378	0,001 <sup>**</sup>
PA5m	0,384	0,001 <sup>**</sup>

PA1m, PA2m, PA3m, PA4m e PA5m – Precipitação acumulada 1 mês, 2 meses, 3 meses, 4 meses e 5 meses antes de cada coleta, respectivamente.

Fonte: elaborada pelo autor.

Estes resultados explicam a ausência de biomassa na coleta de nov/2015, haja vista que a precipitação acumulada nos 3 meses anteriores foi nula, bem como justificam o valor encontrado em mar/2016, em resposta aos 240,5 mm acumulados entre dez/2015 e fev/2016. Em FTS a influência da precipitação sobre a produção de biomassa radicular é notável mesmo em um curto intervalo de tempo (JANOS; SCOTT; BOWMAN, 2008; PANDEY; SINGH, 1992; PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016).

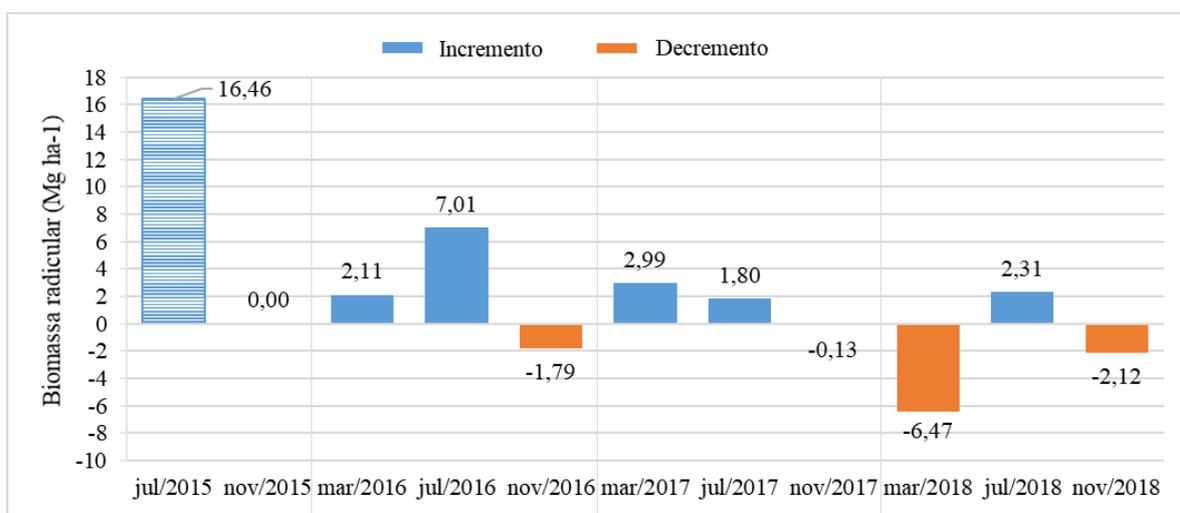
Ainda com relação a influência da precipitação acumulada na biomassa, o incremento observado de mar/2016 a jul/2016 e a redução de jul/2016 para nov/2016 se mostram ligados ao crescimento da curva de acumulação para o primeiro intervalo e a ausência de precipitação no segundo, respectivamente. Janos, Scott e Bowman (2008) também observaram que a produtividade de raízes aumentou junto com a acumulação da precipitação, e o início da estação seca registrou uma queda acentuada na quantidade de raízes.

A disponibilidade hídrica é descrita como um dos fatores governantes na dinâmica de desenvolvimento radicular (GREEN *et al.*, 2005; JANOS; SCOTT; BOWMAN, 2008; PANDEY; SINGH, 1992). Ademais, nas FTS a sazonalidade desse recurso é naturalmente limitante (MAASS; BURGOS, 2011; POWERS *et al.*, 2018), sendo inclusive apontada como uma “força ecológica dominante” à qual os padrões de atividade da fauna e flora se tornam sincronizados (MURPHY; LUGO, 1986). Portanto, estudos como este são cada vez mais importantes na tentativa de compreender o potencial atual e futuro destas florestas, em especial a Caatinga, frente às mudanças globais, principalmente com relação às alterações no regime pluviométrico regional. Segundo o estudo de Allen *et al.* (2017), as florestas tropicais sazonalmente secas, apesar de já serem adaptadas às condições de secas previsíveis, serão sensíveis às alterações no regime pluviométrico em decorrência das mudanças globais.

Numa visão geral, a dinâmica da biomassa no primeiro ano de estudo (2016) pode ser traduzida em uma curva em forma de V invertido (Figura 10), com o aumento da biomassa de mar/2016 para jul/2016, seguido da redução de jul/2016 para nov/2016. Esse mesmo comportamento se repete nos anos seguintes e acompanha a sazonalidade intra-anual da precipitação.

O resultado dessa conformação em V invertido é que todos os anos apresentam uma fase de incremento na biomassa (mar-jul), seguida de um decréscimo (jul-nov) (Figura 12). Este decréscimo, sendo provavelmente resultado da morte e decomposição do tecido radicular, é responsável por aportar matéria orgânica morta (M.O.) ao solo, e consequentemente carbono e nitrogênio (AQUINO *et al.*, 2017).

Figura 12 – Balanço da produtividade radicular entre as coletas de 2015 a 2018. O valor de jul/2015 não faz parte do balanço, serve apenas para comparação.



Fonte: elaborada pelo autor.

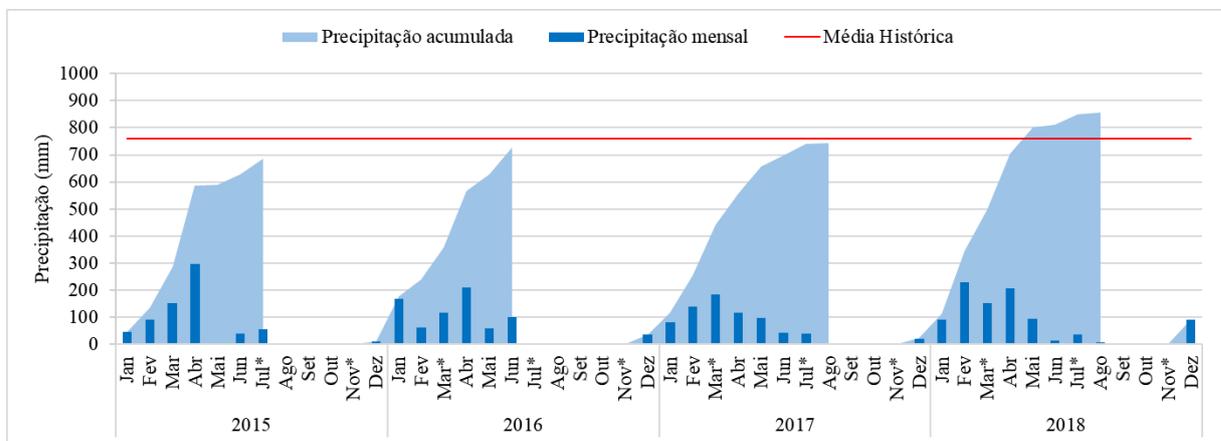
Assim, nos 3 anos após a instalação (2016, 2017 e 2018) verificou-se o aporte de M.O. no período anteriormente especificado (jul-nov), tendo sido o maior observado em 2018 e o menor em 2017 (Figura 12). Essa redução intra-anual na biomassa está associada a queda natural da disponibilidade hídrica em decorrência do fim da quadra chuvosa. Desde o início do estudo até o momento, a soma dos incrementos mostra que a vegetação produziu no mínimo (não se sabe quanto de raízes morreram durante os pulsos de crescimento) 16,22 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa radicular, enquanto a soma dos decrementos releva um aporte de 10,51 Mg ha<sup>-1</sup> de M.O. ao solo.

Era esperado também que a tendência de incremento na biomassa observada entre 2016 e 2017 continuasse em 2018, o que não ocorreu (Figuras 10 e 12). O resultado foi uma queda de 54% na biomassa, representando um aporte total de 6,47 Mg ha<sup>-1</sup> de M.O. (Figura 12). Os dois primeiros anos de estudo (2016 e 2017) apontam que a dinâmica radicular apresentou tendência a se estabilizar, ou a apresentar incrementos e decrementos cada vez menores (Figura 10); no entanto, entre o fim de 2017 e início de 2018, ocorreu uma expressiva redução (54%) decorrente, seja de processos endógenos da vegetação, seja de fatores edafoclimáticos (Figura 12). Tal comportamento aponta que estudos da dinâmica de raízes (turnover, aporte de matéria orgânica, fixação de biomassa) em FTS devem ser realizados em investigações de longa duração e não de um ou dois anos.

Com relação à possível influência do primeiro fator climático aqui abordado, a precipitação, nesse resultado, tem-se que o ano de 2018 apresentou, dentre todos, o maior total precipitado na quadra chuvosa (PQC), bem como a maior precipitação total anual (PTA)

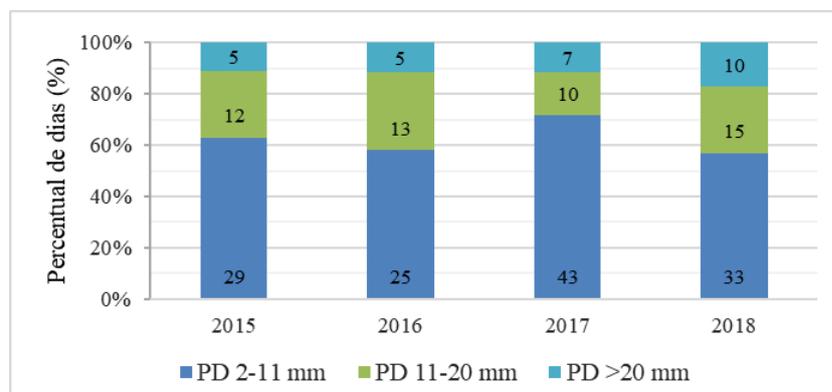
(Figura 13). Além disso, apresentou o maior percentual de dias com precipitações superiores a 20 mm (PD >20 mm) durante a quadra chuvosa (Figura 14). Este ano foi ainda o primeiro a ultrapassar a média histórica da precipitação anual (Figura 13). Apesar disso, foi demonstrado que é a precipitação acumulada nos meses anteriores a coleta que realmente influencia a biomassa produzida, e, considerando que a redução ocorreu entre o fim de 2017 e o início de 2018, é provável que ela seja resultado da distribuição das chuvas no ano de 2017 e não de 2018.

Figura 13 – Precipitação mensal e acumulada entre 2015 e 2018, medidas na FEVC, Pentecoste/CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 14 – Percentual de dias, durante a quadra chuvosa, com precipitações nas classes PD 2-11 mm, PD 11-20 mm e PD >20 mm, de 2015 a 2018. Os números dentro das barras indicam a contagem de dias em cada classe.

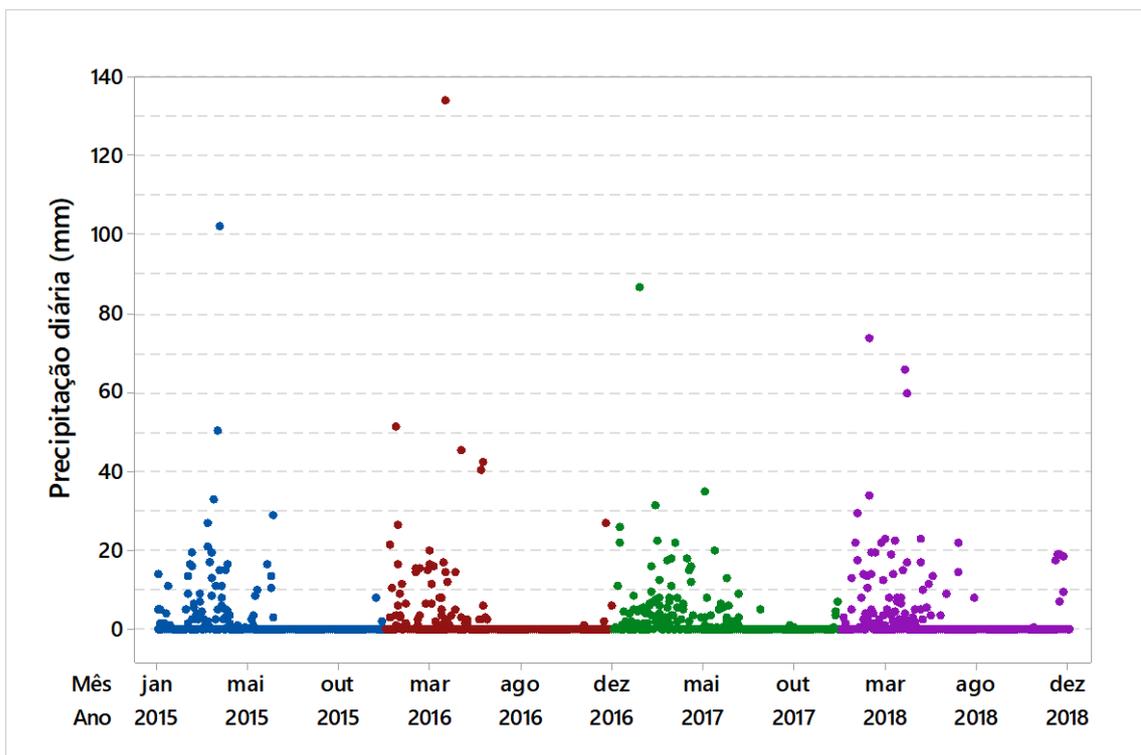


PD 2-11 mm, PD 11-20 mm e PD >20 mm – Dias com precipitações entre 2,0 e 11,0 mm; entre 11,0 e 20,0 mm; e acima de 20,0 mm, respectivamente.

Fonte: elaborada pelo autor.

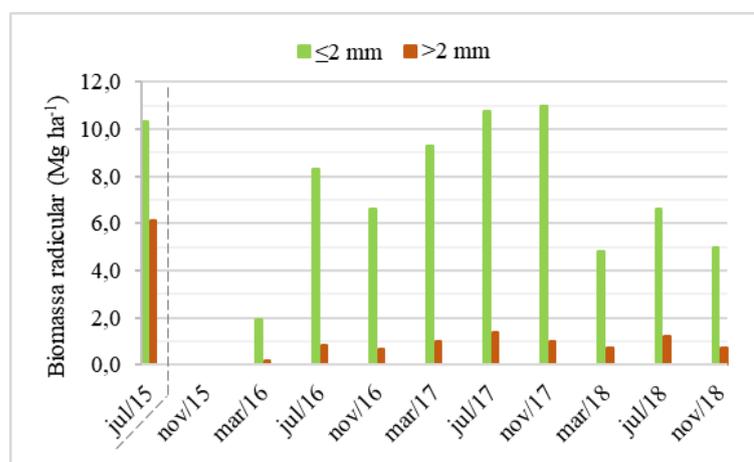
Então, partindo para uma abordagem do que aconteceu no ano anterior à esta expressiva redução (2017) verifica-se que tanto a PTA quanto a PQC foram inferiores a 2018 (Figura 13). Porém, 2017 apresentou o maior percentual de dias com precipitações de baixa intensidade (PD 2-11 mm) durante a quadra chuvosa (Figura 14). Aparentemente, a maior quantidade de pequenas chuvas e a ocorrência destas por um maior período no ano de 2017 (como se observa pela densidade e largura da nuvem de pontos abaixo da linha dos 10 mm na Figura 15), além de uma quadra chuvosa estendida (8 meses), induziu a vegetação a prolongar a produção de raízes finas nesse ano, tendo provocado assim um retardo na fase de redução da biomassa que era esperada para o período jul/2017-nov/2017, mas só ocorreu entre as coletas nov/2017-mar/2018 (Figura 16). Pereira Júnior *et al.* (2016) também verificaram que uma estação chuvosa prolongada favoreceu o incremento na biomassa de raízes finas em uma área de Caatinga.

Figura 15 – Distribuição das chuvas diárias durante o ano, de 2015 a 2018.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 16 – Variação temporal da biomassa de raízes finas e grossas entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga.



A linha tracejada separa a coleta testemunha.

Fonte: elaborada pelo autor.

É notável que nos dois primeiros anos (2016 e 2017) a biomassa de raízes finas aumentou de forma acentuada (Figura 16). Este comportamento pode ser uma resposta da vegetação ao estresse causado pela implantação dos núcleos. A remoção das raízes para iniciar o experimento ocasionou redução no sistema de captação e transporte de água e nutrientes das plantas, e para compensar tal perda a vegetação investiu rapidamente e de maneira abundante na produção de raízes finas nesse período inicial de 2 anos. Assim, a redução considerável na biomassa em 2018 pode significar que esse período foi suficiente para as plantas “compensarem” a injúria sofrida no sistema de captação, e devem a partir de agora investir no aumento do diâmetro radicular para recompor, por sua vez, o sistema de transporte de água e nutrientes, ou seja, as raízes grossas.

Já com relação à segunda variável climática, a temperatura, apenas a TMínM apresentou correlação significativa com a biomassa radicular total, sendo esta negativa (Tabela 4). Entretanto, aponta-se que este resultado seja apenas uma coincidência, já que o menor valor anual da temperatura mínima ocorre justamente quando a precipitação acumulada é máxima, ou seja, nos meses de junho e julho. Assim sendo, é incipiente afirmar que a TMínM tenha alguma influência direta na dinâmica da biomassa radicular.

Tabela 4 – Correlação de Spearman entre a biomassa radicular total em cada coleta e a média mensal das temperaturas mínima (TMínM), máxima (TMáxM) e média (TMéd), medidas na FEVC, Pentecoste/CE.

Variáveis climáticas	Biomassa radicular total (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Spearman	Sig.
<b>TMínM</b>	-0,428	0,000 <sup>**</sup>
<b>TMáxM</b>	-0,027	0,827 <sup>ns</sup>
<b>TMéd</b>	-0,091	0,454 <sup>ns</sup>

Fonte: elaborada pelo autor.

Por outro lado, segundo Gill e Jackson (2000), a temperatura do ar e do solo mostram-se fortemente correlacionadas nas regiões onde a vegetação apresenta baixa área foliar, a exemplo da vegetação de Caatinga. Logo, é provável que a temperatura do ar tenha influência na atividade da biota edáfica. O aumento das temperaturas mínimas do solo estimula o crescimento de populações de herbívoros e patógenos que atacam as raízes, o que afeta diretamente a dinâmica de produção e decomposição das raízes (GILL; JACKSON, 2000). Isso torna-se particularmente interessante quando consideramos que um dos principais efeitos do aquecimento global é o aumento das temperaturas mínimas médias (EASTERLING *et al.*, 1997; KARL *et al.*, 1991; MEEHL *et al.*, 2007).

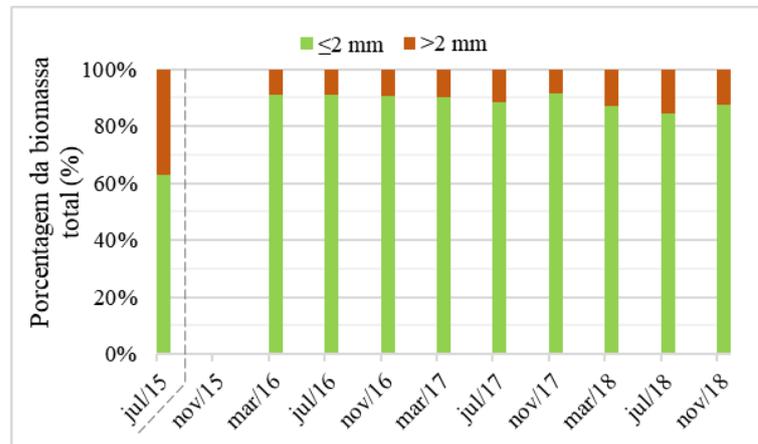
Com base dos resultados obtidos até o momento é precipitado fazer afirmações, logo, especula-se 3 possíveis explicações sobre a causa da redução na biomassa encontrada em 2018 em relação a tendência observada nos anos anteriores, sendo elas: <sup>1</sup>a “percepção” por parte da vegetação de que as perdas causadas pelo corte das raízes foram compensadas após 2 anos; ou <sup>2</sup>por mecanismos que identifiquem a maior disponibilidade e distribuição temporal de água, e, portanto, a menor necessidade em investir na produção de um amplo sistema de exploração radicular; ou ainda, <sup>3</sup>a possibilidade de que a FTS Caatinga apresente pulsos de produtividade radicular com duração de aproximadamente 2 anos. É provável, ainda, que estes mecanismos não sejam mutuamente excludentes. Os resultados dos anos de estudos seguintes poderão confirmar uma destas hipóteses, ou fundamentar a formulação de novas.

Dito isto, tendo em vista que não é possível fazer o levantamento da dinâmica da biomassa radicular em toda a área de uma floresta, ainda menos em todas as formações vegetais do planeta, estudos como este são fortemente encorajados por fornecer informações para a construção de modelos ambientais (SMITHWICK *et al.*, 2014).

#### 4.2 Dinâmica temporal da biomassa de raízes finas ( $\leq 2$ mm) e grossas ( $>2$ mm)

Cerca de 37% da biomassa na coleta testemunha correspondia a raízes grossas (Figura 17), tendo sido encontrada inclusive raiz com diâmetro maior que 10 mm (Figura 18). Considerando que a testemunha representa o sistema radicular de uma floresta em regeneração há 31 anos, uma proporção considerável de raízes grossas é esperada, haja vista que estas são as responsáveis pela sustentação da planta e distribuição da água e nutrientes absorvidos pelas raízes finas (GONÇALVES; MELLO, 2000).

Figura 17 – Contribuição percentual de raízes finas e grossas na biomassa radicular total nas coletas entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga.



A linha tracejada separa a coleta testemunha.

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 18 – Raízes da camada 0-10 cm do núcleo 137, coletado em jul/2015.



Fonte: elaborada pelo autor.

Nas coletas subsequentes, as raízes finas passaram a responder por mais de 80% da biomassa total (Figura 17). É provável que este comportamento represente uma estratégia da vegetação para aumentar a rede de captação de água e nutrientes logo após um estresse mecânico como o corte. Ademais, segundo Blair e Perfecto (2001) existem três mecanismos pelos quais as plantas vão em busca de nutrientes: (i) pelo aumento da quantidade de raízes por unidade de volume de solo, (ii) pelo aumento da proporção de raízes finas, e (iii) pelo aumento da taxa de renovação radicular. Estes três mecanismos parecem ocorrer nesta FTS (AQUINO *et al.*, 2017).

As raízes finas são o componente vegetal de maior dinâmica abaixo da superfície do solo (MCCORMACK *et al.*, 2017), e considerando que sua constante produção, morte e decomposição são apontadas como uma importante via de aporte de carbono ao solo (BRUNNER *et al.*, 2013), os resultados aqui demonstrados revelam que a vegetação da FTS Caatinga apresenta grande potencial de contribuição nesse processo.

Com o passar do tempo, percebe-se um aumento das raízes grossas na biomassa total (Figura 17), com destaque para a coleta de jul/2018 (3 anos de observação) em que essa contribuição foi de 15,7%, a maior até o momento. Isso corrobora a afirmação anterior de que a vegetação passou a investir na recomposição do sistema de transporte de água e nutrientes (raízes grossas) a partir de 2018. À medida que aumenta o diâmetro e a densidade do tecido das raízes aumenta também sua longevidade, e em contrapartida diminui sua capacidade de absorver nutrientes (GILL; JACKSON, 2000; PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013). Além disso, o aumento na densidade do tecido radicular apresenta-se positivamente correlacionado com a resistência aos estresses, como a seca, e ao ataque de patógenos (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013). Acredita-se que essa maior participação das raízes grossas no total continue crescendo, caso não haja nenhuma outra intervenção no sistema radicular e/ou vegetação toda, até aproximar-se dos valores encontrados na testemunha.

Assim como verificado para a biomassa total, tanto a biomassa de raízes finas quanto de grossas foi positivamente correlacionada com a precipitação acumulada a partir de 3 meses anteriores a cada coleta (Tabela 5).

Tabela 5 – Correlação de Spearman entre a biomassa de raízes finas e grossas e a precipitação acumulada nos meses anteriores a cada coleta entre jul/2015 e nov/2018, na FTS Caatinga.

Variáveis climáticas	Biomassa radicular (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	Raízes finas		Raízes grossas	
	Spearman	Sig.	Spearman	Sig.
PA1m	0,153	0,206 <sup>ns</sup>	0,112	0,354 <sup>ns</sup>
PA2m	0,036	0,769 <sup>ns</sup>	0,021	0,865 <sup>ns</sup>
PA3m	0,286	0,016 <sup>*</sup>	0,391	0,001 <sup>**</sup>
PA4m	0,301	0,011 <sup>*</sup>	0,470	0,000 <sup>**</sup>
PA5m	0,317	0,008 <sup>**</sup>	0,501	0,000 <sup>**</sup>

Fonte: elaborada pelo autor.

## 5 CONCLUSÕES PRELIMINARES

Considerando que este trabalho traz os resultados dos primeiros 3 anos de estudo, não é prudente nem possível obter conclusões definitivas. Entretanto, a partir destes resultados é claramente perceptível que as investigações de curto prazo, como muitas encontradas na literatura, não podem representar com exatidão a dinâmica radicular das FTS.

A vegetação da FTS Caatinga responde melhor a distribuição da precipitação do que ao total precipitado anualmente, sendo que a biomassa radicular se mostrou significativamente sensível a sazonalidade da precipitação, com incrementos na quadra chuvosa, e decrementos na estação seca. Apesar de se tratar de uma floresta tropical seca, a produção radicular na Caatinga ocorreu mesmo em anos abaixo da média pluviométrica. Além disso, a Caatinga se mostrou resiliente a perturbações no sistema radicular, investindo rapidamente na produção de raízes quando em condições ideais de disponibilidade hídrica.

Os resultados iniciais mostram que a vegetação necessita de um período mínimo de chuvas acumuladas (3 meses) para responder de forma significativa no incremento da biomassa radicular.

A temperatura do ar, seja a média, máxima ou mínima, não tem influência direta aparente na dinâmica temporal da biomassa radicular. Dados da temperatura do solo podem fornecer resultados diferentes, assim, sugere-se que estudos futuros na Caatinga busquem adicionar tais informações. O mesmo vale para medições diretas da umidade do solo.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMOFF, R. Z.; FINZI, A. C. Are above- and below-ground phenology in sync?. **New Phytologist**, v. 205, n. 3, p. 1054-1061, 2015.
- AB'SABER, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, n. 43, p. 1-39, 1974.
- ADDO-DANSO, S. D.; PRESCOTT, C. E.; SMITH, A. R. Methods for estimating root biomass and production in forest and woodland ecosystem carbon studies: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 332-351, 2016.
- ALLEN, K. *et al.* Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes?. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 2, 2017.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Water as capital and its uses in the Caatinga. *In*: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Cham, Switzerland: Springer, 2017. p. 281-302.
- ANDREASSON, F. *et al.* Comparison of ingrowth cores and ingrowth meshes in root studies: 3 years of data on *Pinus pinaster* and its understory. **Trees**, v. 30, n. 2, p. 555-570, 2015.
- APGAUA, D. M. G. *et al.* Floristic variation within seasonally dry tropical forests of the Caatinga Biogeographic Domain, Brazil, and its conservation implications. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 33-44, 2015.
- AQUINO, D. N. **Ciclagem de carbono e caracterização espectral em áreas de caatinga raleada e conservada**. 2015. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- AQUINO, D. N. *et al.* Nutrient cycling and CO<sub>2</sub> emissions in areas of preserved and thinned caatinga. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, 2017.
- BARDGETT, R. D.; MOMMER, L.; DE VRIES, F. T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, n. 12, p. 692-699, 2014.
- BLACKIE, R. *et al.* **As florestas tropicais secas: O estado de conhecimento global e recomendações para futuras pesquisas**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2014.
- BLAIR, B. C.; PERFECTO, I. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan rain forest. **Biotropica**, v. 33, n. 4, p. 697-701, 2001.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Roma: Food and Agriculture Organization (FAO), 1997. (Forest Resources Assessment Forestry

Paper, 134).

BRUNNER, I. *et al.* Fine-root turnover rates of European forests revisited: an analysis of data from sequential coring and ingrowth cores. **Plant and Soil**, v. 362, n. 1-2, p. 357-372, 2013.

CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estudo comparativo da estrutura fitossociológica de dois fragmentos de Caatinga em níveis diferentes de conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 345-355, 2014.

COSTA, T. L. *et al.* Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and soil**, v. 378, n. 1-2, p. 113-123, 2014.

CUNNINGHAM, A. B. *et al.* **Sustainable trade and management of forest products and services in the COMESA region**: an issue paper. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008.

DEXTER, K. G. *et al.* Floristics and biogeography of vegetation in seasonally dry tropical regions. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 10-32, 2015.

DJOUDI, H. *et al.* Dry forests, livelihoods and poverty alleviation: understanding current trends. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 54-69, 2015.

EASTERLING, D. R. *et al.* Maximum and minimum temperature trends for the globe. **Science**, v. 277, n. 5324, p. 364-367, 1997.

ERKTAN, A.; MCCORMACK, M. L.; ROUMET, C. Frontiers in root ecology: recent advances and future challenges. **Plant and Soil**, v. 424, n. 1-2, p. 1-9, 2018.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cell. Mol. Life Sci.**, v. 72, n. 4, p. 673-689, 2015.

FEITOSA, R. C. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do brasil**: uma comparação entre dois usos do solo. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 70, n. 4, p. 51-56, out. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment 2000**: Final report. Rome, 2001. (Forest Resources Assessment Working Paper, 56). Disponível em:  
<<http://www.fao.org/3/ad652e/ad652e00.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

\_\_\_\_\_. **Global Ecological Zones for FAO Forest Reporting**: 2010 Update. Rome, 2012. (Forest Resources Assessment Working Paper, 179). Disponível em:  
<<http://www.fao.org/3/ap861e/ap861e00.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

FRESCHET, G. T. *et al.* Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 5, p. 1182-1196, 2017.

GILL, R. A.; JACKSON, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v. 147, n. 1, p. 13-31, 2000.

GILLESPIE, T. W. *et al.* The rarest and least protected forests in biodiversity hotspots. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 14, p. 3597-3611, 2012.

GIULIETTI, A. M. *et al.* Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C. *et al.* (Orgs.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Recife, PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 47-90.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 221-267.

GONGALSKY, K. B.; PERSSON, T.; POKARZHEVSKII, A. D. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test. **Applied Soil Ecology**, v. 39, n. 1, p. 84-90, 2008.

GONZÁLEZ, G.; SEASTEDT, T. R. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. **Ecology**, v. 82, n. 4, p. 955-964, 2001.

GREEN, J. J. *et al.* Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. **Plant and Soil**, v. 276, n. 1-2, p. 23-32, 2005.

HAUFF, S. N. **Representatividade do Sistema Nacional de Unidades de Conservação na Caatinga**. Brasília: Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento, set. 2010.

HENDRICKS, J. J. *et al.* Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 1, p. 40-57, 2006.

HIGA, R. C. V. *et al.* **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, nov. 2014. (Documentos/Embrapa Florestas, 266).

HOLDRIDGE, L. R. *et al.* **Life zone ecology**. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967. 206 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Biomass do Brasil: primeira aproximação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <[https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 13 mar. 2019.

IVERSEN, C. M. *et al.* A global Fine-Root Ecology Database to address below-ground challenges in plant ecology. **New Phytologist**, v. 215, n. 1, p. 15-26, 2017.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E.-D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 94, n. 14, p. 7362-7366, 1997.

JANOS, D. P.; SCOTT, J.; BOWMAN, D. M. J. S. Temporal and spatial variation of fine roots in a northern Australian *Eucalyptus tetrodonta* savanna. **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, n. 2, p. 177-188, 2008.

JANZEN, D. H. Tropical dry forest: the most endangered major tropical ecosystem. *In*: WILSON, E. O. (Ed.). **Biodiversity**. Washington, US: National Academy Press, 1988. p. 130-137.

KARL, T. R. *et al.* Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change. **Geophysical Research Letters**, v. 18, n. 12, p. 2253-2256, 1991.

KAVANAGH, T.; KELLMAN, M. Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. **Biotropica**, v. 24, n. 2, p. 157-165, 1992.

KUMMEROW, J. *et al.* Production of fine roots and the seasonality of their growth in a Mexican deciduous dry forest. **Vegetatio**, v. 90, n. 1, p. 73-80, 1990.

LIMA, T. T. S.; MIRANDA, I. S.; VASCONCELOS, S. S. Effects of water and nutrient availability on fine root growth in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. **New Phytologist**, v. 187, n. 3, p. 622-630, 2010.

\_\_\_\_\_. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 95-104, 2012.

LIN, G.; ZENG, D.-H. Heterogeneity in decomposition rates and annual litter inputs within fine-root architecture of tree species: implications for forest soil carbon accumulation. **Forest ecology and management**, v. 389, p. 386-394, 2017.

LUKAC, M. Fine Root Turnover. *In*: MANCUSO, S. (Ed.). **Measuring roots: an updated approach**. New York: Springer Science & Business Media, 2011. p. 363-373.

MAASS, M.; BURGOS, A. Water dynamics at the ecosystem level in Seasonally Dry Tropical Forests. *In*: DIRZO, R. *et al.* (Eds.). **Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation**. Washington, DC: Island Press, 2011. p. 141-156.

MAKKONEN, K.; HELMISAARI, H.-S. Assessing fine-root biomass and production in a Scots pine stand—comparison of soil core and root ingrowth core methods. **Plant and soil**, v. 210, n. 1, p. 43-50, 1999.

MCCORMACK, M. L. *et al.* Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. **New Phytologist**, v. 207, n. 3, p. 505-518, 2015.

MCCORMACK, M. Luke *et al.* Building a better foundation: improving root-trait measurements to understand and model plant and ecosystem processes. **New Phytologist**, v. 215, n. 1, p. 27-37, 2017.

MCGRODDY, M.; SILVER, W. L. Variations in Belowground Carbon Storage and Soil CO<sub>2</sub> Flux Rates along a Wet Tropical Climate Gradient. **Biotropica**, v. 32, n. 4a, p. 614-624, 2000.

- MEEHL, G. A. *et al.* Global climate projections. *In: SOLOMON, S. et al.* (Eds.). **Climate Change 2007: the physical science basis**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 747-846.
- METCALFE, D. B. *et al.* The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 311, n. 1-2, p. 189-199, 2008.
- MILES, L. *et al.* A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 491-505, 2006.
- MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Ann. Rev. Ecol. Syst.**, v. 17, n. 1, p. 67-88, 1986.
- NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 3-51, 1972.
- PANDEY, C. B.; SINGH, J. S. Influence of rainfall and grazing on belowground biomass dynamics in a dry tropical savanna. **Canadian Journal of Botany**, v. 70, n. 9, p. 1885-1890, 1992.
- 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.
- 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.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 61, n. 3, p. 167-234, 2013.
- PERSSON, H. Å. Fine-root production, mortality and decomposition in forest ecosystems. **Vegetatio**, v. 41, n. 2, p. 101-109, 1980.
- PERSSON, H. Å. The distribution and productivity of fine roots in boreal forests. **Plant and Soil**, v. 71, n. 1-3, p. 87-101, 1983.
- POORTER, H. *et al.* Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2012.
- PORTILLO-QUINTERO, C. *et al.* The role of tropical dry forests for biodiversity, carbon and water conservation in the neotropics: lessons learned and opportunities for its sustainable management. **Regional Environmental Change**, v. 15, n. 6, p. 1039-1049, 2015.
- POWERS, J. S. *et al.* Focus on tropical dry forest ecosystems and ecosystem services in the face of global change. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 9, 2018.
- PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. *In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; DA SILVA, J. M. C.* (Eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 3-73.

PULLA, S. *et al.* Assessing the resilience of global seasonally dry tropical forests. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 91-113, 2015.

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. *In*: GARIGLIO, M. A. *et al.* (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). **Caatinga**: the largest tropical dry forest region in South America. Cham, Switzerland: Springer, 2017. 482 p.

SMITHWICK, E. A. H. *et al.* Improving the representation of roots in terrestrial models. **Ecological Modelling**, v. 291, p. 193-204, 2014.

SUNDERLAND, T. *et al.* Global dry forests: a prologue. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 1-9, 2015.

TANIMOTO, E Regulation of root growth by plant hormones - roles for auxin and gibberellin. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, n. 4, p. 249-265, 2005.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. **Plant and Soil**, v. 200, n. 1, p. 71-89, 1998.

WALL, D. H. *et al.* Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. **Global Change Biology**, v. 14, n. 11, p. 2661-2677, 2008.

ZHANG, X.; WANG, W. The decomposition of fine and coarse roots: their global patterns and controlling factors. **Scientific reports**, v. 5, n. 9940, 2015.