



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO**  
**AMBIENTE**

**AMANDA FREIRE MARIZ**

**O EFEITO DA AÇÃO DO FOGO SOBRE A COMUNIDADE LENHOSA DA**  
**VEGETAÇÃO DE CAATINGA NO REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE PEDRA DA**  
**ANDORINHA, SOBRAL, CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2024**

AMANDA FREIRE MARIZ

O EFEITO DA AÇÃO DO FOGO SOBRE A COMUNIDADE LENHOSA DA  
VEGETAÇÃO DE CAATINGA NO REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE PEDRA DA  
ANDORINHA, SOBRAL, CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.

FORTALEZA

2024

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

---

M285e Mariz, Amanda Freire.

O efeito da ação do fogo sobre a comunidade lenhosa da vegetação de Caatinga no refúgio de vida silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará / Amanda Freire Mariz. – 2024.  
73 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.

1. Fitossociologia. 2. Incêndios. 3. Semiárido. I. Título.

CDD 333.7

---

AMANDA FREIRE MARIZ

O EFEITO DA AÇÃO DO FOGO SOBRE A COMUNIDADE LENHOSA DA  
VEGETAÇÃO DE CAATINGA NO REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE PEDRA DA  
ANDORINHA, SOBRAL, CEARÁ

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

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

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo Freire Moro (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Marta Celina Linhares Sales  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Alexandre Souza de Paula  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

---

Thomas Robert Meagher  
Duke University

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Rosa Amália Freire Mariz e Marcos Aurélio Mariz, pela educação e apoio durante toda minha jornada. Assim como minha irmã, Vanessa Freire Mariz, pelo suporte dado ao longo de todo meu mestrado.

Ao Prof. Dr. Marcelo Freire Moro pela orientação e auxílio durante todo o processo de produção deste trabalho. Aos professores participantes da banca, Alexandre de Paula, Marta Celina Linhares e Thomas Meagher pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Agradeço também aos colegas de trabalho Mário Sérgio Duarte Branco, Vivian Oliveira Amorim, Samuel Trajano Rabelo e Alexandre Souza de Paula que integram o laboratório BioVeg e que contribuíram para o levantamento de dados em campo.

Aos professores do PRODEMA por suas contribuições para a minha formação ao longo do mestrado. Agradeço de mesmo modo à CAPES pelo apoio financeiro concedido durante o curso de mestrado, o qual foi possível a realização da pesquisa.

## RESUMO

A Caatinga é um domínio fitogeográfico diferenciado no contexto brasileiro. Embora esteja localizada em áreas tropicais, é uma região de clima semiárido, enquanto a maior parte do país possui climas mais úmidos. Devido às chuvas concentradas em poucos meses, o Domínio da Caatinga abriga extensas áreas com vegetação decídua e adaptada à sazonalidade climática. Essa região foi historicamente retratada como um ecossistema pobre em diversidade e de grande pobreza social, porém é uma área que abriga uma ampla biodiversidade de animais e plantas, muitos destes endêmicos da região, assim como uma considerável heterogeneidade florística. Apesar disso, a caatinga vem sofrendo historicamente com vários distúrbios crônicos, como as queimadas, sobrepastoreio e desmatamento, que levaram várias áreas da Caatinga a sofrerem processos extremos de degradação. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito das queimadas no componente arbóreo-arbustivo da Caatinga e com isso buscar compreender os impactos que esse condicionante de origem antrópica gera no ecossistema. Esse estudo foi realizado no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, localizado no município de Sobral, estado do Ceará. No ano de 2018 foram estabelecidas 3 parcelas de 50x50m, dentro das quais foram registradas todas as plantas lenhosas com diâmetro no nível do solo igual ou maior que 3 cm. Em 2020, a reserva sofreu com extensas queimadas antrópicas, a partir de um incêndio que se originou no entorno da área e entrou no interior das parcelas. Com o objetivo de avaliar a ação do fogo sobre a diversidade, estrutura e biomassa da vegetação, realizou-se no ano de 2021, um novo levantamento fitossociológico nas parcelas queimadas. O trabalho inicial, pré- fogo, identificou em 0,75 hectares, 704 indivíduos lenhosos, distribuídos em 21 espécies e 13 famílias. Após a ação do fogo, o levantamento fitossociológico registrou 536 indivíduos, distribuídos em 20 espécies e 12 famílias. As espécies *Cordia oncocalyx* e *Combretum leprosum* tiveram uma maior abundância no levantamento pré epós-fogo apesar do número de indivíduos ter diminuído. Foi verificado que a incidência desse episódio de incêndio levou à redução da densidade e da área basal da comunidade, com a mortalidade de 168 árvores nos 0,75 ha. Os representantes da espécie *Cereus jamacaru*, antes presente em uma das parcelas, morreram devido ao incêndio, reduzindo pouco a riqueza de espécies na área. Houve uma redução de biomassa de 70.664 kg para 56.428 kg nos 0,75 ha após o incêndio, mostrando que a perda considerável de

biomassa na Caatinga por incêndios antrópicos traz prejuízos para a estrutura da vegetação e à biodiversidade.

**Palavras-chave:** fitossociologia; incêndios; semiárido; unidade de conservação.

## ABSTRACT

The Caatinga is a distinct phytogeographic domain in Brazil. Although it is located in tropical areas, it has a semi-arid climate, while most of the country has wetter climates. Due to rainfall concentrated in a few months, the Caatinga Domain is home to extensive areas of deciduous vegetation adapted to the seasonal climate. This region has historically been portrayed as an ecosystem poor in diversity and of great social poverty, but it is an area that is home to a wide biodiversity of animals and plants, many of which are endemic to the region, as well as considerable floristic heterogeneity. Despite this, the caatinga has historically suffered from several chronic disturbances, such as fires, overgrazing and deforestation, which have led several areas of the caatinga to suffer extreme degradation processes. The aim of this study was to analyze the effect of fires on the tree and shrub component of the Caatinga, and thereby seek to understand the impacts that this anthropogenic factor has on the ecosystem. This study was carried out at the Pedra da Andorinha Wildlife Refuge, located in the municipality of Sobral, state of Ceará. In 2018, three 50x50m plots were established, within which all woody plants with a diameter at ground level equal to or greater than 3 cm were recorded. In 2020, the reserve suffered from extensive anthropogenic fires, from a fire that originated in the area's surroundings and entered the plots. In order to assess the effects of fire on the diversity, structure and biomass of the vegetation, a new phytosociological survey was carried out in 2021 on the burnt plots. The initial pre-fire survey identified 704 woody individuals on 0.75 hectares, distributed among 21 species and 13 families. After the fire, the phytosociological survey recorded 536 individuals, distributed among 20 species and 12 families. The species *Cordia oncocalyx* and *Combretum leprosum* were more abundant in the pre- and post-fire surveys, although the number of individuals decreased. It was found that the incidence of this fire episode led to a reduction in the density and basal area of the community, with the mortality of 168 trees on 0.75 ha. Representatives of the species *Cereus jamacaru*, previously present in one of the plots, died as a result of the fire, slightly reducing species richness in the area. There was a reduction in biomass from 70,664 kg to 56,428 kg in the 0.75 ha after the fire, showing that the considerable loss of biomass in the Caatinga due to anthropogenic fires is detrimental to the structure of the vegetation and to biodiversity.

**Keywords:** phytosociology; fires; semiarid; conservation unit.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Mapa com a distribuição espacial dos seis biomas brasileiros, segundo IBGE (2019). 20
- Figura 2- Mapa indicando a distribuição geográfica no Brasil do bioma da Caatinga. 22
- Figura 3- Fitofisionomias registradas do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral-Ceará. A) Representação fotográfica de uma árvore da Caatinga, apresentando características caducifólias, típicas do bioma. B) Registro de três espécies de cactáceas encontradas na Caatinga, representadas pelos *Cereus jamacaru*, *Xiquexique gounellei* e *Tacinga palmadora*. C) Espécie perenifólia da Caatinga *Sarcomphalus joazeiro* (juazeiro), uma exceção, já que a maioria das espécies arbóreas são decíduas. D) Representação do ambiente semiárido inserido no bioma da Caatinga após o período chuvoso, dando espaço a uma vegetação com maior presença de folhas. 23
- Figura 4- Representação paisagística do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, estado do Ceará. A) Retrato das formações rochosas da Caatinga, bastante marcantes na unidade de conservação estudada. B) Fotografia da paisagem durante a estação seca, representando as características marcantes da paisagem no período de baixa pluviosidade. C) Fotografia da paisagem durante a estação chuvosa, representando as características que mais marcam o bioma no período em que a chuva está presente. 26
- Figura 5- Fotografia de uma árvore caducifólia na vegetação de caatinga no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará durante o período seco. 29
- Figura 6- Representação da localização geográfica dos Biomas do Brasil (segundo IBGE 2019) e do estado do Ceará. 30
- Figura 7- Mapa de localização geográfica do estado do Ceará com enfoque à unidade de conservação de Proteção Integral Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, localizada na cidade de Sobral, Ceará. 39
- Figura 8- Representações das paisagens do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará. A) Inselberg Pedra da Andorinha registrado 41

durante o período chuvoso. B) Inselberg registrado na Pedra da Andorinha durante o período seco.

- Figura 9- Representação fotográfica de indivíduos lenhosos que foram medidos durante o levantamento no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, município de Sobral, estado do Ceará. A) Exemplo de como foram feitas as identificações numéricas dos indivíduos em campo. B) Exemplo fotográfico da metodologia da medição do diâmetro do indivíduo lenhoso ainda vivo que foi reamostrado após o incêndio. 43
- Figura 10- Quantidade de espécies por família, amostradas em 0,75 hectares de parcelas fitossociológicas no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, Brasil, no período pré-fogo e pós-fogo. 47
- Figura 11- Quantidade de indivíduos por espécies nos períodos pré-fogo e pós-fogo. 48
- Figura 12- Boxplots dos dados de abundância de indivíduos lenhosos (árvores e arbustos) com diâmetro ao nível do solo  $\geq 3$ cm nas parcelas antes e após o fogo na vegetação de Caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará. 55
- Figura 13- Boxplots dos dados de riqueza das parcelas antes e após o fogo na vegetação de caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, feita através do software past. 56
- Figura 14- Boxplots da área basal das plantas lenhosas nas parcelas antes e após o fogo na vegetação de caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará. 57
- Figura 15- Boxplots dos dados de biomassa das parcelas antes e após o fogo na vegetação de caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, feita através do software past. 58
- Figura 16- Curva de rarefação dos dados obtidos durante a coleta fitossociológica antes do fogo (pré-fogo) (A) e após a área ser atingida por um incêndio (pós-fogo) (B), ambos coletados no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará. 60
- Figura 17- Área total, em hectares, da Caatinga queimada por ano, de 1985 a 2020. Dados acessados através da plataforma MapBiomas Fogo em 2023. 61
- Figura 18- Mapa com os dados de queimadas dos anos 2000 a 2020 adaptadas da plataforma de dados geográficos Mapbiomas (MapBiomas Fogo), para 62

ilustrar os focos de incêndios registrados na região.

Figura 19- Árvore queimada e caída localizada na área que ocorreu o incêndio no 66  
Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, após um  
incêndio.

## **LISTA DE QUADROS**

- Quadro 1- Feições Geomorfológicas do bioma da Caatinga: Depressão Sertaneja, 40  
Inselbergs e Planície Fluvial.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Lista de espécies coletadas nas parcelas fitossociológicas do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará. Hábitos: Árv: Árvore; Arb: Arbusto; Subs: Substrato; Trep: Trepadeira. Domínios fitogeográficos: Caa: Caatinga; Cerr: Cerrado; Ama: Amazônia; Ma: Mata Atlântica; Pan: Pantanal; Pam: Pampas. 49
- Tabela 2- Número de indivíduos de cada espécie coletados no período do pré-fogo e pós-fogo em parcelas fitossociológicas do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, Brasil, demonstrando a quantidade de indivíduos de cada espécie no período pré-fogo e pós-fogo. 52
- Tabela 3- Média e desvio padrão das variáveis abundância (número de indivíduos), riqueza (número de espécies), área basal e biomassa em subparcelas de 10 x 10 metros no levantamento fitossociológico pré e pós-fogo, na vegetação de caatinga da Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, município de Sobral, Ceará, Brasil. 54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMMA	Autarquia Municipal do Meio Ambiente
ASDs	Áreas Suscetíveis à Desertificação
CDB	Convenção sobre a Diversidade Biológica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FTSS	Florestas Tropicais Sazonalmente Secas
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBFLORESTAS	Instituto Brasileiro de Florestas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISPN	Instituto Sociedade, População e Natureza
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MTLFC	Método de Transecto Linear para Fanerófitos e Caméfitos
PI	Proteção Integral
REVIS	Refúgio de Vida Silvestre
SISFOGO	Sistema Nacional de Informações sobre o Fogo
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC's	Unidades de Conservação
US	Uso Sustentável

## LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

$\pi$  Pi

r Raio

p Perímetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	18
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
<b>3.1</b>	<b>Caatinga</b> .....	19
<b>3.2</b>	<b>O contexto cearense</b> .....	29
<b>3.3</b>	<b>Impactos antrópicos sobre a Caatinga</b> .....	31
<b>3.4</b>	<b>Importância da Caatinga</b> .....	33
<b>3.5</b>	<b>Categorias de unidades de conservação</b> .....	33
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	38
<b>4.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	38
<b>4.2</b>	<b>Caracterização da área</b> .....	40
<b>4.3</b>	<b>Levantamento fitossociológico</b> .....	42
<b>4.4</b>	<b>Mapeamento da extensão dos incêndios anuais na Caatinga</b> .....	44
<b>4.5</b>	<b>Análise de dados</b> .....	45
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	46
<b>5.1</b>	<b>Mapeamento dos incêndios e total da área queimada na Caatinga</b> .....	61
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	63
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	68
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas ambientais que têm implicações diretas na conservação da natureza são os focos de incêndio, os quais podem acontecer de maneira natural, assim como por intervenção antrópica, gerando uma ação destruidora sobre a vegetação e causando impactos duradouros no habitat (ALVES, 2021). As queimadas, causadas por diversos motivos, como por exemplo, para fins agrícolas de limpar o solo, já causaram e ainda vêm causando danos consideráveis sobre a biodiversidade, resultando no desaparecimento de animais e plantas, afetando especialmente o solo e intensificando os processos naturais como a erosão e a desertificação (ARAÚJO *et al.*, 2000).

O Brasil tem seu território dividido em seis Domínios Fitogeográficos ao longo de sua extensão, os quais são denominados de biomas pelo IBGE (2019). Os ‘biomas’, sensu IBGE, são utilizados como referência geográfica em políticas públicas ambientais ou para o monitoramento ambiental de desmatamento no país (Brazil 2015), embora outros autores prefiram denominar essas mesmas unidades geográficas de Domínios (Fiaschi; Pirani, 2009; Brazil Flora Group, 2015). O termo bioma pode ser caracterizado como uma entidade biológica de ampla distribuição, mapeável em nível global, e que corresponde à primeira subdivisão da biosfera, onde estão inseridas vastas áreas da superfície terrestre e que agrupam áreas com semelhante funcionamento ecológico e estrutura da vegetação devido aos fatores climáticos (MUCINA, 2018). É um conceito em que estão inclusas as vidas animal e vegetal, sendo determinado por agrupamentos similares de vegetação, com condições de clima e geologia semelhantes, que com o passar dos anos, enfrentaram os mesmos processos de formação da paisagem, resultando, assim, em uma determinada diversidade de fauna e flora (ODUM, 2007).

Apesar de o IBGE (2004; 2019) classificar a Caatinga como um “bioma”, ela em verdade faz parte do bioma das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS). A Caatinga é uma área natural endêmica brasileira, ou seja, é exclusiva do território brasileiro, se estendendo por uma área de 862.818 km<sup>2</sup>, sendo ela a maior área contínua do bioma das FTSS no continente americano (FERNANDES *et al.*, 2018).

Caatinga é um termo derivado da língua tupi, podendo significar “mata branca” ou, possivelmente, originalmente “caatinga”, que significa “mata seca”, devido à aparência da região durante o período seco. Com a perda das folhas pela maioria das plantas e troncos esbranquiçados, o bioma da Caatinga é muitas vezes retratado como um ambiente empobrecido e avassalador, cujas principais características são os solos secos, podendo ser

arenosos ou pedregosos, com frequente presença de plantas da família das cactáceas como o mandacaru (*Cereus jamacaru*) e o xique-xique (*Xiquexique gounellei*) (CARNEIRO *et al.*, 2019).

Um dos problemas ambientais ao qual a Caatinga está constantemente exposta são as queimadas. Os impactos do fogo, assim como o desmatamento, podem tornar o bioma um ambiente mais suscetível aos impactos gerados pelas mudanças climáticas, onde pode haver perda de biodiversidade, perda de biomassa e alterações na estrutura da vegetação e a redução da capacidade de suporte do meio para os usos humanos, tornando os ambientes semiáridos semelhantes aos ambientes áridos e reduzidos em biodiversidade (CAMPELLO, 2007).

A vegetação da Caatinga enfrenta todos os anos a presença de incêndios antrópicos, que trazem grandes prejuízos à flora e à fauna, fora os problemas sociais, econômicos e de infraestrutura física advindos deste problema (ALVES *et al.*, 2021).

Os focos de incêndio têm sido cada vez mais frequentes no Brasil, e a Caatinga também sofre com este problema, haja visto que durante a estação seca pode haver alastramento do fogo devido às altas temperaturas e baixa umidade, impactando diretamente a biodiversidade dos locais atingidos (ALVES *et al.*, 2021). Segundo o INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, as queimadas estão presentes em todos os biomas brasileiros, porém os mais afetados são, respectivamente, são a Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (INPE, 2018).

Segundo Liesenfeld *et al.* (2016), o fogo é utilizado no Brasil como mecanismo de limpeza e preparo do solo antes do plantio, e é uma técnica que muitas vezes é repassada de gerações e gerações das famílias agricultoras, bastante comuns nos municípios rurais. Quando utilizado de maneira indiscriminada e sem acompanhamento, pode trazer danos severos ao solo com a eliminação dos nutrientes além de prejuízos à biodiversidade do local e a poluição do ar (MARQUES, 2014).

De acordo com Maciel (2010), a Caatinga se configura como o terceiro ecossistema mais ameaçado do Brasil, e um dos vetores de impacto são justamente os incêndios. Os impactos que os incêndios geram sobre a estrutura da vegetação e biodiversidade vegetal da Caatinga, no entanto, não são tão documentados na literatura. É nessa perspectiva que se concentra o objetivo do atual trabalho, que propõe analisar os impactos do fogo sobre a diversidade, biomassa e estrutura da vegetação de uma área de Caatinga atingida por um incêndio antrópico e avaliar a extensão dos danos que a ação do fogo impõe sobre a vegetação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

- Documentar os impactos que incêndios geram sobre a diversidade, estrutura e biomassa do componente arbustivo-arbóreo em uma área de Caatinga.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar levantamento fitossociológico em uma área de Caatinga com parcelas fitossociológicas permanentes após um incêndio antrópico;
- Computar a mortalidade dos indivíduos após a ocorrência do incêndio antrópico;
- Analisar a perda de biomassa da vegetação após o incêndio;
- Analisar a riqueza e abundância das espécies após a ação do fogo.

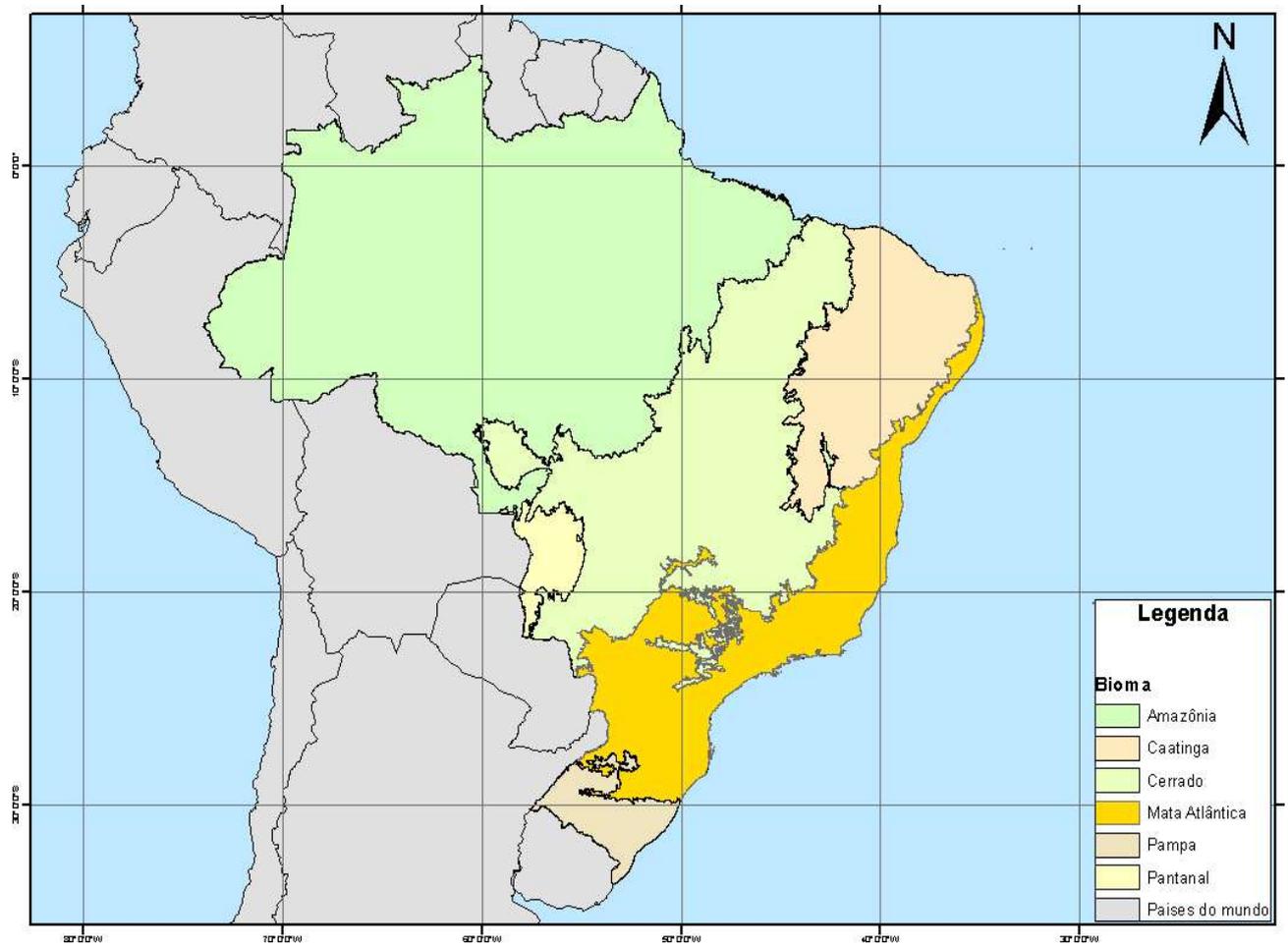
### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Caatinga

O termo bioma remete às características de uma unidade biológica geograficamente extensa, mapeável em escala global, e relativamente uniforme, pertencente a um zonobioma, composto pela fauna, uniformidade fitofisionômica, solo e clima (COUTINHO, 2006). Embora “bioma” seja um termo usado para grandes áreas mapeadas em escala global, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2019), como pode ser observado na Figura 1 logo abaixo, dividiu o Brasil em seis grandes regiões naturais, que ele denominou de “Biomos do Brasil”, embora outros autores se refiram a elas como Domínios Fitogeográficos (FIASCHI *et al.*, 2009; BRAZIL FLORA GROUP, 2015). Assim, segundo o IBGE, o Brasil possui em seu território seis biomas, cada um com características predominantes diferenciadas: Caatinga, Cerrado, Amazônia, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.

Esses biomas são aproximadamente coincidentes com os Domínios de Natureza propostos por Ab’Saber (2003), embora este autor não considere o Pantanal um domínio propriamente dito e considere que a parte mais fria da Mata Atlântica do sul do Brasil, com presença de *Araucaria angustifolia*, seja um domínio separado. Apesar do conceito de domínios de natureza terem se popularizado no Brasil, pela obra de Ab’Saber (2003), o IBGE (2004; 2019) preferiu aplicar o termo bioma, incluindo diferenças nos limites geográficos entre eles.

Figura 1: Mapa com a distribuição espacial dos seis biomas brasileiros, segundo IBGE (2019).



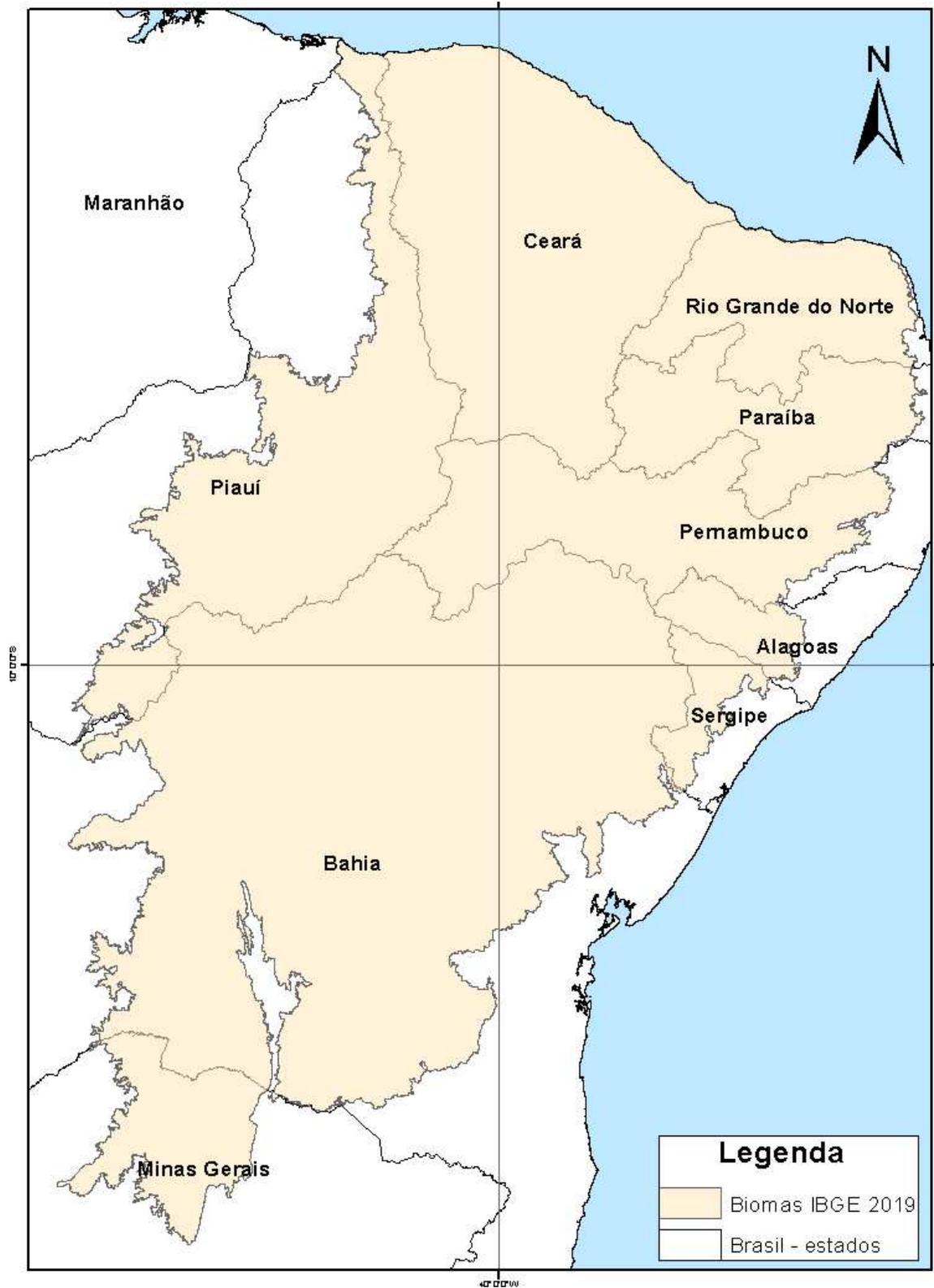
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os espaços geográficos que estão inseridos nos biomas são agrupados em grandes áreas contínuas, de acordo com sua fitofisionomia e macroclima predominantes, de modo que sejam agrupamentos semelhantes à nível regional e que historicamente passaram pelo mesmo processo de formação de paisagem, resultando, assim, em uma diversidade própria de flora e fauna (IBGE, 2004). Dos seis “biomas” (IBGE, 2019), ou Domínios fitogeográficos do país, quase todos se estendem para além dos limites do Brasil, com exceção da Caatinga, que se restringe exclusivamente ao território brasileiro, de modo que seu patrimônio biológico não pode ser encontrado em nenhum outro lugar do mundo (GIULIETTI *et al.*, 2004).

A Caatinga (Figura 2) ocupa uma área de 862.811 km<sup>2</sup> (11% do território nacional) (IBGE, 2019). É caracterizada por apresentar um clima semiárido, com uma vegetação decídua, adaptada ao ambiente seco, com forte estacionalidade climática. A Caatinga possui uma distinta biodiversidade, estando presente na totalidade do estado do Ceará e parte dos estados da Bahia, Alagoas, Maranhão, Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Sergipe e Rio Grande do Norte (IBGE, 2019).

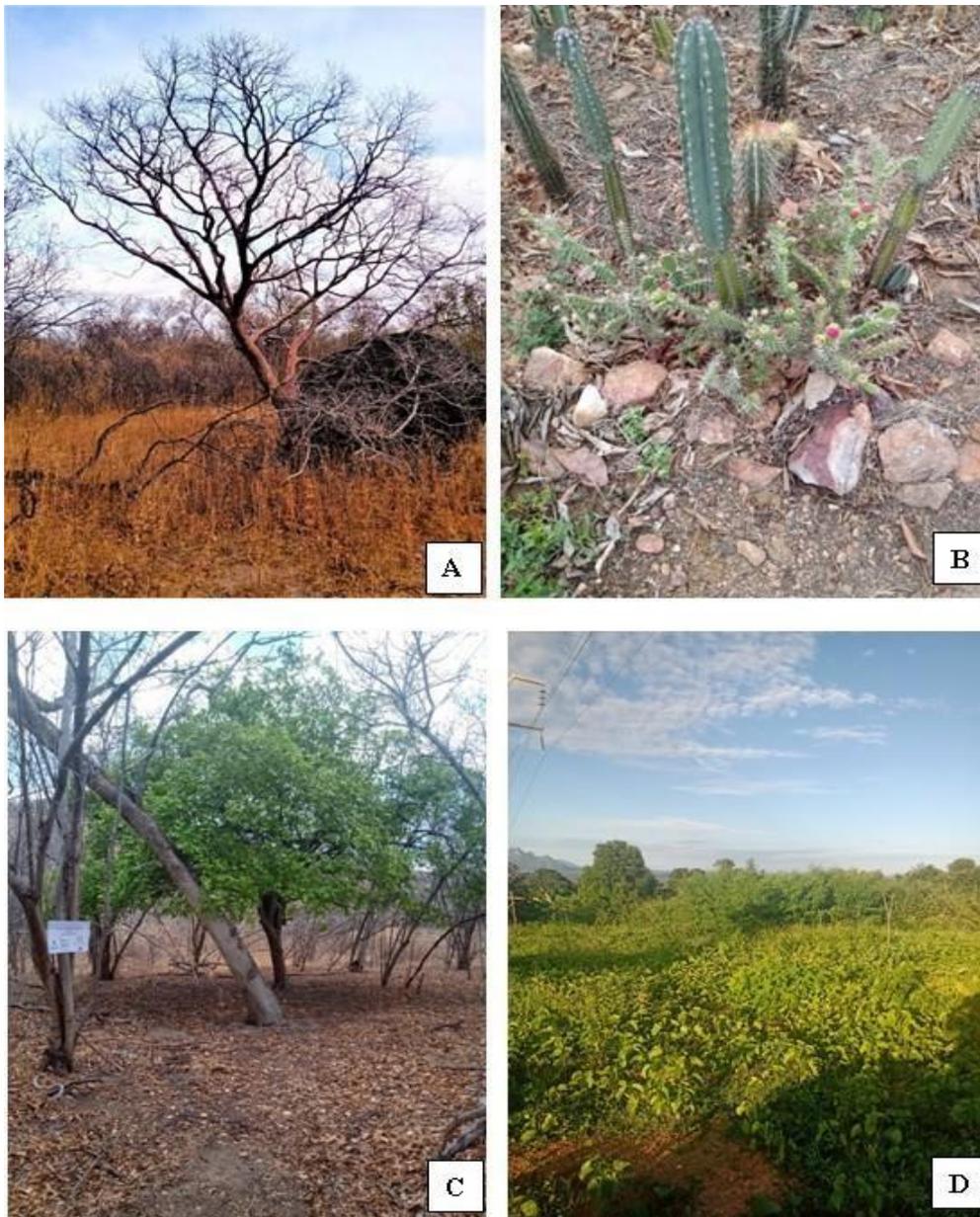
Segundo Giuliette (2004), as características marcantes da vegetação da Caatinga são dadas por possuir majoritariamente árvores baixas, solos rasos e pedregosos (embora haja também áreas de solos arenosos profundos), troncos das árvores tortuosos, com espinhos e folhas, caducifólias, ou seja, com folhas que caem durante a estação seca. Também é um domínio com presença marcante de cactáceas, a exemplo das endêmicas *Cereus jamacaru*, *Xiquexique gounellei* e *Tacinga palmadora*, como pode ser exemplificadas nas fotos da Figura 3.

Figura 2: Mapa indicando a distribuição geográfica no Brasil do bioma da Caatinga.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 3: Fitofisionomias registradas do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral-Ceará. A) Representação fotográfica de uma árvore da Caatinga, apresentando características caducifólias, típicas do bioma. B) Registro de três espécies de cactáceas encontradas na Caatinga, representadas pelos *Cereus jamacaru*, *Xiquexique gounellei* e *Tacinga palmadora*. C) Espécie perenifólia da Caatinga *Sarcomphalus joazeiro* (juazeiro), uma exceção, já que a maioria das espécies arbóreas é decídua. D) Representação do ambiente semiárido inserido no bioma da Caatinga após o período chuvoso, dando espaço a uma vegetação com maior presença de folhas.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Uma das características marcantes do Domínio Climático Semiárido é ter a evapotranspiração potencial maior do que a precipitação pluviométrica durante todos os meses do ano, sendo a sazonalidade marcante, no período chuvoso, os arbustos e árvores apresentam folhas novas, sendo um contraste com o período seco quando as plantas perdem suas folhagens (NOVAIS, 2023).

Sobre a climatologia do Nordeste, Nimer (1972) discorre que é uma região em que é comum a variabilidade das chuvas, o que influencia direta e indiretamente nas ordens sociais e econômicas (NIMER, 1972). O clima semiárido é predominante no território nordestino, sendo uma característica típica dentro do domínio da Caatinga. Nessa região, o sistema de chuvas atua dividindo o ano em dois períodos: o chuvoso, imprevisível e de curta duração, e o seco, que ocupa a maior parte do ano. O clima semiárido tem uma média de precipitação tipicamente inferior a 800 mm por ano, podendo existir períodos mais chuvosos que chegam a 1.000 mm por ano, assim como nos períodos mais secos, em que essa média pode baixar drasticamente para 200 mm ao longo de um ano (NIMER, 1972). Essa inconsistência de chuvas influencia diretamente na ecologia da vegetação, como pode ser observado através da figura 4, onde podemos ver a Caatinga durante as estações seca e chuvosa na REVIS Pedra da Andorinha.

Ainda segundo Nimer (1972), o período seco é bem mais prolongado que o chuvoso, sendo o período chuvoso de duração de apenas 3 a 5 meses, frequentemente nos meses de janeiro a maio. No período em que há ocorrência pluviométrica, as chuvas não são bem distribuídas, sendo bastante irregulares e torrenciais, concentradas apenas nesses meses do ano. Já o período de estiagem ou período seco, ocorre na maior parte do ano, se estendendo de sete a nove meses, entre os meses de junho e dezembro, tornando o semiárido brasileiro o domínio fitogeográfico mais seco e quente do Brasil, tendo uma temperatura anual média de 25 °C a 30 °C e precipitação média anual abaixo de 1000 mm (NIMER, 1972).

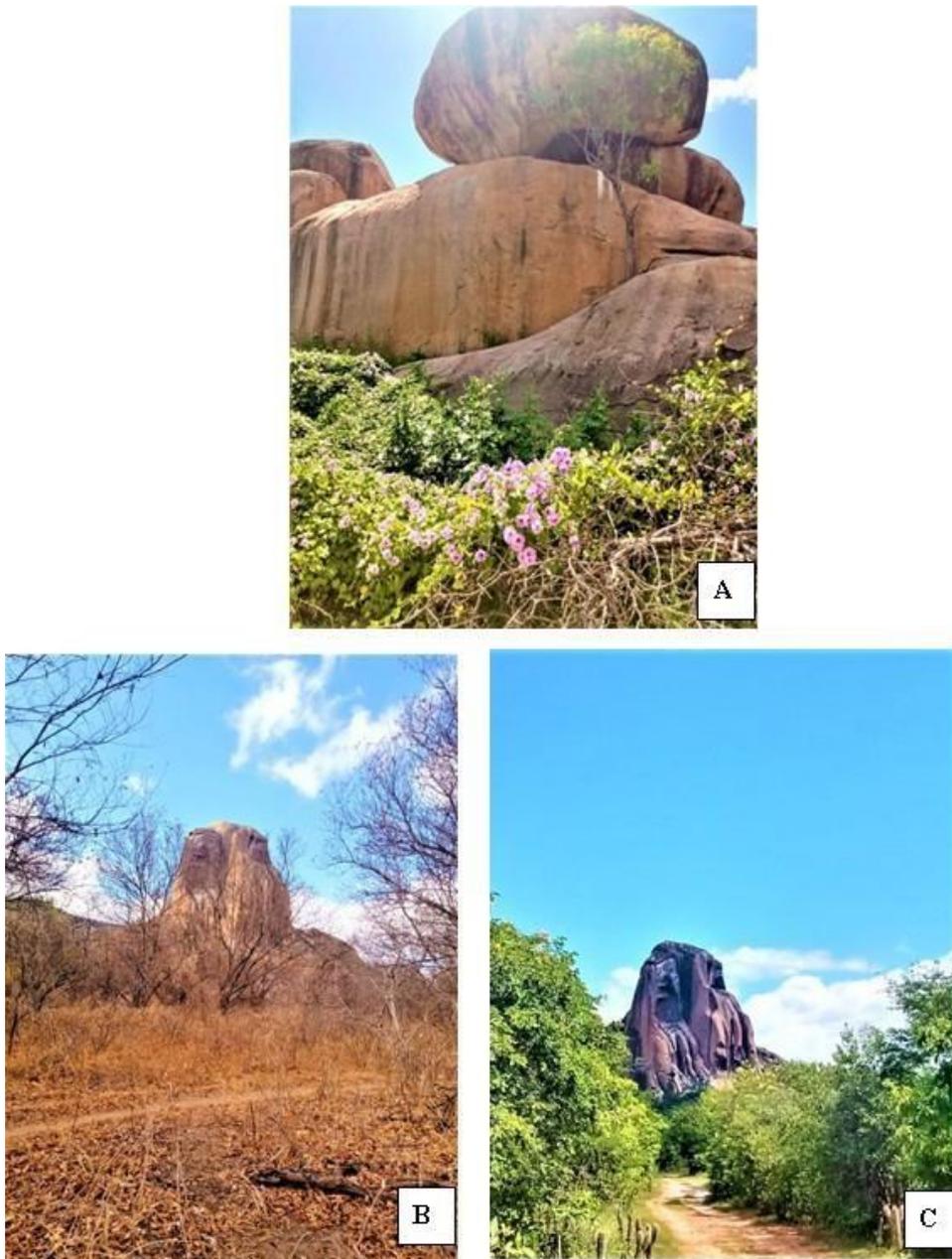
Segundo Argibay et al., (2020), em um estudo localizado em uma área de transição de Caatinga e Cerrado, entre 1999 e 2017, concluiu que o tipo de clima influencia no regime do fogo visto que a maioria das áreas que foram queimadas ocorreram na estação seca e que as áreas de unidades de conservação contribuíram para a redução das ocorrências de incêndio na região (ARGIBAY, 2020).

Devido à diversidade de climas, formações vegetacionais, tipos de rochas e relevos, a região do Nordeste brasileiro apresenta uma vasta diversidade de ambientes e solos. Os solos variam bastante ao longo do espaço e são classificados em grupos como

latossolos, neossolos, litólicos, neossolos quartzarênicos, argissolos, luvisolos, planossolos, plintossolos, cambissolos, entre outros (MARQUES *et al.*, 2014).

Ainda segundo Marques (2014), o Nordeste do Brasil possui em sua formação uma diversidade rochosa e de relevo, o que resulta em uma diversidade de tipos de solos. Estes solos são divididos de acordo com suas características físicas e químicas, por exemplo, e por isso são divididos em classes de acordo com suas semelhanças. A região semiárida do Nordeste brasileiro tem a presença de diversos tipos de solos, com alguns arenosos e profundos, assim como os argilosos e solos pedregosos e rasos (MARQUES *et al.*, 2014).

Figura 4: Representação paisagística do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, estado do Ceará. A) Retrato das formações rochosas da Caatinga, bastante marcantes na unidade de conservação estudada. B) Fotografia da paisagem durante a estação seca, representando as características marcantes da paisagem no período de baixa pluviosidade. C) Fotografia da paisagem durante a estação chuvosa, representando as características que mais marcam o bioma no período em que a chuva está presente.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A região da Caatinga se caracteriza por apresentar tanto terrenos cristalinos quanto terrenos sedimentares. Os solos sobre o embasamento cristalino são em sua maioria pouco profundos, ricos em minerais, pedregosos e com baixa capacidade de retenção da água (ALVES, 2009). Nos diversos setores da Caatinga, se desenvolveram solos muito diferentes formando mosaicos, variando de rasos a profundos, baixa fertilidade e alta fertilidade e terrenos arenosos a argilosos. Por conta dessa diversidade de solos, é possível encontrar uma grande diversidade paisagística na Caatinga (COSTA *et al.*, 2020). Sobre esses diferentes substratos se distribuem diferentes tipos de vegetação, dos quais as mais características são a Caatinga *sensu stricto*, nas áreas cristalinas, e a Caatinga de areia, nas áreas sedimentares arenosas, além da Caatinga sobre afloramentos de calcário (MORO *et al.*, 2016).

Moro *et al.* (2016) explica que a Caatinga do cristalino constitui a vegetação típica de maior dispersão na Caatinga, com o predomínio de plantas lenhosas decíduas, e espécies herbáceas de ciclo de vida anual. Já a Caatinga do sedimentar se diferencia por ser a vegetação associada aos solos arenosos profundos e de baixa fertilidade, onde prevalecem vegetais lenhosos de pequeno e médio porte (FERNANDES *et al.*, 2018; MORO *et al.*, 2016).

Em relação ao sistema de drenagem, os rios da Caatinga em sua maioria se caracterizam por serem intermitentes, ou seja, são rios que enchem com a chegada da chuva e ficam secos na estação da seca, a exemplo dos rios Jaguaribe e Piranhas-Açu (ARAÚJO, 2011). Existem também rios perenes, que são aqueles rios que durante todo o ano permanecem cheios, sendo bem menos frequentes que os rios intermitentes. Os mais conhecidos na região semiárida são os rios São Francisco e Parnaíba (FERRI, 1980).

Em relação à flora, segundo Fernandes *et al.* (2020), existem aproximadamente 3.347 espécies, 962 gêneros e 153 famílias de plantas, referente a espécies nativas de plantas com flores em florestas e matas sazonalmente secas da Caatinga. Das espécies vegetais, 526 são endêmicas, exclusivas da Caatinga (FERNANDES *et al.*, 2020). Há um grande predomínio da vegetação decídua na Caatinga, mas há também a ocorrência de encraves de outros tipos vegetacionais, como matas úmidas, savanas e campos rupestres (MORO *et al.*, 2016; FERNANDES *et al.*, 2020).

A Caatinga é muitas vezes vista e retratada como um domínio extremo, com árvores sem folhas, como pode ser visto na Figura 5. Isso pode acontecer e acontece com algumas espécies por conta das irregularidades pluviométricas que o ambiente apresenta, com chuvas concentradas apenas em um breve período do ano, sendo estas mal distribuídas no tempo e no espaço. Todavia, a vegetação apresenta adaptações de modo a garantir a sua perpetuação neste ecossistema tão rígido. Uma característica importante de algumas plantas deste bioma é o processo de xeromorfismo (*xeros*: seco e *morphos*: forma), que são plantas que marcam bastante o bioma e se concentra na forma que a vegetação assume para diminuir e reter a perda de água (SANTOS *et al.*, 2013).

Algumas espécies têm folhas transformadas em espinhos para evitar a perda de água pelo processo de transpiração, a exemplo das cactáceas (FERNANDES *et al.*, 2018). Algumas outras características adaptativas relevantes de algumas espécies é a presença de caules clorofilados, característica essa que permite às plantas a continuação do processo de fotossíntese mesmo que não tenha mais folhas durante o período seco. Esta é uma característica presente nas espécies cactáceas, que fazem seu processo fotossintético através do caule, visto que através da capacidade de reter a água, transformam suas folhas em espinhos (TROVÃO *et al.*, 2007).

Outros exemplos de adaptações importantes são a deposição de cera nas folhas, que forma uma camada impermeável que retarda a perda de água, e a alteração do ciclo de vida das plantas, que aceleram ou diminuem seu próprio ciclo, adiando o período de germinação para períodos de maior umidade, florescendo e germinando no período chuvoso para aproveitar o ambiente mais ameno (BARROS *et al.*, 2013).

A adaptação através das raízes também é algo bem marcante de algumas espécies de plantas da Caatinga. Algumas delas desenvolveram um sistema de armazenamento hídrico, onde água e nutrientes são armazenados em raízes tuberosas, possibilitando a sobrevivência da planta durante o período seco, apesar de que não é a maioria das espécies que possuem este mecanismo. Com o armazenamento de água e nutrientes em quantidade suficiente para passar pelo período seco, as plantas tornam-se caducifólias ao fim do período de chuva, diminuindo, assim, a perda de água através da transpiração, utilizando apenas a economia de energia que fez para sobreviver ao longo do período seco (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Figura 5: Fotografia de uma árvore caducifólia na vegetação de Caatinga no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará durante o período seco.



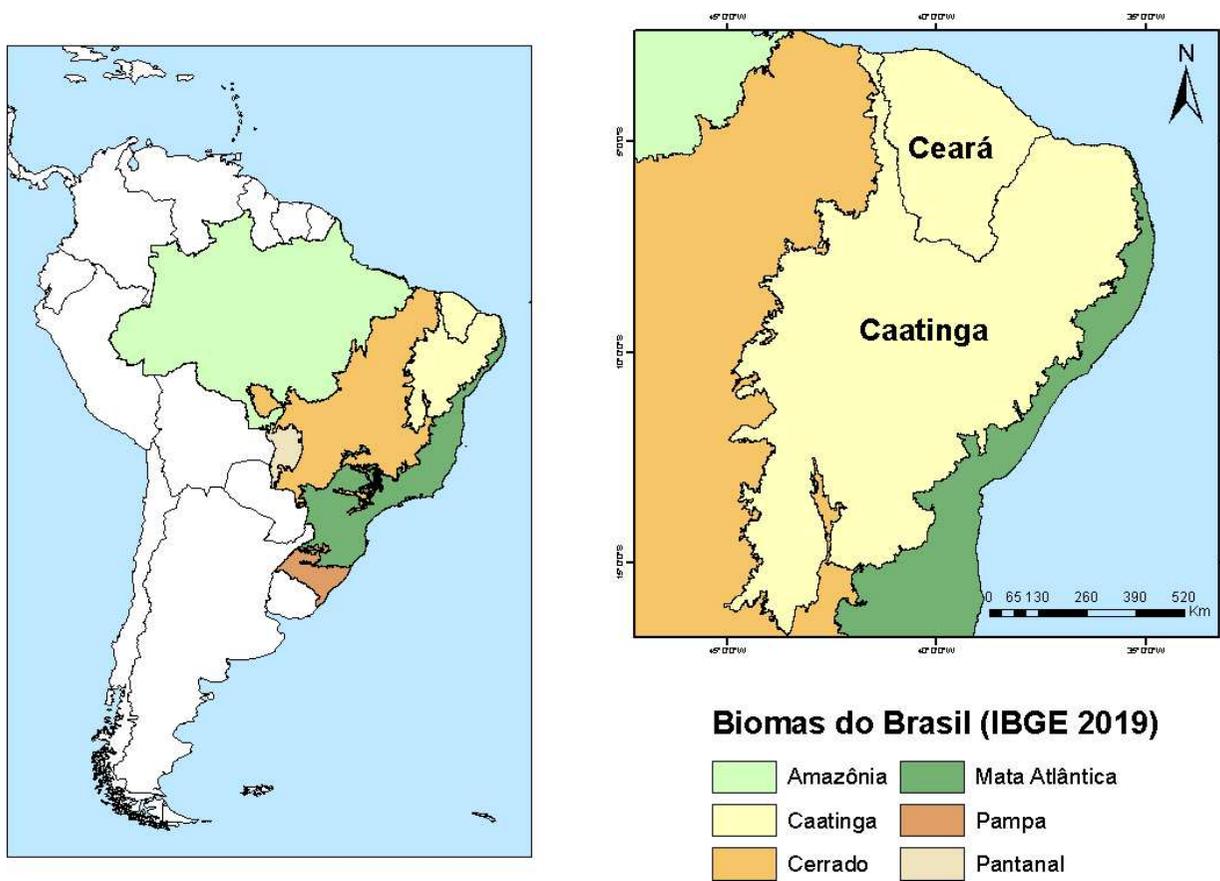
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

### 3.2 O Contexto cearense

O estado do Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, com uma extensão territorial de 148.894,447 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022), sendo caracterizado por apresentar um clima semiárido na maior parte de seu território, mas também clima mais ameno em regiões de exceção como as serras, chapadas e áreas próximas ao litoral (IPECE, 2007). Figueiredo (1997) discorre que, apesar de grande parte do território se encontrar inserido no clima semiárido, há ambientes de exceção, que possuem um clima diferenciado, mais chuvoso, e também uma topografia variada, que gera uma variedade de tipos de unidades fitoecológicas (FIGUEIREDO, 1997).

Araújo *et al.*, (2005), afirma que apesar da cobertura vegetal predominante do Ceará ser a Caatinga, algo que acaba sendo representado nos mapas biogeográficos de maneira simplificada, como pode ser observado na figura 6, existem também outros tipos de vegetação no estado. Justamente pela diversidade de clima e topografias ao longo do território cearense, o que resulta que, mesmo em um contexto de dominância da vegetação de Caatinga do cristalino, há áreas com de menor extensão com vegetação de matas secas, Caatinga do sedimentar (carrasco), vegetação costeira e mata úmida (MORO, 2015).

Figura 6: Representação da localização geográfica dos Biomas do Brasil (segundo IBGE 2019) e do estado do Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### 3.3 Impactos antrópicos sobre a Caatinga

Segundo Batista (2000), o fogo pode ocorrer nos ecossistemas de maneira natural, acidental ou intencional. Para que o fogo aconteça, são necessários três elementos: o calor ou outra forma de energia, o combustível, em geral compostos orgânicos que possuem moléculas que têm em sua composição átomos de hidrogênio e carbono, e o comburente, gás que serve para produzir e manter a combustão através da interação de gases inflamáveis, sendo o Oxigênio o mais comum por ser o mais abundante na atmosfera. Quando os três agem em sintonia, há a chamada combustão (BATISTA, 2000). Todos esses elementos causam os incêndios, que também dependem de variáveis ambientais como o vento, as correntes de convecção e a topografia.

Torres *et al.* (2020) discorre que os incêndios na vegetação podem ser classificados de diversas formas: de superfície, de copa e subterrâneo. O fogo do tipo de superfície se desenvolve na superfície do solo, atingindo o estrato arbustivo, herbáceo, indivíduos finos e mortos, sendo acima do solo até a altura de 1,8 m, se caracterizando por ser um tipo de fogo bastante inflamável e com grande poder de propagação (TORRES *et al.*, 2020).

O fogo do tipo de copa é caracterizado pela queima das copas de árvores e galhos, acima de 1,8 m, onde a folhagem é destruída e, em geral, ocasiona a morte do indivíduo, com uma geração de grande quantidade de calor e alta velocidade de propagação (TORRES *et al.*, 2020).

Já o fogo tipo subterrâneo acontece na superfície do solo com a queima de raízes, húmus e turfa. O fogo acaba se desenvolvendo de maneira lenta e com ausência de chamas devido à falta de oxigênio (TORRES *et al.*, 2020).

Segundo Torres (2020), os incêndios que atingem as áreas de vegetação são um dos principais fatores que destroem e ameaçam a biodiversidade. Os principais agentes motivadores de incêndios são os cigarros, objetos incendiários, estradas de ferro, queimadas para limpeza da terra, atividades recreativas, operações florestais e raios, sendo apenas um agente não humano (TORRES *et al.*, 2020).

A pressão antrópica com as queimadas, sobrepastoreio e extração de madeira, associada às condições naturais de semi-aridez da Caatinga resulta em um cenário de degradação ambiental do bioma (COSTA, 2009). A presença da atividade da pastagem extensiva, por exemplo, causa grande degradação no ecossistema, muitas vezes sendo irreversível. Com a perda de diversidade florística, não é possível, na maioria das vezes, o

processo natural de regeneração de médio à longo prazo devido à intensa pressão antrópica exercida sobre esses ambientes (ALVES, 2009).

De acordo com Marques (2014), desde o ano de 1993, uma grande extensão do território da Caatinga foi transformada em pastagem ou terras agricultáveis e uma das grandes causas desse problema é o sobrepastoreio que suprime a vegetação causando impactos erosivos como as voçorocas e ravinas, além de impactar os corpos hídricos ao torná-los compactados, causando o escoamento superficial (MARQUES *et al.*, 2014).

Segundo Alves (2009), a degradação da Caatinga está diretamente ligada ao processo de ocupação europeia do território do Nordeste brasileiro que começou pelo litoral e seguiu para o interior à medida que as atividades agrícolas e extrativistas para exportação foram se expandindo. No século XVII, o território da Caatinga, antes ocupado pelos povos indígenas, foi ocupado pelas fazendas e currais de gado, dando origem aos primeiros centros urbanos dentro das áreas semiáridas da Caatinga, tornando a pecuária a principal e mais importante atividade econômica dentro do bioma da Caatinga, visto que a vegetação seca do local proporcionou alimentação para os animais (ALVES, 2009).

O período de colonização do Nordeste brasileiro foi acompanhado de um intenso desmatamento da vegetação nativa para a ocupação, que já era um ecossistema fragilizado por estar inserido em condições mais adversas com altas temperaturas e má distribuição de chuvas (PRADO, 1981). As consequências diretas desse desmatamento e ocupação do solo são a erosão dos solos, a desertificação, a redução da diversidade biológica e o comprometimento das águas subterrâneas (CGEE, 2016).

Segundo Campello (2007), o problema urgente que mais chama atenção sobre a Caatinga é a potencialização dos processos de desertificação com o intenso desmatamento, podendo transformar o ambiente que se conhece atualmente em um ambiente que mais será afetado pelas mudanças climáticas onde corre um sério risco de mudar de um ambiente semiárido, que já é considerado difícil, para um ambiente totalmente árido, assemelhando-se às regiões desérticas (CCD, 1995).

A vegetação original da Caatinga está de maneira geral bastante impactada pela ação antrópica, sendo necessária a implementação de políticas públicas a fim de recuperar essas áreas que são de relevante importância (LEAL *et al.*, 2005). O intenso e constante desmatamento da cobertura vegetal do bioma da Caatinga gera um processo conhecido como desertificação, que atinge diversas áreas, que naturalmente já é suscetível ao processo, alterando os solos, o microclima e o funcionamento do ecossistema do local (SOUZA, 2015).

### 3.4 Importância da Caatinga

Uma das consequências advindas do fogo é a liberação dos gases de efeito estufa, através das queimadas, sejam elas naturais ou provocadas pelo ser humano para fins agrícolas e de pecuária, já que as queimadas acompanham o desmatamento ao liberar os gases da parte da biomassa (FEARNSIDE, 2002). Ainda segundo Fearnside (2002), quando ocorre algum tipo de queimada, há a liberação do gás carbônico a partir da biomassa.

Segundo Leite *et al.* (2010), a vegetação absorve o CO<sub>2</sub> advindo da atmosfera pela fotossíntese e o estoca na forma de biomassa. Quando ocorre a fixação do carbono pelas plantas, parte dele retorna à atmosfera pela respiração, mas uma parte fica retida abaixo e acima do solo, nas formas de biomassa, viva ou morta, constituindo, assim, um excelente reservatório de carbono. Com isso, o processo de degradação do solo da Caatinga, através do fogo, por exemplo, acaba por reduzir esse estoque de carbono no solo e aumentando a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), especialmente o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera (LEITE *et al.*, 2010).

A Caatinga como um todo produz Serviços Ecossistêmicos (SE), que estão sendo cada vez mais reconhecidos, a partir da atuação combinada dos fatores bióticos e abióticos, proporcionando bens tangíveis e não tangíveis utilizados pela sociedade na manutenção da qualidade de vida, como por exemplo, o sequestro de carbono, que fica armazenado na biomassa das plantas (SANTOS *et al.*, 2019). Ademais, a cobertura vegetal se configura como um importante elemento de retenção e estoque de gases de efeito estufa, assim como redução de processos erosivos do solo, portanto, as pressões antrópicas através do fogo acabam por desencadear uma sequência de desequilíbrios ao longo do sistema ambiental provocando a perda na qualidade desses serviços de prestação (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

### 3.5 Categorias de unidades de conservação

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) é um conjunto de diferentes categorias de unidades de conservação oficialmente reconhecidas pela lei brasileira, sendo subdivididas em dois grupos: as Unidades de Conservação (UCs) de “Uso Sustentável” (US) e as de “Proteção Integral” (PI). Elas têm vários objetivos definidos em lei quanto à proteção ambiental, e se diferenciam entre si quanto ao tipo de proteção e usos permitidos ou proibidos, visto que existem aquelas unidades que necessitam de uma maior restrição, e também aquelas UC's que podem ser utilizadas de maneira sustentável pela população,

admitindo-se certos usos, conforme a legislação (BRASIL, 2000).

O SNUC foi criado com o objetivo de definir os usos permitidos e proibidos em cada categoria e gerenciar melhor as unidades de conservação do Brasil. As UCs são geridas pelas três esferas do poder público: municipal, estadual e federal.

As unidades de conservação são definidas em lei da seguinte maneira:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o SNUC tem os seguintes objetivos:

- “Ajudar na conservação das espécies biológicas e dos recursos genéticos dentro do território nacional e nas águas jurisdicionais;
- Proteção às espécies com nível crítico de ameaça de extinção;
- Ajudar na preservação e na restauração dos ecossistemas naturais;
- Colaborar no desenvolvimento sustentável a partir do uso racional e equilibrado dos recursos naturais;
- Proteger as paisagens naturais de beleza cênica e aquelas que foram pouco alteradas pela ação humana;
- Proteção das características peculiares e importantes de natureza morfológica, geológica, cultural, arqueológica, geomorfológica, espeleológica e paleontológica;
- Recuperação e restauração dos ecossistemas degradados;

- Proporcionar a acessibilidade e incentivar pesquisas, estudos e monitoramentos científicos nas unidades de conservação que permitam esse tipo de atividade;
- Valorização econômica e social da diversidade biológica;
- Promoção de educação ambiental através de recreação em contato com a natureza;
- Proteção dos recursos naturais que são essenciais à subsistência das populações locais, respeitando e valorizando o conhecimento dos tradicionais assim como sua cultura.”

No Brasil, a gestão das unidades de conservação federais é feita pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que é um órgão consultivo e executivo e tem como função o acompanhamento da implementação do que dita a lei do SNUC. Além dele, tem-se o órgão central, representado pelo Ministério do Meio Ambiente e os órgãos executores representados pelo ICMBio e o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) a nível federal, e pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente, a nível estadual e municipal. Estes órgãos executores atuam na implementação das propostas de criação das UCs assim como sua administração em suas respectivas esferas de atuação.

No ano de 2002, através do decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002, são instituídas as diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade (BRASIL, 2002), que teve sua origem através da Declaração do Rio e da Agenda 21, termos assinados pelo Brasil em 1992 durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD). No que diz respeito ao tópico “Dos componentes da Política Nacional da Biodiversidade”:

Monitoramento, Avaliação, Prevenção e Mitigação de Impactos sobre a Biodiversidade: engloba diretrizes para fortalecer os sistemas de monitoramento, de avaliação, de prevenção e de mitigação de impactos sobre a biodiversidade, bem como para promover a recuperação de ecossistemas degradados e de componentes da biodiversidade sobreexplorados (BRASIL, 2002).

O sistema de unidades de conservação divide as UC's em dois grandes grupos: Proteção Integral (PI) e Uso Sustentável (US). As unidades de Proteção Integral têm como finalidade preservar a natureza, admitindo apenas o uso indireto de seus recursos naturais, sendo suas regras mais restritivas do que as unidades de conservação de Uso Sustentável, com exceção dos casos previstos nesta legislação (BRASIL, 2000). Fazem parte deste grupo: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre.

As unidades de conservação de Uso Sustentável, segundo a Lei do SNUC (2000), têm como objetivo a conciliação da conservação dos recursos naturais e o uso sustentável destes, sendo mais acessíveis que as unidades de Proteção Integral. Fazem parte deste grupo: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional,

Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

A área de estudo escolhida para este trabalho se encaixa na categoria de unidade de conservação de Proteção Integral, encontrando-se na subcategoria de Refúgio de Vida Silvestre:

“O Refúgio de Vida Silvestre tem como objetivo proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória” (BRASIL, 2000).

O Refúgio de Vida Silvestre pode ser constituído de áreas públicas, ou por áreas particulares, quando estas são compatíveis com os objetivos da unidade de conservação, estando a visitação pública sujeita aos critérios estabelecidos pelo plano de manejo da unidade de conservação, assim como as normas estabelecidas pelo órgão ambiental responsável. Pesquisas científicas também podem ser realizadas, e dependem de prévia autorização dos órgãos responsáveis pela gestão da unidade e desde que respeite as regulamentações estabelecidas (BRASIL, 2000).

A implementação das unidades de conservação nos últimos 80 anos reflete a ação das políticas públicas de criação de áreas protegidas no território brasileiro. Na Caatinga, as unidades da categoria de Proteção Integral (PI) cobrem apenas uma pequena extensão territorial, tendo diversos obstáculos em sua implementação como a burocracia no processo de desapropriação das terras (TEIXEIRA, 2021). Segundo Teixeira (2021), a cobertura de UC's na Caatinga é bastante reduzida com apenas 1,3% da extensão total protegida por UC's de proteção integral. Além disso, parte das ecorregiões da Caatinga não possuem UC's de proteção integral ou possuem cobertura muito pequena de áreas protegidas.

A Caatinga como um todo está sob forte pressão antrópica, com 50% já tendo sido desmatada (ANTOGIOVANNI *et al.*, 2018) e os outros 50% restantes sob pressão de corte seletivo de madeira, queimadas, sobrepastoreio e várias outras pressões degradadoras (LEAL *et al.*, 2005). Assim, quando vários impactos persistentes levam a Caatinga a um grau elevado de degradação, as áreas se tornam desertificadas, com baixa capacidade de regeneração.

Este trabalho teve como objetivo compreender quais os impactos que os incêndios

florestais têm sobre a estrutura e diversidade da vegetação de Caatinga, avaliando como um incêndio pode gerar redução de densidade, biomassa e diversidade em uma área de referência.

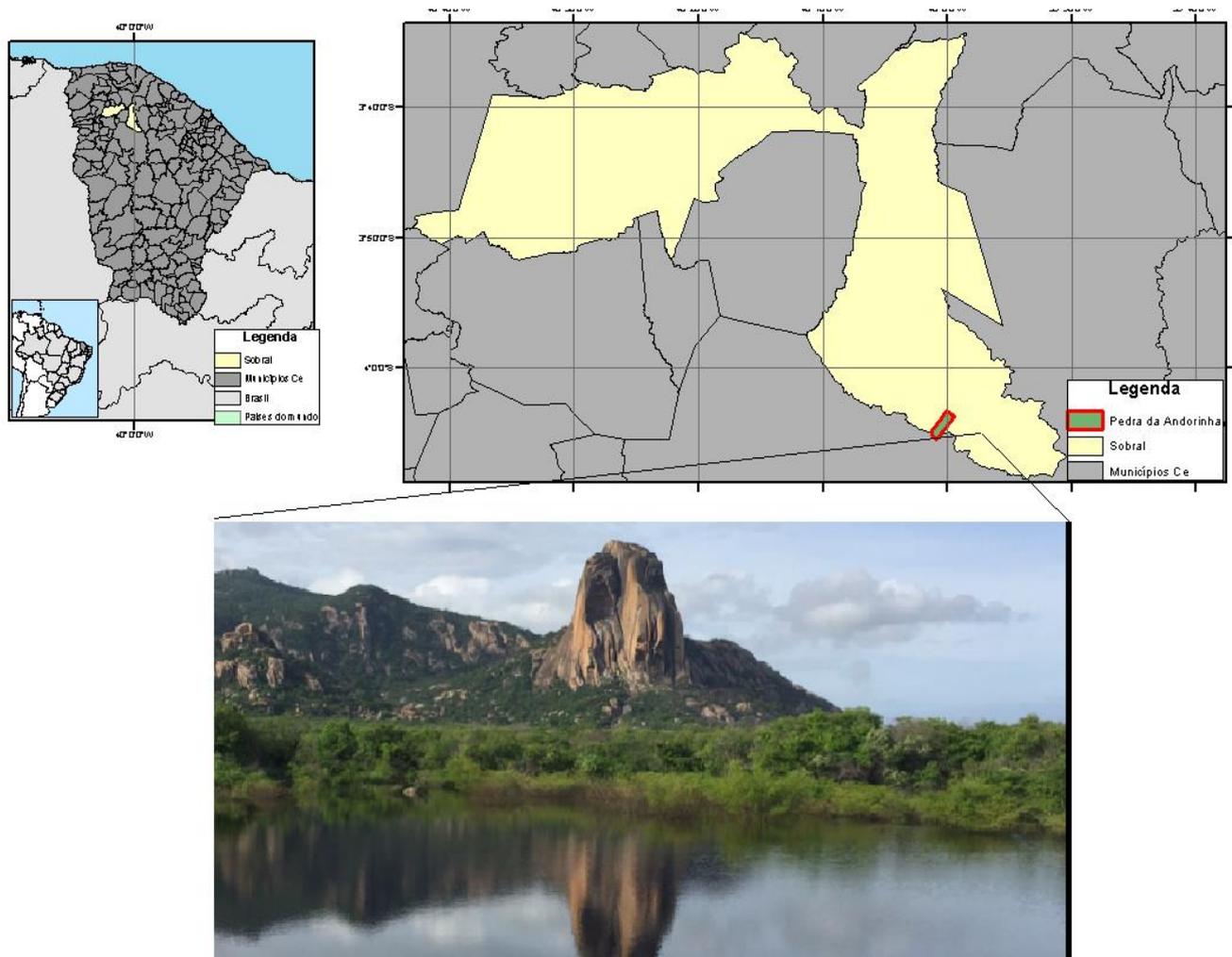
## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado na unidade de conservação Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) Pedra da Andorinha, localizada no município de Sobral ( $4^{\circ}03'32.4''S$  /  $39^{\circ}59'34''W$ ), estado do Ceará (Figura 7). A REVIS foi criada através do Decreto municipal Nº 1252 de 18 de agosto de 2010, abrangendo cerca de 600 ha, com o objetivo de proteger os ambientes naturais da área e assegurar condições favoráveis para que as espécies da região possam sobreviver e reproduzir assegurando, assim, a conservação do ambiente (BRASIL, 2010). A gestão da unidade é administrada pela Autarquia Municipal do Meio Ambiente de Sobral, AMMA.

O decreto municipal insere a Pedra da Andorinha como uma unidade de conservação do tipo Proteção Integral, na categoria de Refúgio de Vida Silvestre, considerando a importância ecológica da Fazenda Andorinhas para a Caatinga, devido tanto à presença de trechos bem conservados da vegetação quanto por ser um abrigo à fauna nativa (especialmente as aves migratórias).

Figura 7: Mapa de localização geográfica do estado do Ceará com enfoque à unidade de conservação de Proteção Integral Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, localizada na cidade de Sobral, Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

## 4.2 Caracterização da área

A REVIS Pedra da Andorinha possui uma área de 598,60 hectares, estando localizada no município de Sobral, estado do Ceará, no distrito de Taparuaba. Além do objetivo de preservação do ambiente natural, a unidade de conservação tem entre seus objetivos a realização de pesquisas científicas de cunho biológico, como é o caso deste estudo.

Na unidade de conservação estão presentes três tipos de feições geomorfológicas: depressão sertaneja, inselbergs e planície fluvial, especificadas pelo Quadro 1 logo abaixo. A depressão sertaneja é a mais expressiva unidade geomorfológica no Ceará, estando localizada entre os planaltos sedimentares e planaltos maciços (SOUZA, 2015). Na Pedra da Andorinha, a depressão sertaneja ocupa cerca de 70% da área.

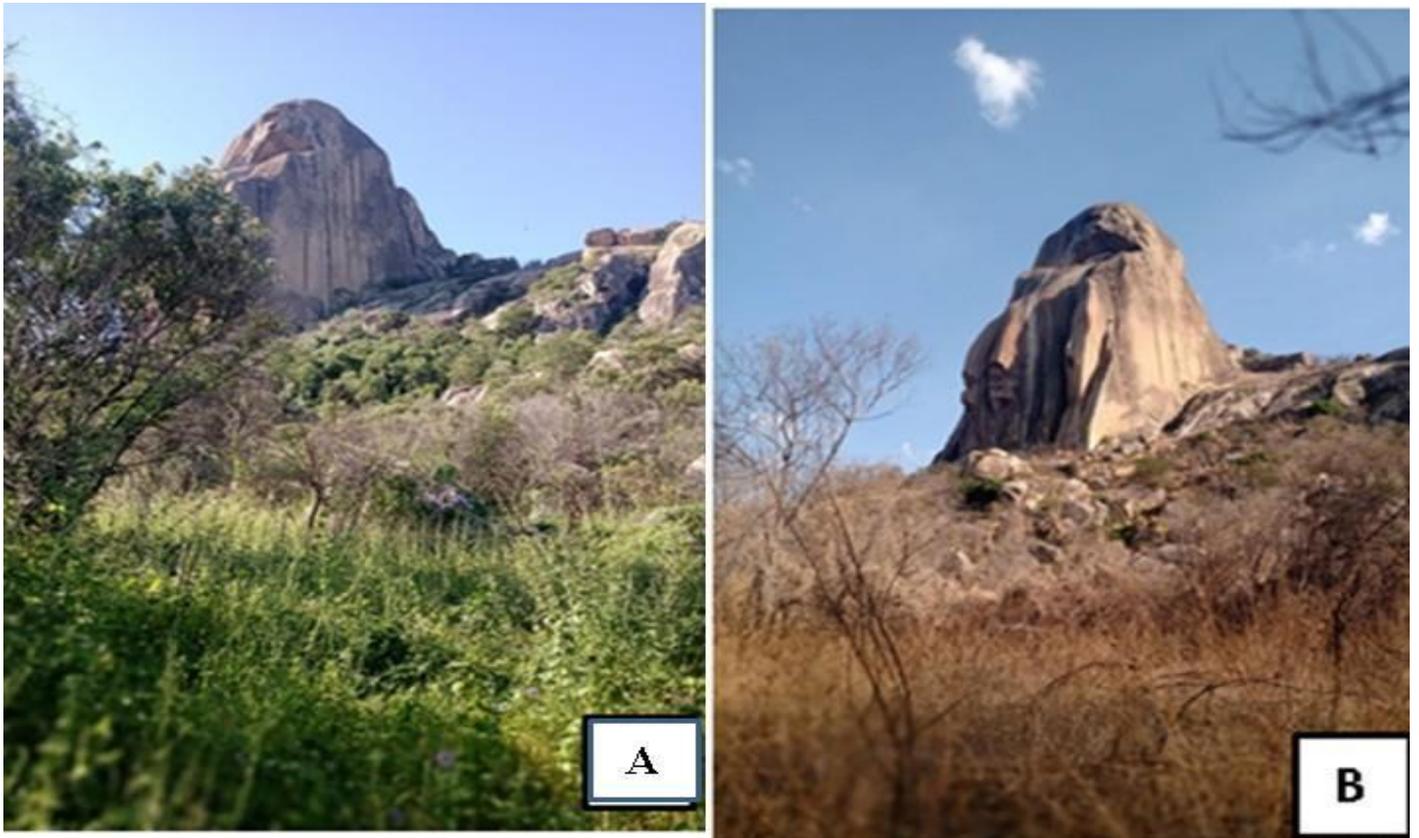
Quadro 1: Feições Geomorfológicas do bioma da Caatinga: Depressão Sertaneja, Inselbergs e Planície Fluvial.

	Feições Morfológicas	Características Específicas
Depressão Sertaneja	Superfície de aplainamento	Formas deprimidas com superfícies erosivas planas e/ou ligeiramente dissecadas
Inselbergs	Serras secas	Formas dissecadas
Planície Pluvial	Planície pluvial dos riachos, bilheira, tamanduá, pau branco	Formas de acumulação

Fonte: Souza (1979).

Segundo Souza (1979), os inselbergs foram erodidos ao longo do tempo geológico, estando distribuídos pela depressão sertaneja, sendo caracterizados como áreas que apresentam afloramentos rochosos, podendo ser totalmente desprovidos de cobertura vegetal ou apresentar plantas em fraturas da rocha ou em áreas com acúmulo de sedimentos. O Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha possui áreas cobertas pela superfície da Depressão Sertaneja e afloramentos rochosos, além de um marcante inselberg, chamado de Pedra da Andorinha (Figura 8), que deu origem ao nome da unidade de conservação por ser local de abrigo para andorinhas que ocupam o local.

Figura 8: Representações das paisagens do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará. A) Inselberg Pedra da Andorinha registrado durante o período chuvoso. B) Inselberg registrado na Pedra da Andorinha durante o período seco.



Fonte: Autora (2021).

Segundo Duarte (2004), o Ceará possui em sua formação geomorfológica chapadas, costas, depressão sertaneja, maciços cristalinos, planícies pluviais e inselbergs. A depressão sertaneja é característica da região Nordeste, onde sua altitude varia de 20 a 500m, clima semiárido e vegetação rasteira. O clima da região é caracterizado como quente semiárido, típico da região nordestina, com uma seca abrangente de cerca de 8 meses de deficiência hídrica, sendo a estação chuvosa apenas no primeiro semestre do ano na estação de verão (DUARTE *et al.*, 2004).

### 4.3 Levantamento fitossociológico

Este estudo foi baseado nos dados fitossociológicos de três parcelas permanentes de 50x50m (0,25 ha por parcela – 0,75 ha no total) instalada na REVIS Pedra da Andorinha. Cada parcela de 50 x 50 m foi subdividida em 25 subplots de 10x10m. As parcelas foram estabelecidas em 2018 para um projeto de inventário da estrutura da vegetação da área. Após o levantamento fitossociológico ter sido feito para essas três parcelas, um incêndio que se iniciou fora da unidade de conservação, em uma fazenda ao lado, se propagou para dentro da área protegida, atingindo a vegetação dentro das parcelas. Este fato fez surgir a oportunidade para um re-inventário, a fim de permitir documentar os impactos do fogo sobre a vegetação. Assim, após a área ter sido atingida pelo fogo, foi realizada uma outra amostragem de todas as plantas das mesmas parcelas, para compreender qual o impacto que a queimada teve sobre a vegetação.

Segundo o CBMCE (Corpo de Bombeiros Militar do Ceará) e o CIOPAER (Coordenadoria Integrada de Operações Aéreas) (2020), o incêndio no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha se iniciou por volta das 14:30h do dia 19 de outubro (segunda-feira) de 2020, em uma fazenda privada ao lado da unidade de conservação. O fogo tinha como intuito a preparação do solo para cultivo da fazenda, mas acabou por sair do controle e atingiu fortemente a unidade de conservação. Na terça-feira, dia 20, surgiram novos focos de incêndio dentro do perímetro da Pedra da Andorinha, que se propagaram rapidamente, devido a alguns fatores como a alta temperatura, baixa umidade do ar e a presença da vegetação seca. Ao final, 200 hectares foram atingidos pelo fogo que durou cerca de 4 dias (CBME, 2020).

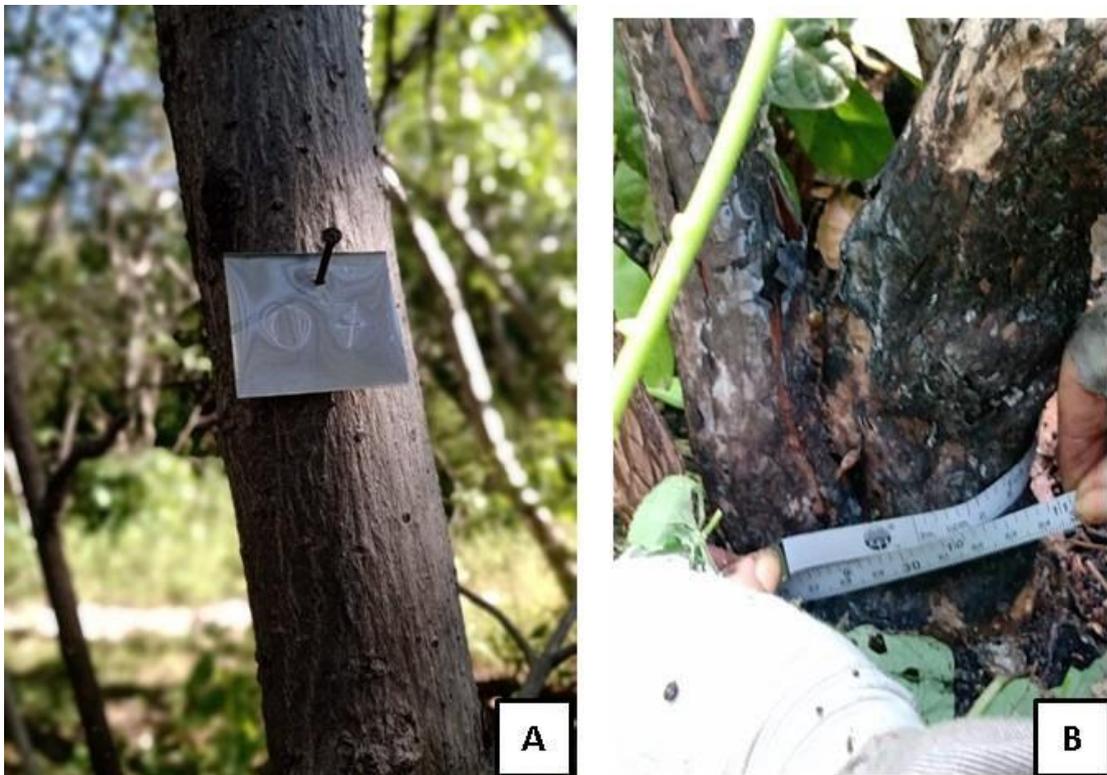
Em cada subplot havia sido realizado um levantamento fitossociológico no ano de 2018, no qual todos os indivíduos lenhosos com diâmetro do caule na altura do solo (D.A.S.) com tamanho igual ou maior que 3 centímetros foram mensurados com fita diamétrica (RODAL *et al.*, 1992; MORO *et al.*, 2015). Para cada indivíduo amostrado, foi registrada a espécie da planta, seu diâmetro à altura do solo (D.A.S.) e sua altura. O D.A.S. foi obtido com auxílio de uma fita diamétrica e a altura foi obtida com o auxílio de uma vara graduada em metros, que era posta próxima à planta como referência, referente à altura do peito de 1,3 m, visto que essa é a altura do peito de um adulto-padrão (FELFILI *et al.*, 2011).

Após o incêndio, o levantamento fitossociológico foi repetido com os mesmos procedimentos e critérios de inclusão, nas mesmas parcelas, para esta pesquisa, em maio e novembro de 2021, abrangendo, assim, as estações seca e chuvosa. Em cada subplot, foi

averiguada a presença de todos os indivíduos lenhosos que já estavam previamente demarcados no inventário anterior. Além disso, foi observado também se os troncos dos indivíduos presentes continham indícios de fogo, se estavam quebrados ou caídos.

Também foi avaliado se os indivíduos estavam mortos ou vivos a partir do aspecto e fixação do caule no solo, como pode ser visto na Figura 9. Os indivíduos que estavam mortos, mas ainda em pé, também foram medidos e registrados na planilha como ‘planta morta’, para estimativa de necromassa em pé. Para as análises de estrutura fitossociológica da vegetação foram utilizados nas análises somente os dados dos indivíduos que estavam vivos.

Figura 9: Representação fotográfica de indivíduos lenhosos que foram medidos durante o levantamento no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, município de Sobral, estado do Ceará. A) Exemplo de como foram feitas as identificações numéricas dos indivíduos em campo. B) Exemplo fotográfico da metodologia da medição do diâmetro do indivíduo lenhoso ainda vivo que foi reamostrado após o incêndio.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A fim de analisar se as coletas foram suficientes para amostrar de maneira eficiente a área de pesquisa, utilizamos os métodos de rarefação e extrapolação dos dados para verificar se a riqueza registrada estava próxima da riqueza total estimada para a área, tanto na amostragem pré- fogo (Figura 10- A) quanto na amostragem do pós-fogo (Figura 10- B).

Para analisar se nossa amostragem registrou um valor próximo da riqueza total real na área (SCHILLING *et al.*, 2008), foram computados os dados obtidos em campo no software EstimateS. Esta ferramenta foi útil ao trabalho pois indicou com os dados coletados se a composição florística e densidade das árvores por espécie foi amostrada adequadamente (COLWELL *et al.*, 2014).

Assim, nosso estudo computou os valores de abundância (número de indivíduos), riqueza de espécies, área basal e biomassa antes do incêndio (inventário já disponível anteriormente e que foi publicado em Sousa *et al.*, 2022) e após a passagem do fogo (inventário realizado por este estudo). Além das análises de perda de indivíduos para estudar sobre o impacto do fogo no bioma da Caatinga, foram calculados dados sobre a área basal pré-fogo e pós-fogo, riqueza pré-fogo e pós-fogo, abundância pré-fogo e pós-fogo e biomassa pré-fogo e pós-fogo.

#### **4.4 Mapeamento da extensão dos incêndios anuais na Caatinga**

Para a análise da extensão dos incêndios no bioma da Caatinga, foram consultados dados da plataforma MapBiomas para a composição de um mapa de incêndios no bioma ao longo de 20 anos, para se computar a área total sob impacto do fogo no bioma. Os dados estão disponíveis na plataforma do MapBiomas, que geoprocessa dados de ocorrência de incêndios em toda a extensão do Brasil. Para analisar a extensão de área que foi queimada na Caatinga ao longo dos anos, foram baixados os dados de áreas queimadas dentro dos limites do 'bioma Caatinga' (IBGE, 2019) e os dados foram abertos em um SIG para elaboração do mapa. O mapeamento da plataforma cobre o intervalo de 1985 a 2020, sendo anualmente atualizado e apresenta a extensão do fogo no território nacional ao longo de 36 anos (1985 a 2020). O mapeamento das cicatrizes dos incêndios no Brasil teve como base um mosaico de imagens disponibilizadas por satélites (Landsat) com uma resolução espacial de 30 m cobrindo todo o território nacional (MAPBIOMAS, 2020). Estes dados servem como dados de histórico das cicatrizes do fogo especificamente no território que abrange o bioma da Caatinga. Os dados foram baixados e usados para elaboração de um mapa de incidência do fogo na Caatinga.

#### 4.5 Análise de dados

Os dados de número de indivíduos por subplot de 10 x 10 m, DAS e altura de cada planta, e espécie de cada indivíduo, foram anotados em campo em planilhas de papel e foram posteriormente tabulados em laboratório em um software de planilha eletrônica. Cada indivíduo vivo amostrado teve seu registro inserido na planilha eletrônica e o conjunto dos dados antes e depois do incêndio foi analisado. Foi criada uma tabela fitossociológica resumindo a estrutura da vegetação antes e após o incêndio, mostrando os parâmetros principais da vegetação, como densidade absoluta e relativa, frequência absoluta e relativa e densidade absoluta e relativa (MORO; MARTINS, 2011). Os parâmetros de estrutura da vegetação foram calculados usando o software Fitopac 2.1, que calcula os dados fitossociológicos, gerando tabelas fitossociológicas (LONGHI *et al.*, 2000).

Para entender e avaliar os impactos da ação do fogo sobre a vegetação, como por exemplo redução da riqueza amostrada e da riqueza assintótica de espécies após o fogo, foi utilizado o método de rarefação e extrapolação dos dados usando o software EstimateS, que disponibiliza uma estimativa de quanto seria contabilizado se a amostragem fosse maior do que a realmente realizada. Isso dá uma melhor noção se a amostragem realizada foi intensa o suficiente para registrar próximo do valor real de riqueza de espécies da área estudada. Com os dados obtidos em campo e o auxílio desta ferramenta, foi possível gerar gráficos de rarefação, onde foi extrapolado o resultado, visto que a amostragem da riqueza total de uma área normalmente é subestimada pela amostragem.

Para as variáveis fitossociológicas, como riqueza registrada, abundância, área basal e também para a biomassa, avaliamos se a distribuição dos dados das subparcelas possuíam distribuição normal, por meio do software Past 4.06. Usando o mesmo software avaliamos se houve mudança significativa entre a riqueza, abundância, área basal e biomassa das parcelas antes e após o fogo, usando as subparcelas de 10x10 m como unidade amostral. Essas análises também foram realizadas no software PAST, mesmo software que usamos para construir os gráficos de boxplot mostrando as variáveis antes e após o fogo (HARMMER *et al.*, 2001).

Para o cálculo da área basal, foi utilizada a fórmula  $Ab = \pi D^2/4$ , onde D corresponde ao diâmetro medido e  $\pi$  corresponde a 3.14159265359. O cálculo da biomassa pode ser feito de maneira direta ou indireta, sendo a maneira direta um modo destrutivo, onde é necessário cortar várias plantas do local estudado, calculando o volume e pesando. Por isso, costuma-se fazer o cálculo da biomassa de maneira indireta, através de estimativas obtidas por

meio de equações de regressão onde não há prejuízo para a vegetação (FELFILI *et al.*, 2011). Neste trabalho, foi optado por utilizar uma das equações para biomassa na Caatinga, descrita logo a seguir:  $0,0643 \times (\text{D.A.S})^2 + 2,3948$ , conforme protocolo proposto por Sampaio e Silva (2005).

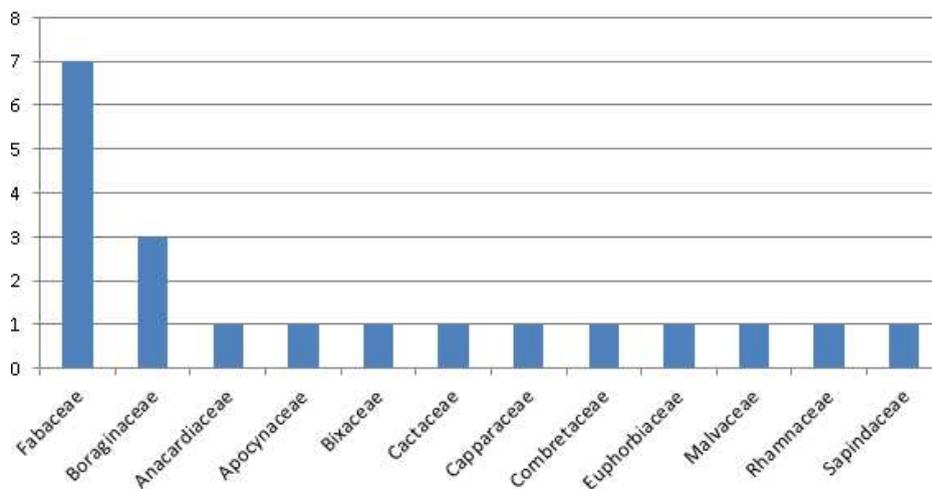
## 5 RESULTADOS

Na amostragem pré-fogo foram registrados um total de 704 indivíduos, distribuídos em 21 espécies e 13 famílias (Tabelas 1; Tabela 2), sendo as duas famílias mais ricas Fabaceae, que se destacou com 7 espécies, seguida por Boraginaceae, com 3 espécies. Após a passagem do fogo foram registrados 536 indivíduos, distribuídos em 20 espécies de 12 famílias. Também foi constatado que 34% dos indivíduos apresentavam vestígios de queimadas com caule e raízes carbonizadas, alguns casos mais severos que outros, e que 3% dos indivíduos estavam quebrados, 9% caídos e 19% indivíduos mortos. No total, 168 indivíduos registrados no levantamento inicial ou não foram encontrados, ou foram encontrados mortos, mostrando que a passagem do fogo eliminou 23,9% das árvores e arbustos presentes inicialmente.

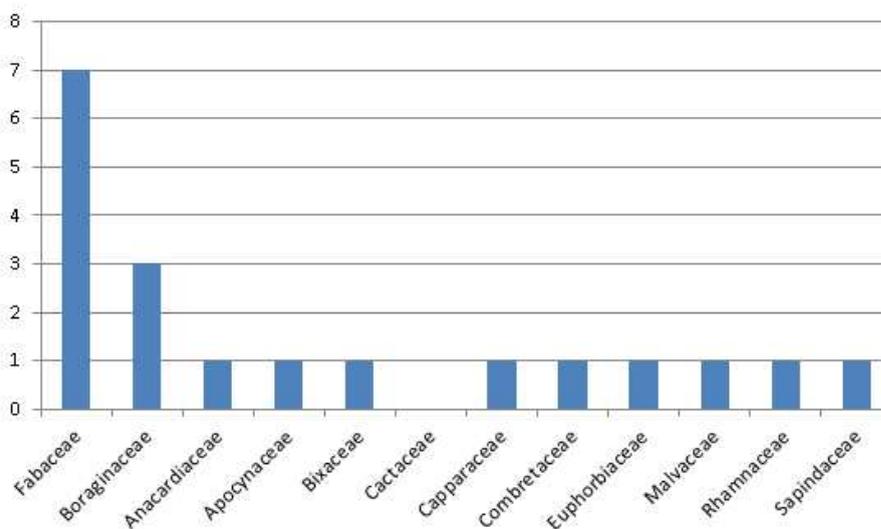
A análise geral mostrou que as espécies mais abundantes nas parcelas pré-fogo e pós-fogo foram: *Cordia oncocalyx* (Boraginaceae), *Combretum leprosum* (Combretaceae) e *Croton blanchetianus* (Euphorbiaceae). Apenas uma família desapareceu após a ação do fogo, a família Cactaceae (Figura 10), devido à morte dos indivíduos de *Cereus jamacaru*, que representava a única espécie da família dentro de nossas parcelas amostrais. A espécie era representada por apenas três indivíduos nas parcelas, que não estavam mais presentes após a passagem do fogo (Figura 11; Tabela 2).

Figura 10: Quantidade de espécies por família, amostradas em 0,75 hectares de parcelas fitossociológicas no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, Brasil, no período pré-fogo e pós-fogo.

### A- Quantidade de espécies por família pré-fogo



### Quantidade de espécies por família pós-fogo



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 11: Quantidade de indivíduos por espécie nos períodos pré-fogo e pós-fogo.

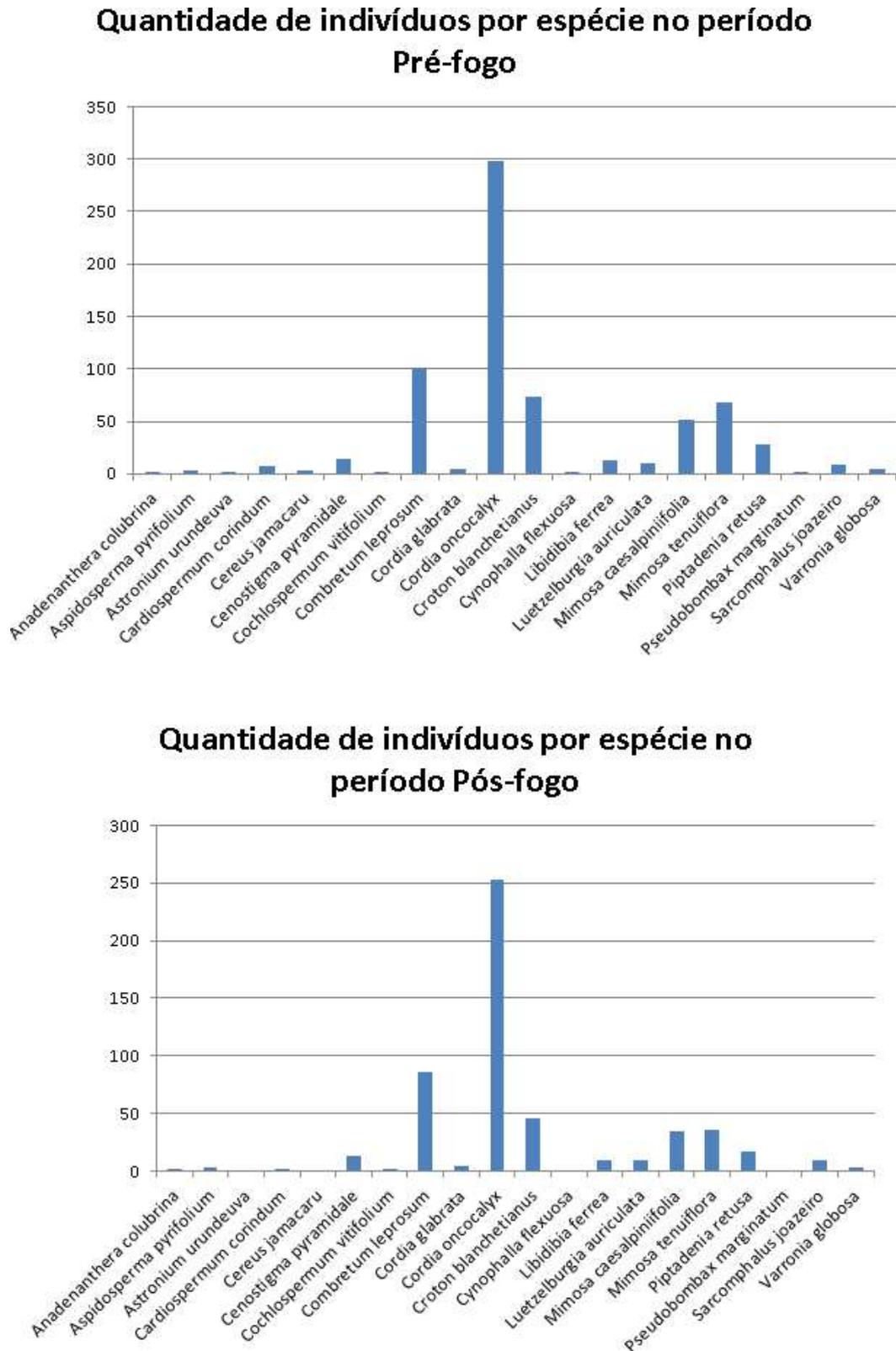


Tabela 1- Lista de espécies coletadas nas parcelas fitossociológicas do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará. Hábitos: Árv: Árvore; Arb: Arbusto; Subs: Substrato; Trep: Trepadeira. Domínios fitogeográficos: Caa: Caatinga; Cerr: Cerrado; Ama: Amazônia; Ma: Mata Atlântica; Pan: Pantanal; Pam: Pampas.

Família	Espécie	Nome Popular	Formas de Vida	Origem	Domínios
Boraginaceae	<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão	Pau-branco	Árvore	Nativa	Caatinga
Fabaceae	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema-preta	Arb, Árv	Nativa	Caatinga, Cerrado
Combretaceae	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Mufumbo	Arb, Árv, Trep	Nativa	Ama, Caa, Cerr, Ma
Fabaceae	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	Sabiá	Arb, Árv	Nativa	Caatinga
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Marmeleiro	Arb, Árv	Nativa	Caatinga
Fabaceae	<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G.Ribeiro, Seigler & Ebinger	Jurema-branca	Arb, Árv	Nativa	Caatinga
Fabaceae	<i>Cenostigma nordestinum</i> Gagnon & G.P.Lewis	Caatingueira	Arb, Árv	Nativa	Caatinga
Fabaceae	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	Pau-ferro	Árvore	Nativa	Caa, Cerr, Ma

Rhamnaceae	<i>Sarcomphalus joazeiro</i> (Mart.)Hauenschild	Juazeiro	Árvore	Nativa	Caatinga
Sapindaceae	<i>Cardiospermum corindum</i> L.	Balãozinho	Trepadeira	Nativa	Caa, Cerr, Ma
Fabaceae	<i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemão) Ducke	Pau-pedra	Árvore	Nativa	Caa, Cerr, Ma
Boraginaceae	<i>Varronia globosa</i> Jacq.	-	Arbusto	Nativa	Caa, Ma
Boraginaceae	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.)A.DC.	Louro-branco	Árvore	Nativa	Caa, Cerr
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico-branco	Arb, Árv	Nativa	Caa, Cerr, Ma
Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i> DC.	Mandacaru	Árv, Suculenta	Nativa	Caa, Cerr
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	Pereiro	Árvore	Nativa	Caa, Cerr
Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Algoão-do-mato	Arb, Árv	Nativa	Ama, Caa, Cerr, Ma
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Urundeuva	Árvore	Nativa	Caa, Cerr, Ma, Pam, Pan
Malvaceae	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A.Robyns	Imbiratanha	Árvore	Nativa	Caa, Cerr, Pan

Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.)J.Presl	Feijão-bravo	Arbusto	Nativa	Ama, Caa, Cerr, Ma, Pan
-------------	--	--------------	---------	--------	-------------------------

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 2- Número de indivíduos de cada espécie coletados no período do pré-fogo e pós-fogo em parcelas fitossociológicas do Refúgio de VidaSilvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, Brasil, demonstrando a quantidade de indivíduos de cada espécie no período pré-fogo e pós-fogo.

Nº	Família	Espécie	IndivíduosPré-fogo	Indivíduos Pós-fogo
1	Boraginaceae	<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão	298	253
2	Fabaceae	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	68	36
3	Combretaceae	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	101	86
4	Fabaceae	<i>Mimosa caesalpiniifolia</i> Benth.	52	35
5	Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	73	46
6	Fabaceae	<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G.Ribeiro, Seigler & Ebinger	28	17
7	Fabaceae	<i>Cenostigma nordestinum</i> Gagnon & G.P.Lewis	14	13
8	Fabaceae	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	13	10
9	Rhamnaceae	<i>Sarcomphalus joazeiro</i> (Mart.)Hauenschild	9	9

10	Sapindaceae	<i>Cardiospermum corindum</i> L.	7	2
11	Fabaceae	<i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemão) Ducke	10	10
12	Boraginaceae	<i>Varronia globosa</i> Jacq.	4	3
13	Boraginaceae	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A.DC.	4	4
14	Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	2	2
15	Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i> DC.	3	0
16	Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	3	3
17	Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	2	2
18	Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	1	1
19	Malvaceae	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A.Robyns	1	1
20	Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.)J.Presl	1	1

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

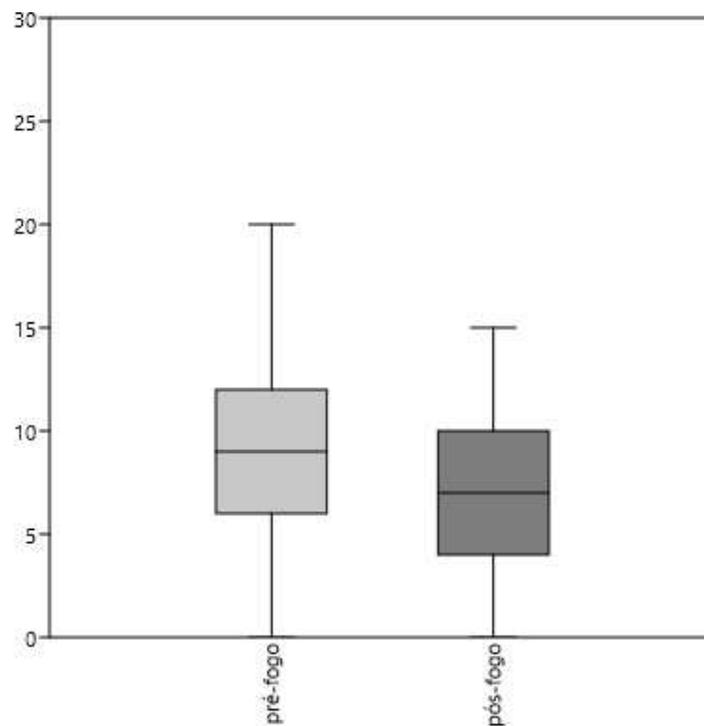
Tabela 3: Média e desvio padrão das variáveis abundância (número de indivíduos), riqueza (número de espécies), área basal e biomassa em subparcelas de 10 x 10 metros no levantamento fitossociológico pré e pós-fogo, na vegetação de caatinga da Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, município de Sobral, Ceará, Brasil.

	<b>Média pré-fogo</b>	<b>Média pós-fogo</b>	<b>Desvio Padrão pré-fogo</b>	<b>Desvio Padrão pós-fogo</b>	<b>Valor de p dp teste t (p&lt;0,05)</b>
<b>Abundância (n° ind.)</b>	<b>9,38</b>	<b>7,14</b>	<b>4,26</b>	<b>3,68</b>	<b>0,001</b>
<b>Riqueza (n° spp.)</b>	<b>3,4</b>	<b>2,82</b>	<b>1,45</b>	<b>1,44</b>	<b>0,02</b>
<b>Biomassa (kg/ha)</b>	<b>942,19</b>	<b>752,38</b>	<b>597,59</b>	<b>597,4</b>	<b>0,05</b>
<b>Área Basal (cm<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>2978,61</b>	<b>2328,21</b>	<b>1632,61</b>	<b>1645,31</b>	<b>0,01</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A abundância dos indivíduos lenhosos, representadas por árvores e arbustos com diâmetro  $\geq 3$  cm nas parcelas totalizava no estudo inicial 704 indivíduos e após o incêndio reduziu-se para 536 indivíduos, o que se mostra como uma redução considerável. De acordo com o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, os dados de antes e depois do fogo referente à abundância não diferem da normalidade, logo, foram analisados com um teste t e houve diferença significativa na abundância de indivíduos antes e após o fogo ( $p = 0,001$ ), com redução da média do número de indivíduos de 9,38 para 7,14 indivíduos por subparcelas de 10x10 m (Tabela 3).

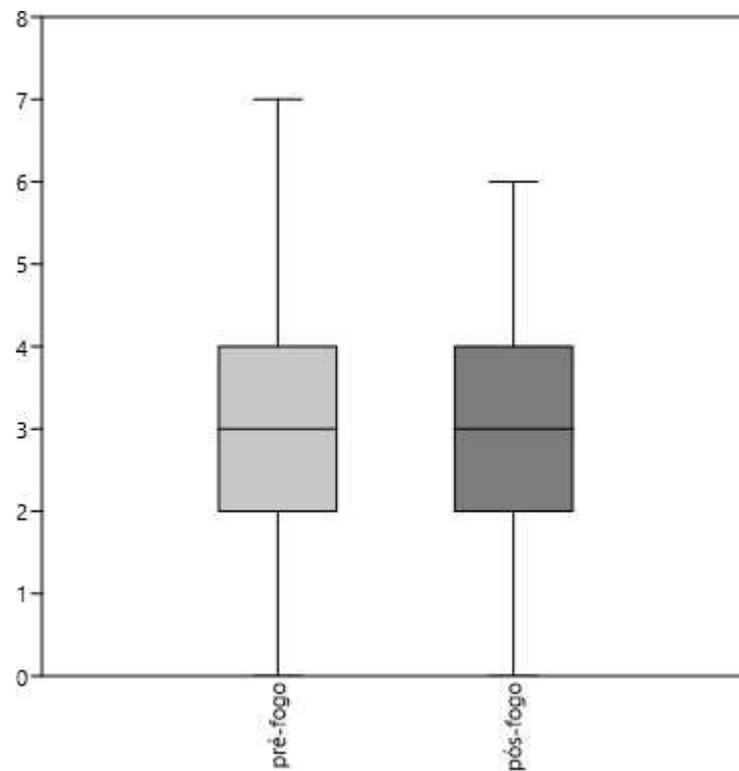
Figura 12: Boxplots dos dados de abundância de indivíduos lenhosos (árvores e arbustos) com diâmetro ao nível do solo  $\geq 3\text{cm}$  nas parcelas antes e após o fogo na vegetação de Caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A riqueza, que representa as espécies encontradas por parcelas, teve uma pequena, mas significativa redução após a ação do fogo ( $p=0,02$ ), como pode ser observado na figura 13.

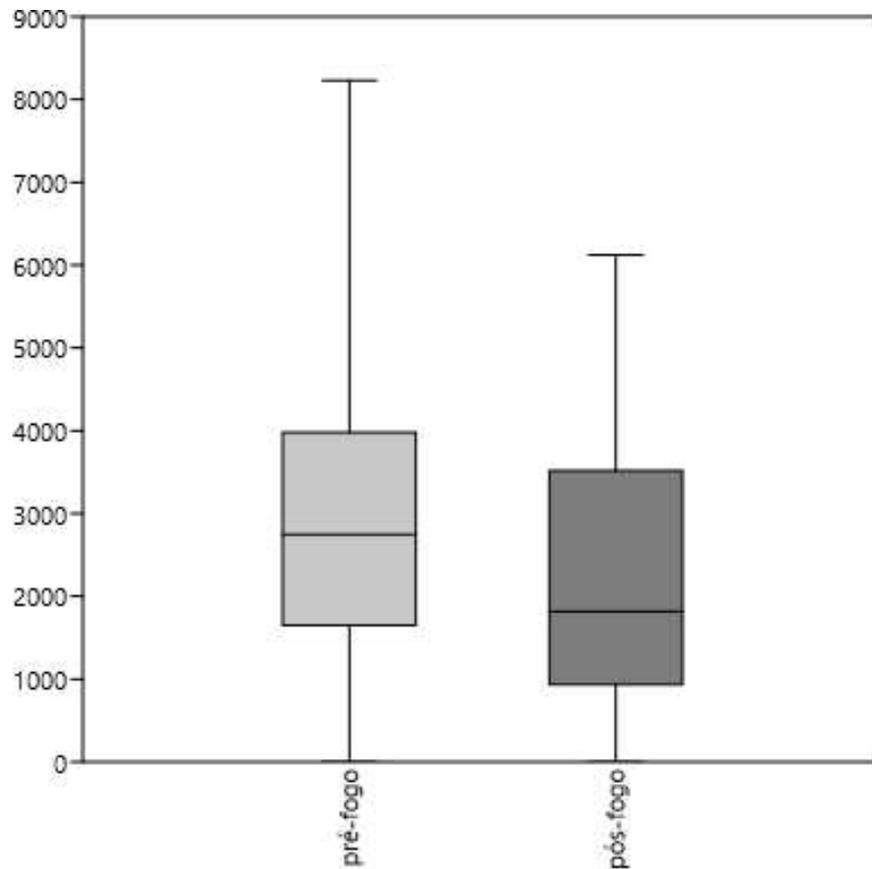
Figura 13: Boxplots dos dados de riqueza das parcelas antes e após o fogo na vegetação de caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, feita através do software past.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A média da área basal antes do início do fogo representava 2978,61 cm<sup>2</sup>/ha e após o incêndio, essa média caiu para 2328,21 cm<sup>2</sup>/ha. Houve uma redução significativa ( $p = 0,01$ ) de 21,8% na média de área basal por subparcela de 10x10 m antes e após o fogo (Tabela 3, Figura 14).

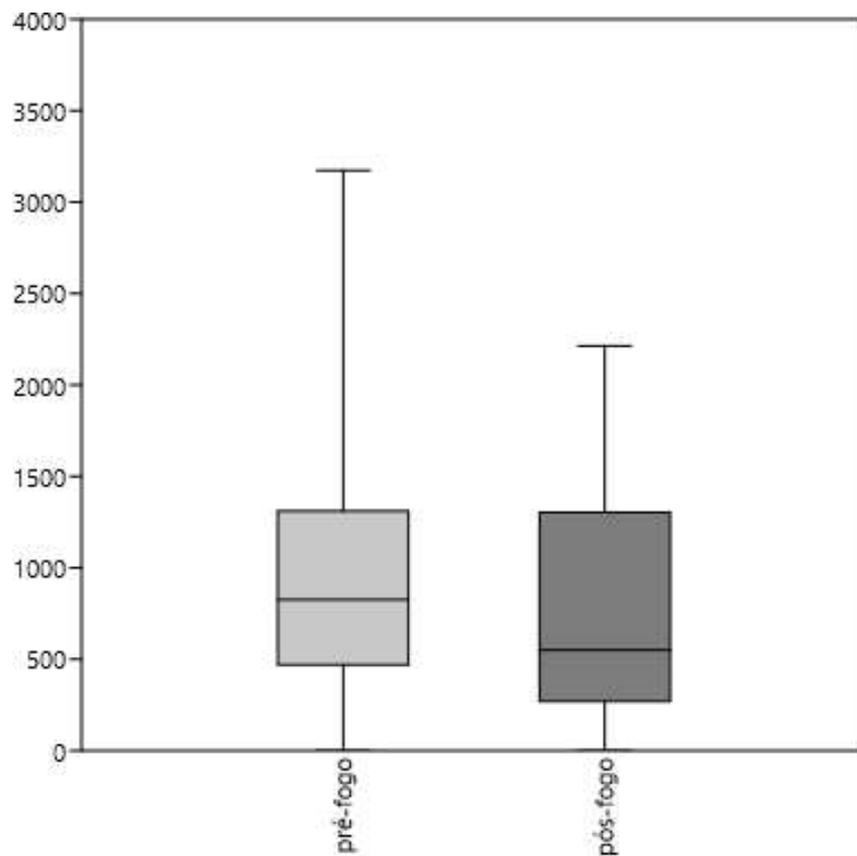
Figura 14: Boxplots da área basal das plantas lenhosas nas parcelas antes e após o fogo na vegetação de caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Por fim, a biomassa total das parcelas teve uma redução de 70.664kg/ha para 56.428kg/ha com a ação do fogo na área estudada, sendo uma considerável perda de 14.236 kg/ha (20,1%), que foi estatisticamente significativa ( $p=0,05$ ), como pode ser observado na figura 15.

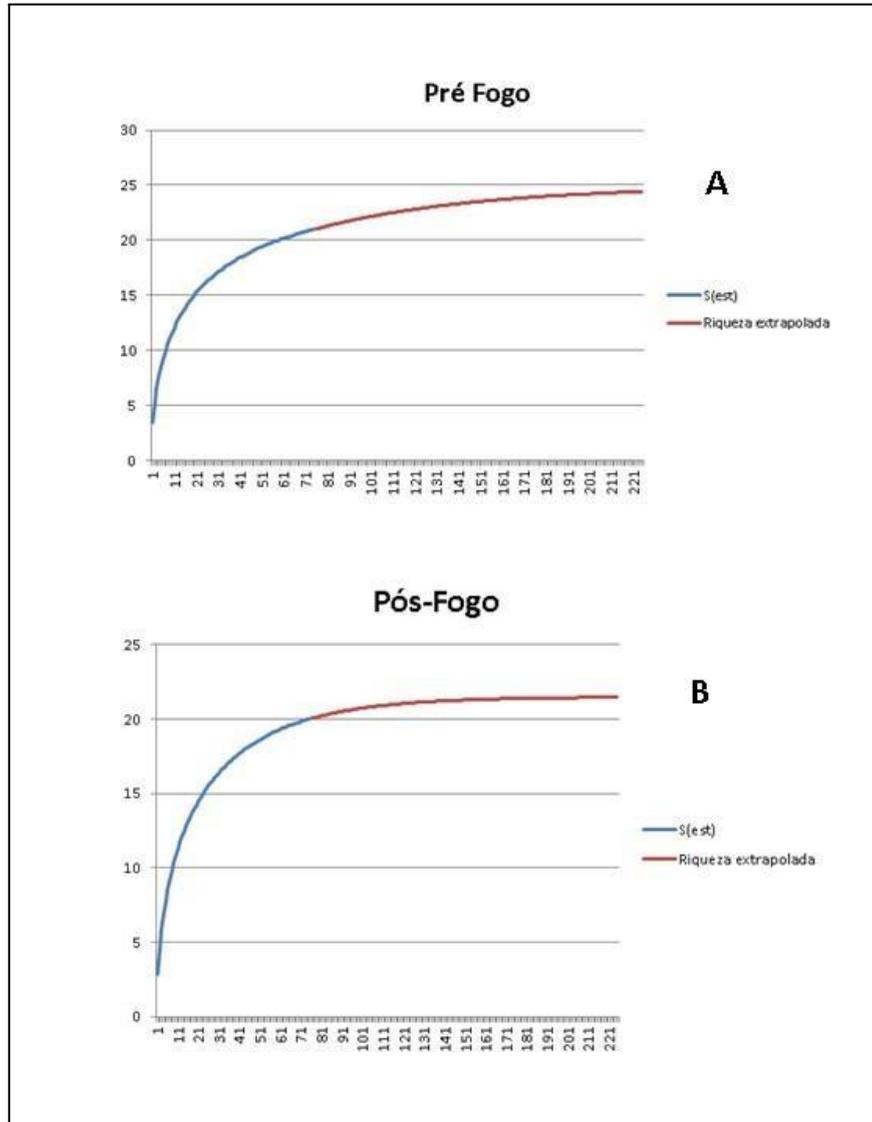
Figura 15: Boxplots dos dados de biomassa das parcelas antes e após o fogo na vegetação de caatinga na Reserva de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, feita através do software past.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em relação à riqueza amostrada e riqueza assintótica, na análise pré-fogo, a rarefação e a extrapolação dos dados indica que mesmo que a amostragem tivesse sido três vezes maior que a realizada, teriam sido amostradas 24 espécies, sugerindo que a riqueza efetivamente registrada de 21 espécies está próxima da estabilidade na área (Figura 16). Entretanto, na análise pós-fogo, a extrapolação dos dados obtidos e analisados no software EstimateS, mostrou que se a amostragem realizada tivesse sido três vezes maior, teriam sido encontradas 22 espécies das 20 efetivamente encontradas durante a coleta pós-fogo, sugerindo que o número total de espécies da vegetação sofreu uma leve redução após o fogo (e, como verificamos, também houve uma redução significativa na riqueza média por subparcelas).

Figura 16: Curva de rarefação dos dados obtidos durante a coleta fitossociológica antes do fogo (pré-fogo) (A) e após a área ser atingida por um incêndio (pós-fogo) (B), ambos coletados no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### 5.1. Mapeamento dos incêndios e total de área queimada na Caatinga

De acordo com dados da plataforma MapBiomas (2020), houve um total de 13.770.674 ha queimados na Caatinga ao longo dos anos de 1985 a 2020. Como pode ser observado na Figura 17, os incêndios são bem distribuídos ao longo do período observado, com picos na década de 1980, um crescimento em 2015 e uma média de

382.519 ha por ano, o que é um indicativo de o quão impactado a Caatinga foi e continua sendo por esse fator. Como é possível ver na Figura 17, houve uma diminuição da extensão de incêndios na última década em relação aos anos anteriores, seguido de novo crescimento. Observando o mapa (Figura 18), é possível perceber uma maior ocorrência de incêndios no estado do Piauí.

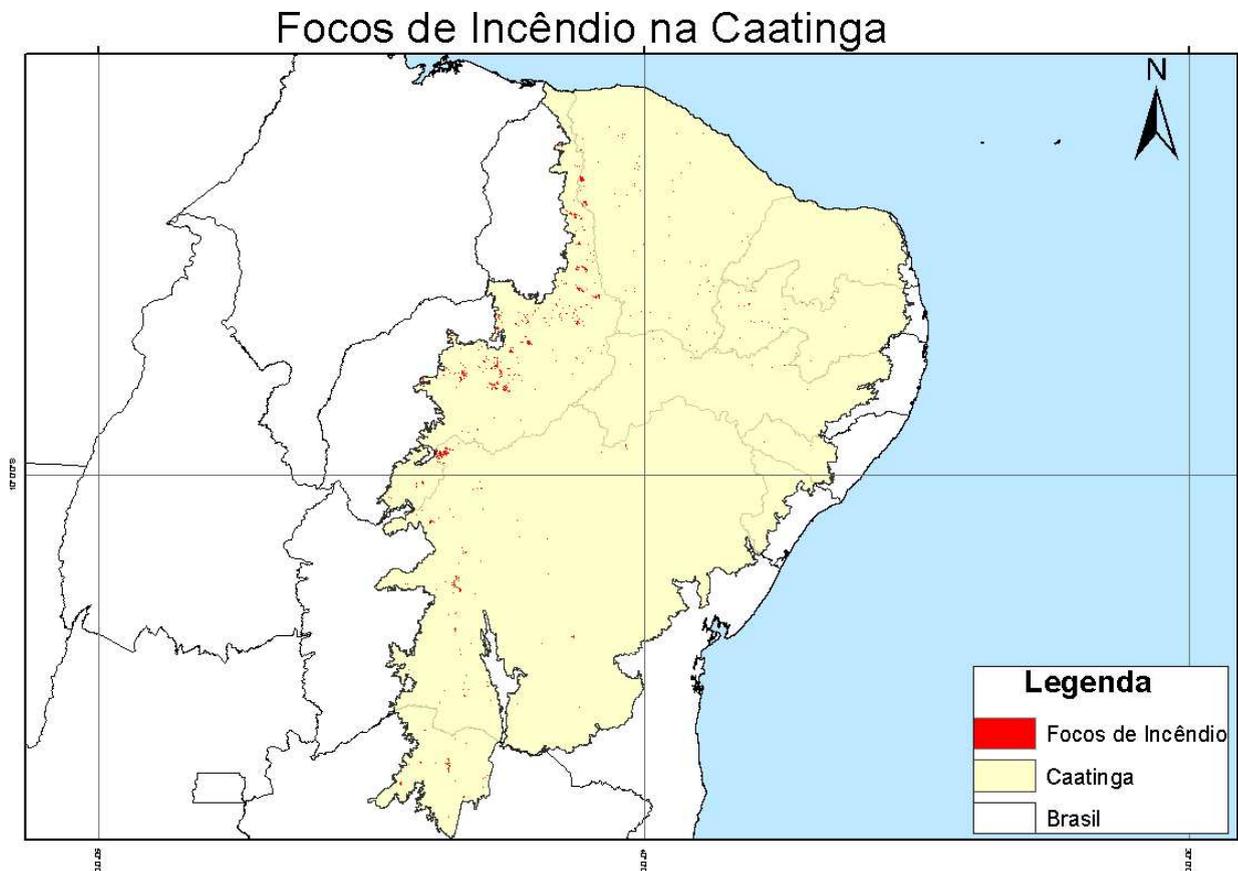
Figura 17: Área total, em hectares, da Caatinga queimada por ano, de 1985 a 2020.

Dados acessados através da plataforma MapBiomas Fogo em 2023.



Fonte: MapBiomas (2023)

Figura 18: Mapa com os dados de queimadas dos anos 2000 a 2020 adaptadas da plataforma de dados geográficos Mapbiomas (MapBiomas Fogo), para ilustrar os focos de incêndios registrados na região.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## 6 DISCUSSÃO

O efeito do fogo sobre a Caatinga traz diversos impactos sobre a vegetação. Mesmo com o impacto negativo sobre o meio ambiente, o fogo continua sendo utilizado amplamente por vários motivos, como por exemplo, para o preparo da terra para a agricultura. Nunes *et al.* (2009), em sua pesquisa sobre a modificações de indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade de um solo inserido na área da Caatinga que foi atingido por queimadas com fins de manejo agricultáveis, discute que as cinzas provenientes das queimadas inicialmente possuem um efeito fertilizador para a agricultura, mantendo os indicadores físicos estáveis. Todavia, o processo de desmatamento para o preparo do solo, assim como a queima, contribui para a redução dos indicadores microbiológicos e da fauna edáfica, mostrando um impacto ambiental considerável apesar do benefício para a agricultura.

A incidência do fogo no Refúgio de Vida Silvestre da Pedra da Andorinha não foi para fins agricultáveis, visto que se trata de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, mas sim de uma queimada para preparo de solo em uma fazenda nas redondezas, mas que saiu de controle e atingiu a área. Pudemos observar vários aspectos da degradação da vegetação a partir dos impactos nos indicadores fitossociológicos do local: houve redução do número de indivíduos (abundância) por parcela, da riqueza, da área basal e da biomassa total armazenada no ecossistema. Também houve uma redução no número total de espécies, com o desaparecimento de uma espécie, *Cereus jamacaru*.

Foi detectada uma redução de 23% do número total de indivíduos, o que é um impacto considerável advindo diretamente da ação do fogo e que implica na degradação ambiental da área. Além disso, foi observado que a altura média das árvores diminuiu em comparação aos dados da primeira amostragem, sugerindo que houve queda de árvores assim como a redução da altura média das plantas vivas por perda de biomassa aérea, ainda que com a sobrevivência do indivíduo. Também foi verificado que o diâmetro médio da comunidade diminuiu, refletindo a mortalidade de partes das plantas ou de parte dos ramos de plantas que permaneceram vivas, mas perderam alguns dos seus galhos.

Podemos ver que a passagem do fogo reduziu claramente a abundância de plantas nas parcelas, assim como a área basal e biomassa, embora não tenha tido um efeito tão claro na riqueza por parcela. A redução da abundância diminuiu a diversidade, o que pode impactar os serviços ecossistêmicos oferecidos pela Caatinga.

Rayol *et al.* (2020) discorre que indivíduos que possuem espessura e altura menores podem ser mais afetados pela ação do fogo podendo, assim, explicar o desaparecimento dos três indivíduos de *Cereus jamacaru* (Cactaceae) que se encontravam na amostragem pré-fogo, assim como o fato de serem uma espécie suculenta, visto que a ação do fogo na REVIS Pedra da Andorinha foi forte, como pode ser observado na Figura 19. Observamos em campo que foram derrubadas até mesmo indivíduos de grande porte. Em um comparativo de dados, houve uma diminuição de 168 indivíduos em relação à coleta original devido ao incêndio, o que representa uma diminuição média de 2,24 indivíduos por sub-parcela de 10x10 m.

Em relação à riqueza, houve uma redução na riqueza total de apenas uma espécie, *Cereus jamacaru* (Cactaceae) que tinha apenas três indivíduos no total de todas as parcelas. Apesar da redução geral ter sido de apenas uma espécie, a maioria das espécies reduziu sua abundância (perda de indivíduos), que sofreram mortalidade com o fogo, gerando redução nas populações, mesmo quando as espécies continuaram presentes na amostragem.

Em seu trabalho, Sampaio (1993) aponta que em um ambiente de caatinga, após a ação do fogo, o porte da vegetação arbustivo-arbóreo tende a ser reduzida, o que foi observado em campo neste estudo com muitas árvores caídas, algumas já mortas, outras ainda com vida e rebrotando, o que impactou no porte da vegetação (SAMPAIO, 1993).

A espécie mais abundante durante o levantamento em campo foi a *Cordia oncocalyx* (Boraginaceae), também conhecida popularmente como “pau-branco”, que é uma espécie arbórea decídua endêmica da Caatinga e frequente em áreas de caatinga do Ceará. Segundo Guimarães (2013), esta espécie apresenta um alto valor econômico para a região visto que sua madeira é de boa qualidade e por isso é utilizada na construção de móveis, construções pesadas e instrumentos agrícolas, além de usos farmacológicos e potencial apícola que a espécie apresenta.

Dados de geoprocessamento registrando focos de incêndio nos biomas brasileiros disponibilizados pela plataforma MapBiomas mostram o total de áreas queimadas por ano na Caatinga. Analisamos os dados entre os anos de 2000 a 2020 e verificamos que ao longo do período estudado, sempre houve uma quantidade considerável de queimadas, com a ação do fogo sendo uma constante no território da Caatinga, e que apesar de que em alguns momentos essa incidência diminuiu, constata-se que o total de área queimada por ano voltou a ter um avanço significativo em alguns anos mais recentes. De acordo com Alves (2021), não apenas na Caatinga, mas os demais domínios do planeta enfrentam problemas ambientais,

muitos deles resultantes de queimadas, sejam naturais ou pela ação antrópica, o que gera degradação ambiental com impacto forte e duradouro no ambiente. Vale ressaltar que o impacto das queimadas tem um peso maior na Caatinga devido às condições naturais de clima seco, tornando-o propício ao alastramento do fogo (ALVES, 2021).

É fato que existem condições adversas do ecossistema que facilitam a ocorrência de queimadas, porém existe um longo histórico de práticas humanas de uso do fogo que agravam esse fenômeno. De acordo com Albuquerque *et al.*, (2018), a Caatinga já passa por muitos anos de exploração de madeira e com ela vem o desmatamento, as queimadas, além da pecuária agressiva e práticas agrícolas não sustentáveis que tem contribuído para a deterioração do bioma assim como a aceleração do processo de desertificação. Os dados sobre a riqueza, por exemplo, apontam que a riqueza da coleta pré-fogo foi superior às encontradas na coleta pós-fogo, demonstrando que a ação do fogo foi responsável pela diminuição da riqueza na área (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018).

Figura 19: Árvore queimada e caída localizada na área que ocorreu o incêndio no Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha, Sobral, Ceará, após um incêndio.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Segundo Souza (2015), a agropecuária se apresentou como um dos fatores que mais afeta o bioma da Caatinga. É uma parte muito importante da economia sertaneja, porém é responsável pela degradação dos ecossistemas desde o início da ocupação do bioma com a supressão da vegetação nativa para a produção de alimentos em larga escala e criação de animais; uso indiscriminadamente do fogo; aplicação de agrotóxicos indiscriminadamente e a retirada da vegetação sem a devida reposição, diminuindo assim a fertilidade do solo e agravando a degradação (SOUZA *et al.*, 2015).

No experimento realizado por NUNES *et al.* (2009), foi observado que para a finalidade da agricultura, as queimadas tiveram um efeito de curto prazo positivo, visto que as cinzas atuaram como um efeito fertilizador do solo, no entanto, o impacto sobre as espécies animais e vegetais foi bastante negativo. No estudo também foi aplicado o processo de pousio por cinco anos, o que demonstrou que houve nesse período uma restauração do solo de maneira positiva, tendo melhorias nos indicadores biológicos que com as queimadas

foram atingidos.

Entretanto, como efeito geral, vemos que a ação dos incêndios resulta na redução da abundância, riqueza e biomassa da vegetação. Vimos que uma parte razoável da biomassa viva foi convertida em gases do efeito estufa ou foi transformada em biomassa morta. Em um contexto onde é preciso captar gases de efeito estufa, as queimadas desreguladas trazem um duplo prejuízo. Tanto afetam a qualidade e diversidade dos ecossistemas atingidos quanto aumenta a emissão de gases de efeito estufa que, de outro modo, estariam estocados na biomassa viva.

Em países tropicais, a liberação de carbono devido às mudanças no uso do solo é bastante significativa visto que extensões significativas de vegetação são desmatadas para o uso agrícola (BERTANI *et al.*, 2014). Da mesma forma que as queimadas implicam em uma maior liberação de carbono para a atmosfera, a recuperação da vegetação implicaria em um amplo estoque natural de carbono na biomassa, ou seja, a proteção da vegetação contra o fogo não só traria benefícios para o próprio bioma mas também em âmbito maior ao estocar o carbono na biomassa viva. Foi nesse sentido que o PMNC (Plano Nacional sobre a Mudança do Clima) foi criado com o intuito de diminuir as emissões de gases de efeito estufa e uma das formas de atingir esse objetivo é a redução do desmatamento e das queimadas (BERTANI *et al.*, 2014)

As queimadas e suas consequências podem ser imediatas ou à longo prazo e abrangem alterações físicas, químicas e biológicas que impactam os importantes serviços ecossistêmicos que os biomas oferecem além do estoque de carbono, a regulação hídrica, os sistemas de depuração da água, a reciclagem de matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, o controle de espécies exóticas invasoras e os processos naturais como a polinização (FERRAZ *et al.*, 2019). É nesse cenário que trabalhos como este se fazem importantes pois para mensurar os impactos e tomar as medidas cabíveis a fim da proteção ambiental, é necessário primeiro conhecer o problema e sua real dimensão.

## 7 CONCLUSÃO

A partir deste estudo, pudemos constatar que a Caatinga encontra-se em um grau elevado de degradação e apesar de ser um domínio exclusivo do território brasileiro, ela possui um baixo grau de proteção legal, com pouco de sua extensão protegida por unidades de conservação. Isso, somado aos vários impactos ao qual vem sendo submetida, como desmatamento, sobrepastoreio e queimadas, leva a Caatinga a um perigoso caminho de degradação da biodiversidade.

É válido ressaltar que os resultados obtidos através do levantamento fitossociológico são apenas uma amostra dos impactos que atingiram a área afetada, o impacto total foi bem maior e por ser difícil mensurar 100% dos efeitos gerados à curto, médio e longo prazo, este trabalho se propôs a mensurar uma amostragem e com o auxílio de softwares, projetar o que pode ser o impacto geral, mas ainda assim não se tem como saber o real impacto, apenas ter uma amostra dele que já indicou que foi um impacto bastante negativo para a área.

Constatou-se que a atividade antrópica tem uma ligação direta com o número de queimadas, como se pode evidenciar com o estudo de caso deste trabalho onde o fogo na unidade de conservação começou a partir da ação humana no entorno e se alastrou para a reserva. O número de unidades de conservação que abrange a Caatinga não é expressivo e as que existem, têm que lidar com impactos antrópicos como as queimadas, dificultando, assim, ainda mais o dever que as unidades de conservação de proteger aquele espaço.

Avaliando a biomassa, área basal, riqueza e abundância, foi observado que houve uma alteração destas variáveis advinda diretamente da ação do fogo, constatando assim, que o fogo é algo impactante no meio natural e que a ação humana tem um alto poder destrutivo sob o ambiente. Constatando isso dentro de uma unidade de conservação, onde é proibido o uso do fogo, podemos concluir que a baixa porcentagem de proteção dos ecossistemas que incluem a Caatinga não são suficientes para a proteção do domínio e mesmo com as leis, ainda assim há uma baixa fiscalização e punição que seja eficiente para inibir tais acontecimentos.

Foi possível observar também que mesmo com a incidência de focos de incêndios, a conservação do Refúgio de Vida Silvestre Pedra da Andorinha é relevante, ao constatar a vasta presença de espécies nativas e com numerosos indivíduos representando diversas espécies nativas da Caatinga. Destacamos também a importância da REVIS para a fauna, devido à presença de aves migratórias que se utilizam da unidade de conservação para

sua reprodução, além de espécies ameaçadas de mamíferos. Concluimos que a REVIS se faz muito importante para a conservação da diversidade de fauna e flora do local como um refúgio para salvaguardar a biota local do desmatamento, mas que mesmo áreas protegidas estão expostas a impactos que vêm do entorno, como incêndios antrópicos. Mostramos aqui que o fogo é um agente impactante que prejudica a vegetação e deve-se tomar medidas de controle para que incêndios não mais afetem as unidades de conservação na Caatinga.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. Os domínios de natureza do Brasil: **potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALBUQUERQUE, U. P., *et al.* Socioecologia da Caatinga. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 4, p. 40-44, Oct. 2018.
- ANTOGIOVANNI, Marina *et al.* Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dryforest fragments. **Journal of Applied Ecology**. Vol.57, n.10, 2018.
- ALVES, J.J.A. Degradação da Caatinga: Uma Investigação Ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v.22, n3, p. 126-135, 2009.
- ALVES, J.M.B., *et al.* Um Estudo de Focos de Calor no Bioma Caatinga e suas Relações com Variáveis Meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.36, n.3, p. 513-527, 2021.
- ARAÚJO, S.M.S. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica Revista Científica da FASETE**, n.5, 2011.
- ARAÚJO FILHO, J.A. *et al.* Manejo agroflorestal de Caatinga: uma proposta de sistema de produção. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JUNIOR, R.N.; ROMERO, R.E.; SILVA, J.R.C. **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: UFC, 2000, p. 47-57.
- ARAÚJO, F. S. *et al.* **Análise das variações da biodiversidade do Bioma Caatinga**. Suporte a estratégias regionais de conservação. Brasília (DF): Ministério do meio Ambiente, 2005. p. 15-33.
- ARGIBAY, D. S. *et al.* A long-term assessment of fire regimes in a Brazilian ecotone between seasonally dry tropical forests and savannah. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 1-13, 2020.
- BARROS, I.O., *et al.* Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro e velame da caatinga brasileira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 192-198, 2013. BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 30, n. 1,2, 2000.
- BERTANI, Gabriel *et al.* **Análise das alterações no estoque de carbono devido às queimadas no Cerrado entre 2002 e 2008**. XI Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal.
- Brazil Flora Group. (2015). Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, 66(4), 1085–1113. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>
- Brazil, & Ministry of the Environment. (2015). Fifth National Report to the Convention on Biological Diversity: Brazil. Ministry of the Environment.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I,II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomás.** Brasília, 2004. BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomás.** Brasília, 2019.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Análise da ocorrência do fogo em áreas protegidas da Caatinga e Cerrado.** 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados.** Brasília, 2022.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002.** Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. Brasília, 2002.

BRASIL. **Decreto Nº 1252 de 18 de agosto de 2010.** Dispõe da criação da unidade de proteção integral na categoria refúgio de vida silvestre a área denominada Pedra da Andorinha. Sobral, 2010.

CAMPELLO, L.G.B.O problema da desertificação. **Revista de Direito Ambiental**, 12(45): p.129-166, 2007.

CARNEIRO, J.L., *et al.* Cactáceas da Caatinga: Estratégias de agregação de valor como meio de conservação da sua biodiversidade. **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**, p.346-358. 2019.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Estado do Ceará.** 2007.

CBME. CBMCE e CIOPAER atuam em incêndio florestal na Pedra da Andorinha, em Sobral. **Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social**, 2020. Disponível em: <https://www.bombeiros.ce.gov.br/2020/10/24/cbmce-e-ciopaer-atuam-em-incendio-florestal-na-pedra-da-andorinha-em-sobral/>; Acesso em: 16/08/2023.

CCD- Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação. Tradução: Delegação de Portugal. Lisboa (PT): **Instituto de Promoção Ambiental**, 1995. 55p.

Colwell, R. K., & Elsensohn, J. E. (2014). EstimateS turns 20: Statistical estimation of species richness and shared species from samples, with non-parametric extrapolation. **Ecography**, 37(6), 609–613. <https://doi.org/10.1111/ecog.00814>

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: 2016. 252p.

COSTA, E.P.; *et al.* Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação – estudo de caso na estação ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 19, n. 2, p. 195-206, 2009.

- COSTA, L.R.F; *et al.*. Geomorfologia do Nordeste setentrional brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2020.
- COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. **Acta bot. bras.** 20(1): 13-23. 2006.
- DUARTE, J.; *et al.* Clima e qualidade de vida na cidade de Sobral: buscando adimensão cotidiana dos estudos climáticos. **Revista Casa da Geografia de Sobral**, v. 6,n.1., p. 95-108. 2004.
- FERRAZ *et al.* **Marco referencial em serviços ecossistêmicos**. Brasília, DF : Embrapa,2019. 160 p. : il. color.
- FEARNSIDE, P.M. 2002. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira . **Estudos Avançados**. 16, 44 (abr. 2002), 99-123.
- FELFILI, Jeanine Maria *et al.* Fitossociologia no Brasil: **Métodos e Estudos de Casos**. Universidade Federal de Viçosa, edi. UFV, vol.1, 2011.
- FERNANDES, M. F.; *et al.* An updated plant checklist of the Brazilian Caatingaseasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, 174, 2020.
- FERNANDES, M.F.; *et al.* Vegetação e Flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n.4, p. 51-56, 2018.
- FERRI, M.G. Vegetação brasileira. **Ed. Itatiaia**, São Paulo, 1980.
- FIASCHI, P.; *et al.* Review of plant biogeographic studies in Brazil. **Journal of Systematics and Evolution**, 47(5), p. 477–496, 2009.
- FIGUEIREDO, M. A. A cobertura vegetal do Ceará: Unidades fitoecológicas. In: Ceará. **Atlas do Ceará**. Edições IPLANCE, Fortaleza. p. 28-29, 1997.
- GIULIETTI, A.M., *et al.* Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga.Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, p. 48-90, 2004.
- GUIMARÃES, I. P. *et al.* Pau branco (*Cordia oncocalix* Allemão) -Boraginaceae: Árvore endêmica da Caatinga. **Revista Verde** (Mossoró –RN -BRASIL), v.8, n. 5, p. 31-39, 2013.
- HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T., & Ryan, D. T. (2001). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Electronica**, 4(1), 1–9.
- INPE. Programa Queimadas. Banco de dados de Queimadas. 2018. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>.
- LEAL, I. R., *et al.* Ecologia e conservação da caatinga. **Ed. Universitária**, Recife, p. 695-715, 2005.

LEITE, Luiz Fernando Carvalho *et al.* **Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos.** 2<sup>a</sup> Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas ICID+18, 16-20 de Agosto de 2010, Fortaleza - Ceará, Brasil.

LIESENFELD, M.V.A., *et al.* Ecologia do fogo e o impacto na vegetação da Amazônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 2016.

LONGHI, S. J., *et al.* Aspectos fitossociológicos de fragmento de Floresta Estacional Decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, 10(2), P. 59–74, 2000.

MACIEL, B.A. Unidades de conservação no bioma Caatinga. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. (orgs.) **Uso Sustentável e Conservação Dos Recursos Florestais Da Caatinga.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

MARQUES, F. A., *et al.* Solos do Nordeste. **Embrapa**, 2014.

MARQUES, R. O, *et al.* Fatores controladores da formação de voçorocas na microbacia hidrográfica Zé Açú, Parintins-AM. S. **Geomorfologia, Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10. p. 1-10, 2014.

MORO, M. F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, 66(3), P. 717–743, 2015.

MORO, M.F., *et al.* A phytogeographical metaanalysis of the semiarid Caatinga Domain in Brazil. **Bot. Rev.**, v. 82, p. 91-148, 2016.

MUCINA, L. Biome: evolution of a crucial ecological and biogeographical concept. **New Phytologist**, [S.L.], v. 222, n. 1, p. 97-114, 2018.

NIMER, E. Climatologia Nordeste da Região do Brasil Introdução Climatologia Dinâmica. **R. Bras. Geog.**, Rio de Janeiro, 34(2) : 3-51, abr.jun. 1972.

NOVAIS, Giuliano Tostes. Climas do Brasil: **classificação climática e aplicações.** 1<sup>a</sup> edição, Porto Alegre, RS: Totalbooks: 2023.

NUNES, L. A. P. L., *et al.* Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. **Caatinga (Mossoró,Brasil)**, v.22, n.1, p.131-140,e 2009.

ODUM, E. P., *et al.* Fundamentos de ecologia. **Cengage Learning**, São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, M. M. De, *et al.* Crescimento e partição de massa seca em plantas jovens de amburana (*Amburana cearensis* (Fr. All.) AC Smith) e de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1142-1153, 2019.

OLIVEIRA, Paulo Jerônimo Lucena de, *et al.* Serviços ecossistêmicos de regulação em uma bacia hidrográfica no semiárido do Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v.21,e21028, 2022.

PRADO, Caio Júnior. História Econômica do Brasil. **Brasiliense**, São Paulo, e. 26, 1981.

RAYOL, F.O.A. *et al.* Efeito do fogo na vegetação espontânea em sistema agroflorestal, Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 19 (1): 2020.

RODAL, M.J.N., *et al.* Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico - ecossistema caatinga. **Sociedade Botânica do Brasil**, São Paulo. 1992.

SAMPAIO, E. V. S. B., & Silva, G. C. (2005). Biomass equations for Brazilian semiarid caatingaplants. *Acta Botanica Brasilica*, 19(4), 935–943. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400028>

SAMPAIO, E.V.S.B *et al.* Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Biotropica** 25: 452-460, 1993.

SANTOS, D. S. *et al.* Levantamento florístico do município de Pedra Preta-RN: subsídios para empreendimentos futuros. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, v. 15 n. 15, p. 2925- 2934, 2013.

SANTOS, Nayara Marques *et al.* Identification of the ecosystem services provided by caatinga in the microregion western Seridó, Rio Grande do Norte, Brazil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE**, v. 21, n. 2, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, p. 477-490, Set.2019.

SCHILLING, A. C *et al.* Curva de acumulação de espécies e suficiência amostral em florestas tropicais. **Revista Brasil. Bot.**, v.31, n.1, p.179-187, 2008.

SOUZA, B.I. *et al.* Caatinga e Desertificação. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131- 150, 2015.

SOUZA, M. J. N. Compartimentação Topográfica do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 9, 1979.

TEIXEIRA, L.P *et al.* How much of the Caatinga is legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the Brazilian semiarid region. **ACTA BOTANICA BRASILICA**, v. 35, p. 473-485, 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* **Manual de Prevenção e Combate de Incêndios Florestais**. Viçosa, MG: Os Editores, 2020, 178.il.; 22 cm.

TROVÃO, D. M. *et al.* Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.307– 311, 200.