



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT**  
**PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**  
**MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**MAGNO FERREIRA DA SILVA**

**UMA ANÁLISE DO BIOMA CAATINGA NO MUNICÍPIO DE GADO BRAVO-PB**  
**ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA**

Campina Grande – PB  
2016

**MAGNO FERREIRA DA SILVA**

**UMA ANÁLISE DO BIOMA CAATINGA NO MUNICÍPIO DE GADO BRAVO-PB  
ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento aos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Orientador: Prof. Dr. JOSÉ FIDELES FILHO**

Campina Grande – PB  
2016

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

S586u Silva, Magno Ferreira da  
Uma análise do bioma caatinga no Município de Gado Bravo - PB através do índice de vegetação por diferença normalizada [manuscrito] / Magno Ferreira da Silva. - 2016.  
52 p. : il. color.

Digitado.  
Dissertação (Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL, 2016.  
"Orientação: Prof. Drº. José Fideles Filho, Departamento de Física".

1. Gado Bravo. 2. Bioma Caatinga. 3. Precipitação pluviométrica. 4. Índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI. I. Título. 21. ed. CDD 621. 367 8


**MAGNO FERREIRA DA SILVA**

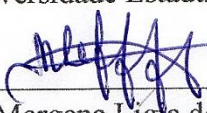
**UMA ANÁLISE DO BIOMA CAATINGA NO MUNICÍPIO DE GADO BRAVO-PB  
ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA**


Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento aos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2016

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Fideles Filho – Orientador  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Morgana Ligia de Farias Freire - Examinadora  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edvaldo de Oliveira Alves – Examinador  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

## **Dedicatória**

Aos meus pais, pelo exemplo de vida; aos meus irmãos e amigos, pelos os incentivos aos estudos e à minha querida esposa, pelo apoio em minhas escolhas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por mais uma graça alcançada em minha vida;

À minha família, pelo apoio e incentivo desde o início da minha trajetória acadêmica, em especial, aos meus pais, aos meus irmãos e à minha querida esposa;

Ao meu orientador, José Fideles Filho, pela ajuda, paciência e esclarecimento, que foram de suma importância nas etapas desse trabalho;

Aos queridos colegas de turma do Mestrado de Ciência e Tecnologia Ambiental, pelos momentos de amizade e apoio.

À minha avó, Severina Ana da conceição, que foi uma das maiores incentivadoras para que eu concluísse o curso, com suas orações;

Ao corpo docente do Mestrado de Ciência e Tecnologia Ambiental, pelos os incentivos no que diz respeito à busca pelo conhecimento;

Aos professores e professoras da banca examinadora, pelas orientações e observações sobre a versão final desta dissertação.

## RESUMO

O presente estudo analisou as mudanças da vegetação do bioma caatinga em resposta as condições climáticas no município de Gado Bravo no Estado da Paraíba, correspondente a microrregião do agreste. Para tanto, imagens do sensor MODIS/TERRA do território do município foram processadas para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, dos períodos chuvosos e de estiagem durante os anos de 2011 à 2014. A utilização dos dados históricos de precipitação pluviométricas da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA permitiu avaliar os meses mais chuvosos do ano (abril, maio e junho), os meses de estiagem (setembro, outubro, novembro e dezembro) e os meses de baixa precipitação pluviométrica (janeiro, fevereiro, março agosto e julho). Nos anos de estudo, o mês de maio foi o mais chuvoso e o mês de dezembro o de estiagem. A maioria das plantas, no período de estiagem, possui uma adaptação típica, que consiste na perda das folhas, evitando a desidratação por meio do processo de transpiração, deste modo a caatinga aparenta ser um bioma pobre em sua biodiversidade e/ou com altos índices de degradação. Porém, no período chuvoso, as plantas respondem rapidamente à pluviosidade, apresentando uma regeneração biológica. O NDVI é um índice do sensoriamento remoto que está diretamente ligado as atividades fotossintéticas da vegetação e é calculado por uma diferença normalizadas entre duas bandas do espectro eletromagnético, a banda espectral do vermelho e a banda do infravermelho próximo. Quanto maior a diferença entre as bandas espectrais do vermelho e do Infravermelho próximo a vegetação está em plena atividade fotossintética, e se a vegetação por algum motivo estiver passando por um estresse onde seus componentes vegetais estejam em baixas atividades fotossintética, as diferenças entre as reflectâncias das bandas espectrais diminuem e com isso os resultados do NDVI são menores. No período de estudo, pode-se perceber que ocorre uma diferenciação na vegetação do bioma caatinga do município de Gado Bravo-PB, em resposta às mudanças climáticas ocorridas no ciclo anual de precipitação pluviométrica e no ciclo biológico da vegetação. A perda das folhas, durante o período de estiagem, configura-se como processo adaptativo que pode interferir diretamente nos resultados do NDVI, pois a vegetação sem folhas não apresenta atividades fotossintéticas significativas e os resultados próximos a zero do NDVI podem ser compreendidos como uma área degradada ou severamente degradada.

**Palavras-chave:** Gado Bravo. Bioma Caatinga. Precipitação Pluviométrica. Vegetação. NDVI

## ABSTRACT

The present study examined the changes of the caatinga vegetation in response to climatic conditions in the municipality of Gado Bravo in the State of Paraíba, corresponding to the Agreste region. To this end, images from the MODIS sensor/land of the municipality, have been processed to obtain the Normalized Difference vegetation index-NDVI, rainy and dry periods during the years from 2011 to 2014. The use of historical data of precipitation rainfall of the Executive Agency for the Management of Waters of the State of Paraíba -EAWS, allowed to evaluate the wettest months of the year (April, may and June), the drought season months (september, october, november and december) and the months of low precipitation (january, february, march, august and july). In the years of study, the month of may was the wettest december and the drought season. Most plants in the drought season, has a typical adaptation, consisting of the miss of the leaves avoiding the dehydration through the process of transpiration, thus the caatinga biome appears to be a poor in biodiversity and/or high levels of degradation. However, during the rainy season, the plants respond quickly to rainfall, showing a biological regeneration. The NDVI is an index of the remote sensing that is directly connected the photosynthetic activity of vegetation, and is calculated by a normalized difference between two bands of the electromagnetic spectrum, the spectral band of red and near infrared band. The greater the difference between the spectral bands of red and near infrared vegetation is in full photosynthetic activity, and if the grass for some reason is having a stress where its components are vegetables at low photosynthetic activity, the differences between the reflectâncias of spectral bands decrease and with this the results of NDVI are smaller. In the study period, one can realize that there is a differentiation in the caatinga vegetation of the municipality of Gado Bravo-PB, in response to climate change that occurred in the annual cycle of precipitation and in the biological cycle of vegetation. The loss of leaves during the dry season, appears as adaptive process that can interfere directly on the results of the NDVI, because the vegetation without leaves presents significant photosynthetic activity and the results next to zero of the NDVI can be understood as an area degraded or severely degraded.

**Keywords:** Gado Bravo. Biome Caatinga. Rain Precipitation. Vegetation. NDVI.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Município de Gado Bravo no Estado da Paraíba com as coordenadas geográficas.....	23
<b>Figura 2:</b> Estágio de geoprocessamento das imagens através ERDAS IMAGINE para obtenção do NDVI .....	27
<b>Figura 3:</b> Comportamento do NDVI na vegetação em plena atividade fotossintética e outra em estresse.....	28
<b>Figura 4:</b> Assinatura espectral da vegetação em atividade fotossintética.....	29
<b>Figura 5:</b> Vegetação arbóreas do município de Gado Bravo-PB. <b>A:</b> períodos de chuvoso e <b>B:</b> período de estiagem.....	32
<b>Figura 6:</b> Vegetação arbustiva do município de Gado Bravo-PB. <b>A:</b> períodos de chuvosos e <b>B:</b> período de estiagem.....	33
<b>Figura 7:</b> Vegetação em margens de córregos e riachos em Gado Bravo-PB. <b>A:</b> períodos de chuvosos e <b>B:</b> período de seca. ....	33
<b>Figura 8:</b> Perca das folhas pela vegetação em adaptação ao período de estiagem em Gado Bravo-PB. Outubro 2011.....	34
<b>Figura 9:</b> Período chuvoso a vegetação se apresenta de forma exuberante em Gado Bravo-PB. Maio 2012.....	35
<b>Figura 10:</b> Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2011.....	38
<b>Figura 11:</b> O NDVI do mês de Maio de 2011 no município de Gado Bravo-PB..	38
<b>Figura 12:</b> O NDVI do mês de Dezembro de 2011 no município de Gado Bravo-PB.....	38
<b>Figura 13:</b> Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2012.....	40
<b>Figura 14:</b> O NDVI do mês de Maio de 2012 no município de Gado Bravo-PB..	40
<b>Figura 15:</b> O NDVI do mês de Dezembro de 2012 no município de Gado Bravo-PB.....	40

<b>Figura 16:</b> Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2013.....	42
<b>Figura 17:</b> NDVI do mês de Maio de 2013 no município de Gado Bravo-PB.....	42
<b>Figura 18:</b> NDVI do mês de Dezembro de 2013 no município de Gado Bravo-PB.....	42
<b>Figura 19:</b> Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2014.....	44
<b>Figura 20:</b> NDVI do mês de Maio de 2014 no município de Gado Bravo-PB.....	44
<b>Figura 21:</b> NDVI do mês de Dezembro de 2014 no município de Gado Bravo-PB.....	44

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

**AESA** – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

**CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

**EOS** - Earth Observing System

**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IVP** – Infravermelho Próximo

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente

**MODIS** - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

**NDVI**- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

**V** – Vermelho

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 O bioma caatinga.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Degradações do bioma caatinga: algumas considerações .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Sensoriamento remoto .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Índice de vegetação .....</b>	<b>20</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Sensor MODIS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Imagens coletadas .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Software .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI.....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Dados e períodos .....</b>	<b>30</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Características da vegetação .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 NDVI em resposta a precipitação pluviométricas no município de Gado Bravo-PB .</b> .....	<b>36</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O bioma caatinga possui características particulares relacionadas ao clima, a vegetação e a temperatura, estando presente, de forma particular, no território brasileiro, ocupando todos os Estados da região Nordeste e o Norte de Minas Gerais. O clima predominante é o semiárido, com temperaturas médias anuais elevadas, estações chuvosas e de estiagem bem definidas, prevalecendo o período sem chuva na maior parte do ano (BRASIL, 2015).

A vegetação desse bioma é de forma arbórea e arbustiva, com mudanças adaptativas baseadas nos períodos de estiagem e nos períodos chuvosos. A maioria das plantas, no período de estiagem, possui uma adaptação típica, que consiste na perda das folhas, evitando a desidratação por meio do processo de transpiração, processo inverso ao da respiração, quando acontece trocas gasosas com o meio.

Com a queda das folhas da vegetação no período de estiagem, o bioma caatinga aparenta ser um bioma pobre em sua biodiversidade e/ou com altos índices de degradação. Porém, no período chuvoso, as plantas respondem rapidamente à pluviosidade, demonstrando um tipo regeneração biológica.

Para resistirem durante o período de estiagem, as vegetações da caatinga possuem características adaptativas. Alguns organismos vegetais possuem a capacidade de armazenamento de substâncias nutritivas em suas raízes e caules, já que perdem as folhas em sua totalidade, ocasionando a redução drástica da sua capacidade fotossintética, o que restringe quase totalmente a produção de alimentos.

Outros organismos vegetais possuem, em suas folhas, um revestimento formado por uma camada de cera (lipídio), o que evita a perda de água para o ambiente, além de possuírem raízes profundas, que chegam a alcançar lençóis freáticos, mantendo partes das folhas durante o período de estiagem.

O bioma caatinga recobre dois terços do estado da Paraíba, desde o Sertão até parte do Agreste. Desse modo, é o bioma predominante no município de Gado Bravo - PB, mesorregião do Agreste, local de interesse do estudo em questão.

Diante disso, a pesquisa teve como base alguns questionamentos relacionados às ações antrópicas, à degradação ambiental e, até mesmo, aos processos de desertificação da vegetação do bioma caatinga, no município de Gado Bravo-PB. A fim de evitar interpretações equivocadas, tendo em vista que as adaptações da vegetação nativa estão diretamente correlacionadas aos períodos chuvosos e no período sem chuva, observou-se as mudanças

ocorridas na vegetação do município em resposta as condições climáticas, através de estudos realizados por imagens de satélite e por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), nos períodos do ano que apresentam elevadas precipitações pluviométricas, denominado por estação chuvosa e, período em que não chove, denominado de estação de estiagem, referentes aos anos de 2011 a 2014.

A maioria das plantas da caatinga é denominada de *xerófitas* ou *xeromorfas*, designações originárias do grego, em que “Xeros” significa seco e “Phytos” significa de planta ou vegetal, ou seja, plantas da seca ou plantas adaptadas à seca, aquelas que perdem a folhagem no período de estiagem. Isso pode ser interpretado como uma degradação ambiental, ou que a vegetação está passando por um extremo estresse hídrico que poderia comprometer a sua sobrevivência ou proliferação das espécies, mas, que na verdade, compreende-se como um processo adaptativo ao período de estiagem.

Para a efetivação deste estudo, realizou-se uma pesquisa analítica, baseada em dados de imagens de satélites, por isso, quantitativa e, na análise ambiental, configurando-se também como qualitativa. Para tanto, partiu-se do conceito de degradação ambiental e do processo adaptativo da maioria da vegetação do bioma da caatinga, baseado em investigações realizadas por estudiosos da área de sensoriamento remoto, geoprocessamento e da vegetação do bioma caatinga.

Neste sentido, objetivou-se de maneira geral, analisar as mudanças da vegetação do bioma caatinga no município de Gado Bravo-PB em resposta as condições climáticas, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, em períodos de estiagem e chuvoso dos anos de 2011 a 2014.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 O bioma caatinga

A caatinga é um bioma com características peculiares, fazendo-se presente apenas no território brasileiro, com uma área de cerca de 844.453 km<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 11% do território nacional, é predominante em todos os estados da região Nordeste e no Norte de Minas Gerais (IBGE, 2015).

Devido às suas particularidades, muitas espécies presentes neste bioma são endêmicas e, por isso, totalmente adaptadas às mudanças climáticas decorrentes do clima predominante, semiárido, caracterizado por apresentar dois períodos bem distintos: um período chuvoso, denominado de “inverno”, que geralmente dura de três a cinco meses, dependendo da região e, um período de estiagem, “verão”, com duração de sete a nove meses (BARBOSA, 2003).

A vegetação da caatinga, em resposta aos períodos de estiagem característicos do clima semiárido, apresenta algumas adaptações e modificações anatômicas, morfológicas e fisiológicas, como aprofundamento das raízes, expansão do caule, perda de folhas, e até, ajuste do metabolismo osmótico em resposta às condições, não só do clima, mas às condições do meio onde habitam, mantendo assim a sobrevivência e a proliferação de suas espécies (TROVÃO et al., 2007).

De acordo com Prado (2003), a vegetação que constitui o bioma caatinga é composta por plantas caracterizadas com arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores de médio porte e arbustos baixos, muitas das quais apresentam estruturas de proteção no caule e folhas com espinhos, acúleos e até mesmo tricomas urticantes, as plantas apresentam microfília, ou seja, folhas pequenas e são denominadas de xerofítica.

As xerófitas são plantas adaptadas a viver no clima semiárido, porém as espécies vegetais desenvolvem não apenas um mecanismo de adaptação, mas vários mecanismos, o que proporciona a sobrevivência ao longo período de estiagem durante um ano.

Uma adaptação característica da vegetação do bioma caatinga é a perda das folhas durante o período de estiagem, mecanismo de adaptação às condições climáticas comuns na maioria da vegetação do bioma. Esta característica peculiar da vegetação que proporcionou a designação do bioma de caatinga, que em Tupi-Guarani, língua indígena, significa “mata branca”, fazendo referência ao espeto acinzentado que apresenta a vegetação com a perda das folhas no período de estiagem (BARBOSA et al., 2012).

As folhas das plantas são órgãos funcionais responsáveis pela fotossíntese, produção de moléculas de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ), através de gás carbônico ( $CO_2$ ), água ( $H_2O$ ) e radiação solar, ou seja, síntese de alimento, sendo a glicose a principal fonte de alimento das plantas.

Além disso, as folhas desempenham outro papel muito importante para as plantas, que é a transpiração, processo inverso ao da respiração, indispensável pela manutenção e equilíbrio gasoso entre o meio e o vegetal. A transpiração é que provoca a perda de água do vegetal para o meio ambiente, processo que se dá pela troca gasosa da planta com o meio. A respiração vegetal é realizada através de células especializadas denominadas de estômatos. Estas, por sua vez, são responsáveis pelo controle da respiração e transpiração vegetal. Em algumas plantas, estas células especializadas localizam-se principalmente nas folhas e, em defesa ao déficit hídrico, ocorre o fechamento dos estômatos, resposta imediata, uma vez que a resistência difusiva ao vapor de água reduz a transpiração. Porém este artifício compromete algumas atividades fisiológicas da planta, inclusive a capacidade fotossintética, uma vez que o suprimento de  $CO_2$  é reduzido (SILVA et al., 2008).

A água, para as plantas de um ambiente que sofre com longos períodos de estiagens, torna-se um recurso indispensável. Por isso, o aproveitamento deste recurso deve ser total no período chuvoso, para a realização de suas atividades vitais mais importantes, como reprodução, crescimento de tecidos, manutenção e reposição de células mortas (SANTOS e CARLESSO, 1998).

Desenvolver um mecanismo de reservatório, tanto de água quanto de nutrientes para o período de estiagem, torna-se essencial, já que a perda de folhas implica na diminuição da produção de alimento através da fotossíntese.

A adaptação vegetação da caatinga, no período de estiagem, mesmo que seja uma forma adaptativa, gera várias conclusões precipitadas sobre o bioma, que passa a ser compreendido, muitas vezes, como um bioma frágil, que possui uma diminuição da biodiversidade, chegando a ser visto por meio do processo de estresse hídrico de forma extrema, que poderia comprometer a sobrevivência e a proliferação das espécies nativas.

É fato que a vegetação do bioma caatinga vem sofrendo modificações no decorrer do tempo promovidas, principalmente, por ações antrópicas, como qualquer outro bioma mundial. Contudo, configura-se uma característica apresentada pela vegetação da caatinga geralmente confundida como uma vegetação pobre e em declínio. Trata-se de uma noção imprecisa acerca do bioma, pois, no período das primeiras chuvas a vegetação revela de forma enérgica suas potencialidades (ALVES, ARAÚJO e NASCIMENTO, 2009).



Um exemplo típico é a planta da família das anacardiáceas, muito comum neste bioma, o umbuzeiro (*Spondias tuberosa*). Esta planta tem como característica armazenar substâncias em suas raízes através de grandes tubérculos durante o período chuvoso, pois perde as folhas no período de estiagem e como forma de adaptação a este período evita assim a sua desidratação (ALBUQUERQUE et al., 2010).

Outras adaptações das plantas xerófitas da caatinga incluem caules e folhas para armazenagem de água, como as cactáceas, que têm como exemplo o Mandacaru (*Cereus jamacaru*) e o Xiquexique (*Pilocereus gounellei*). Estas plantas ainda possuem outras características, como os espinhos, que as protegem contra alguns animais herbívoros. Em relação a este tipo de adaptação, que é o armazenamento de água e nutrientes no caule, não se pode deixar de citar umas das espécies de plantas características de algumas regiões do semiárido, a barriguda (*Ceiba glaziovii*), que tem a capacidade de estender os tecidos de seu caule de forma a armazenar as substâncias necessárias para a sobrevivência no período de seca. Por este motivo, o seu caule assemelha-se a um ventre de uma mulher em gestação, daí o seu nome popular, barriguda (ALBUQUERQUE et al., 2010).

Nem todas as plantas perdem as folhas durante o período de estiagem, um exemplo de uma espécie vegetal da caatinga que apresenta estas adaptações, mediante as condições do clima semiárido, é o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), planta de médio e grande porte, geralmente localizada em ambientes mais úmidos, como margens de riachos ou córregos, e tem a característica de manter suas folhas verdes mesmo em longos períodos de estiagem. A fim de evitar a perda de água, estas plantas desenvolveram uma adaptação fisiológica em que suas folhas são cobertas com uma camada de cera (lipídio) para diminuir a evaporação e, conseqüentemente, a desidratação, além de possuírem as longas raízes para alcançarem o lençol freático no subsolo, permanecendo com suas folhas verdes mesmo no período de estiagem (PRADO, 2003).

Ainda há aquelas plantas que sobrevivem em locais que se mantêm úmidos pela maior parte do ano, que são as margens de córregos e riachos, áreas muito restritas, localmente chamadas de “salgados”, onde rios intermitentes não alcançam o rio principal. Como exemplos, temos as graminhas e arbustos adaptados a sobreviver em ambientes de água salobra ou de água salgada as halófitas, estas espécies vegetais podem permanecer verdes por um longo período do ano (PRADO, 2003).

O bioma caatinga é submetido a um período chuvoso, que corresponde, no máximo, a um terço do ciclo anual, o que na região do agreste paraibano, geralmente, ocorre entre os meses

de abril a junho, caracterizado por apresentar a biodiversidade de forma exuberante, atingindo a capacidade de suportar os ecossistemas do bioma, e um período de estiagem, que geralmente corresponde à maior parte do ano (FRANCISCO et al., 2012).

No período de estiagem, devido às características predominantes, como folhas secas, o bioma transparece a ideia equivocada de degradação ambiental, caracterizada pela perda de folhas pela maioria das plantas e por suposta diminuição da biodiversidade.

Por outro lado, não se pode equiparar a vegetação da caatinga a exuberância verde das florestas tropicais úmidas. Para desvendar sua riqueza, é necessária uma avaliação minuciosa e um olhar crítico, levando em consideração as características do bioma. Assim, a caatinga revela sua biodiversidade, sua relevância biológica e peculiar (MACHADO e LOPES, 2003).

## **2.2 Degradações do bioma caatinga: algumas considerações**

O ser humano, desde o seu surgimento, vem modificando o meio ambiente onde vive, com intuito principal de retirar deste os recursos necessários a sua sobrevivência. No bioma caatinga não é diferente, pois nas últimas décadas ocorreu um grande crescimento populacional, o que acarretou constantes modificações na área de domínio deste bioma. As principais alterações ambientais presentes neste local são decorrentes das atividades realizadas pelo homem (ALVES, 2009).

A degradação do bioma caatinga vem sendo uma questão bastante discutida, devido às ações antrópicas. Riegelhaupt e Pareyn (2010) apontam que a degradação do bioma é decorrente da necessidade energética da população e do crescimento populacional nas últimas décadas. Pereira Filho e Bakke (2010) demonstram que as áreas de grandes extensões destinadas a pastagens de herbívoros domésticos, associada à agricultura itinerante, têm sido apontados como os principais responsáveis pela degradação dos ecossistemas da caatinga.

Os recursos florestais da caatinga, no decorrer da história, tornaram-se muito importante para a manutenção da economia do Nordeste, pois foram as principais fontes de matéria-prima a ser utilizada como geração de energia para domicílios, para a indústrias, padarias, indústrias do gesso, fábricas de cimento e siderúrgicas; para a pecuária extensiva, o extrativismo insustentável e a agricultura de baixa tecnologia também contribuíram fortemente para esta transformação (SOUZA, 2006).

Quanto à obtenção de produtos florestais não-madeireiros, como exemplo, forragem animal, tornaram-se alternativa de geração de renda para muitas famílias. Com isso, a caatinga

vem sendo explorada de forma não sustentável, acelerando seu processo de degradação (SILVA, 2013).

Hoje, constata-se que a maior parte da vegetação da caatinga, por ação do homem, tem conduzido a vegetação a um processo de sucessão secundária e, que as espécies lenhosas pioneiras, como a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) e marmeleiro (*Crotonson derianus*) são as mais frequentes, com destaque ainda para a presença de outras espécies como catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), mororó (*Bauhinia cheilantha*), mofumbo (*Combretum leprosum*). Entre o estrato herbáceo destacam-se gramíneas como as milhãs (*Brachiaria plantaginea* e *Panicum* sp.), capim rabo-de-raposa (*Setaria* sp.) e capim panasco (*Aristida setifolia*); dicotiledôneas como: mata-pasto (*Senna obtusifolia*) alfazema-brava (*Hyptissua veolens*), malva-branca (*Sida cordifolia*), feijão-de-rola (*Phaseolus patyroides*), centrosema (*Centrosema* sp), erva-de-ovelha (*Stylosan theshumilis*), manda-pulão (*Croton* sp.), breo (*Amaranthus* sp.), dentre outras (PEREIRA FILHO e BAKKE, 2010).

A sucessão secundária do bioma caatinga parte em direção à desertificação, mas, acredita-se que boa parte ainda é passível de recuperação e pode ser explorada de forma sustentável.

No Estado da Paraíba, entre as principais atividades relacionadas à degradação do bioma, estão à exploração de lenha da vegetação nativa em busca de recursos energéticos, o desmatamento e as queimadas de áreas para práticas agrosilvopastoris. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2015) constata que cerca de 20 mil hectares de lenha são retirados das matas paraibanas por meio da exploração a cada ano.

O município de Gado Bravo, é predominante rural, o que leva a crê que a população retira a sua sustentabilidade energética e alimentar do meio natural, ou seja, por meio da exploração da caatinga, fazendo com que este bioma torne-se cada vez mais modificado, ou que o convívio harmônico entre a população rural e o bioma preserve as características naturais deste bioma, promovendo um manejo sustentável dos recursos.

### **2.3 Sensoriamento remoto**

A origem do sensoriamento remoto iniciou-se nos anos de 1960 e o desenvolvimento da área espacial nesses anos ficou conhecido como a “década da corrida espacial”, período em que ocorreu o mais rápido desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites, o que possibilitou colocar no espaço satélites artificiais para várias finalidades (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Os satélites meteorológicos foram os primeiros a registrar imagens de algumas feições da superfície da Terra, demonstrando ser possível a vista do espaço, embora com pouca nitidez. A combinação tecnológica de satélites artificiais e sensores imageadores foi um dos maiores benefícios até hoje, presenciado pelo desenvolvimento tecnológico a serviço do levantamento dos recursos naturais terrestres (MARTINA, 2015).

A capacidade de imagear, em curto espaço de tempo, toda a superfície do planeta e de uma de forma sistemática, possibilitada pela continuidade da órbita satélites e proporcionando uma cobertura repetitiva da Terra, obtendo imagens periódicas de qualquer área do planeta, propiciando detectar e monitorar mudanças que acontecem na superfície terrestre. Essa é a principal razão pela qual as imagens de satélites passaram a ser a mais eficiente ferramenta para uso nas aplicações que envolvem análises ambientais dos diversos ecossistemas terrestres (MENESES e ALMEIDA, 2012).

O sensoriamento remoto é uma técnica que objetiva monitorar um determinado objeto ou uma determinada área geográfica sem o contato físico entre o sensor e o objeto. Um aspecto chave na definição é o uso de sensores de radiação eletromagnética para inferir propriedades de objetos da superfície terrestre, ou seja, trata-se de uma técnica que possibilita captação de dados de áreas geográficas sem mesmo frequentá-la, ou seja, à distância (NOVO, 2010).

Os satélites e seus respectivos sensores, que estão em órbitas da terra, são ferramentas indispensáveis para o funcionamento tecnológicos de informação, monitoramento de vegetação, clima, pluviosidade, ente outros e a aplicação do sensoriamento remoto, no estudo das vegetações, conta com inúmeros profissionais envolvidos, com aplicação e desenvolvimento de metodologia que resulta em acúmulo de conhecimentos significativos e importantíssimos para a manutenção dos recursos naturais (NOVO, 2010).

Os dados e as imagens de informação de uma área proporcionados pelo estudo através do sensoriamento remoto são indispensáveis para o supervisionamento do meio ambiente e procura facilitar as análises e os estudos da superfície da Terra. Uma ferramenta bastante utilizada no sensoriamento remoto para o monitoramento da cobertura vegetal são os índices de vegetação gerados por imagens de satélites, que através deles pode-se inspecionar as alterações naturais ou produzidas pelas explorações antrópicas nas superfícies dos continentes terrestres (CHAVES et al., 2013).

## 2.4 Índice de vegetação

Ao se fazer uma relação da radiação eletromagnética com a vegetação, lembra-se logo de que todos os vegetais realizam o processo de fotossíntese, fundamentado na absorção da radiação por pigmentos especializados, denominado de fotossintetizantes; como clorofilas, xantofilas e carotenos, estes estão presentes em tecidos e órgãos específicos das plantas. Porém, a absorção da radiação não ocorre indistintamente ao longo do espectro eletromagnético, mas especificamente na região do visível (0,4  $\mu\text{m}$  a 0,72  $\mu\text{m}$ ). De todos os órgãos vegetais, são as folhas que viabilizam uma interação com a radiação eletromagnética, por isso, são elas que seriam relevantes considerar na aplicação da técnica de sensoriamento remoto (POZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012)

Em decorrência da absorção da radiação solar pelos pigmentos, ocorre uma baixa refletância das folhas na região do visível, como já vimos, e enquanto isso, sucede uma alta refletância da região do infravermelho próximo, decorrente do espalhamento da radiação no interior das folhas em função de suas estruturas celulares. No caso de dosséis vegetais, a quantidade de folhas promove a variação da refletância na cobertura vegetal.

Diversos índices de vegetação objetivam explorar propriedades espectrais da vegetação, especialmente na região do visível e do infravermelho próximo. Dentre esses índices, o mais utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), pois é um índice de vegetação eficaz em estudos de cunho ambiental, que permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinadas regiões. Uma peculiaridade do NDVI é sua rápida saturação, o que o torna mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho (RISO et al., 2011).

Segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), este índice é uma excelente ferramenta de sensoriamento remoto de monitoramento da vegetação e é muito usado para construir perfis sazonais e atividades da vegetação, como duração do período de crescimento vegetal, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência e é calculado pela diferença entre a refletância das bandas espectrais do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), dividida, respectivamente, pela soma das duas refletância.

A equação gera um índice que varia de -1 a 1, em que, quanto maior o valor do NDVI, maior a presença de vegetação em plena atividade fotossintética. No caso contrário, quando o índice se aproxima a zero, pode-se caracterizar um corpo de água, asfalto e solo exposto ou sem vegetação (JUNGES, ALVES e FONTANA, 2007). Estes índices de menores valores

caracterizam também uma vegetação sem folha, em adaptação ao clima, no período de inverno nas regiões de clima temperado ou em períodos de seca em regiões de clima semiárido, isso ocorre pela baixa ou nenhuma atividade fotossintética, que promove uma absorção e uma reflectância semelhantes aos comprimentos de ondas das regiões do vermelho e do infravermelho próximo (NOVO, 2012).

Deste modo, pode-se identificar e distinguir, através deste índice de vegetação, um território que esteja coberto de vegetação em plena atividade fotossintética de um território que apresente solo exposto. No caso da vegetação da caatinga, que apresenta características singulares, seria a permanência da vegetação verde durante o período chuvoso e a perda de folhas durante o período de seca. Isso porque, este índice de vegetação distingue este processo adaptativo, correlacionando apenas as reflectâncias das bandas espectrais realizadas pela vegetação durante os períodos do ano.

O NDVI é um indicador numérico da técnica do Sensoriamento Remoto atuante na função de monitoramento sistemático e dinâmico da vegetação. Este monitoramento utiliza faixas espectrais de bandas no espectro eletromagnético, que geralmente são disponibilizadas por imagens de satélites especializados, destacando na área de análise, a vegetação e eventos antrópicos. Entre suas aplicações, estão o monitoramento da cobertura vegetal, os estudos de áreas agrícolas e avaliação de degradação ambiental, entre outras (CHAVES et al., 2013).

O cálculo do NDVI consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho (0,6  $\mu\text{m}$  a 0,7 $\mu\text{m}$ ) e infravermelho próximo (0,7  $\mu\text{m}$  a 1,3  $\mu\text{m}$ ).

O cálculo do NDVI é realizado através da seguinte equação:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IVP} - \text{V})}{(\text{IVP} + \text{V})}$$

Onde, IVP é o valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo; e V é o valor de reflectância da banda no vermelho.

Os valores do NDVI variam entre -1 a 1. Quanto mais próximo a 1, maior será a cobertura vegetal e, quanto mais próximo de -1, menor será a cobertura vegetal (FERREIRA et al., 2012)

Valores negativos estão associados a alvos em que as reflectâncias são maiores na banda do vermelho em relação ao infravermelho próximo. Exemplos seriam as massas d'água, nuvens e neve. Porém, para estudos de vegetação e solos expostos os valores do NDVI que deverão ser

considerados são os valores positivos. Pois, valores positivos muito próximos a 0 (zero) podem estar associados a solos expostos ou plantas sem nenhuma atividade fotossintética, uma vez que ocorrem valores similares de refletância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo.

Todavia, se os valores do NDVI estiverem próximos de 1 (um), estas áreas apresentam uma vegetação em plena atividade fotossintética. Devido às atividades fisiológicas principalmente realizadas nas folhas dos vegetais que absorvem a radiação solar na região da banda espectral do Vermelho em grande quantidade para realizarem o processo de fotossíntese, refletem fortemente na região da banda espectral do Infravermelho próximo (POZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Ramos et al. (2010) aplicou a técnica de análise do NDVI para a avaliação de áreas degradadas e potenciais no Parque Nacional Boqueirão da Onça (PNBO), localizado no sub - médio da Bacia hidrográfica do Rio São Francisco, no estado da Bahia. Esta unidade de conservação está localizada, entre os municípios de Umburanas, Sento Sé, Campo Formoso, Sobradinho e Juazeiro, no estado da Bahia.

A fim de avaliar o uso atual de ocupação do solo e condições biológicas, sobretudo da vegetação nativa a partir da classificação e interpretação de imagens do satélite. A análise do NDVI desta mesma área, de 2000 a 2009, foi capaz de identificar a diminuição de cobertura vegetal nativa no grau de transição a conservada e o aumento de solo exposto e áreas degradadas proveniente de exploração por agropecuária e garimpo.

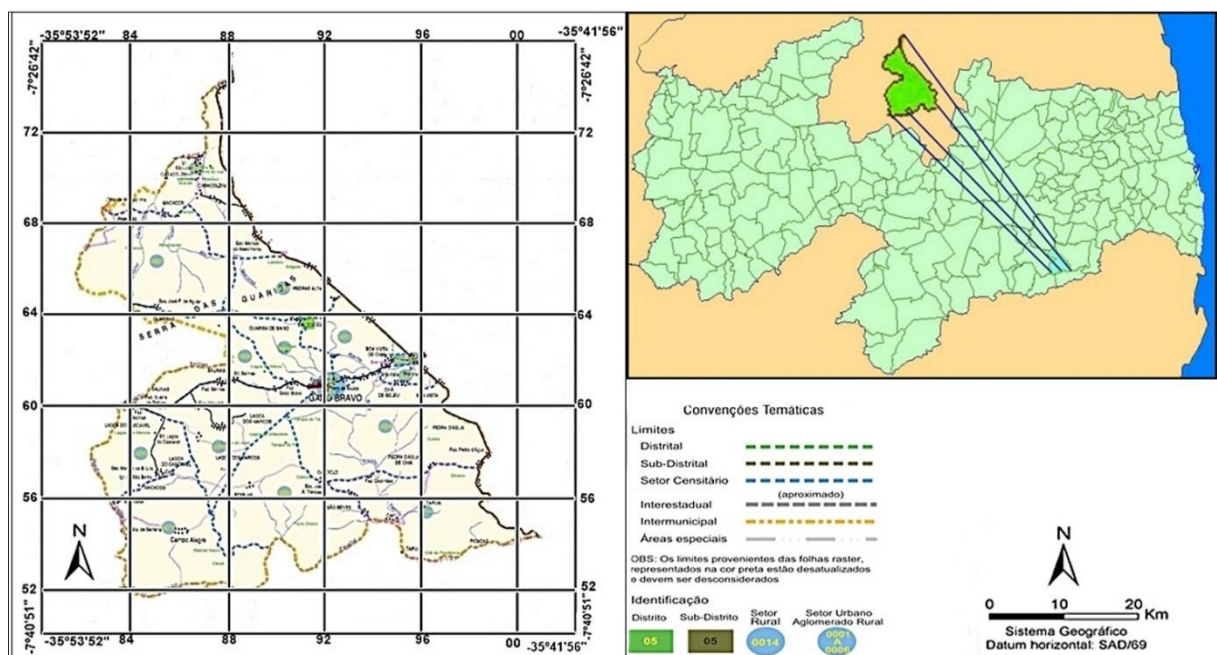
Rosemback et al. (2007) utilizou a técnica do NDVI de imagens do sensor MODIS no período de fevereiro de 2000 a fevereiro de 2006, no intuito de analisar a variabilidade temporal do Parque Nacional do Iguaçu – PR, reserva florestal de Mata Atlântica, que possui uma vegetação florestal que apresenta cerca de 20% a 50% característica caducifólias - perdem as folhas durante o inverno. Concluiu que nos meses de agosto (inverno na região sul do Brasil) dos anos em estudo, apresentaram-se valores muito baixos de NDVI, redução significativa do vigor da vegetação. Por outro lado, do ponto de vista da variabilidade sazonal, observou-se que os valores mais altos de NDVI ocorrem no verão, quando a vegetação está no auge de seu vigor.

O NDVI mostrou um índice da vegetação eficiente na identificação da perda da vegetação nativa e, conseqüentemente, da cobertura vegetal, assim como aumento de solo exposto e áreas degradadas no Parque Nacional Boqueirão da Onça localizado no estado da Bahia onde prevalece o bioma caatinga. E na identificação das dinâmicas da cobertura vegetal decorrente de mudanças meteorológicas do Parque Nacional do Iguaçu no Paraná, território de Mata Atlântica.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Gado Bravo está localizado a mesorregião do Agreste paraibano, de altitude média de 400 m área de 192,406 km<sup>2</sup>, com as seguintes coordenadas geográficas de latitude: 07° 32' 35" Sul e longitude: 35° 48' 02" Oeste. (Figura 2). Com uma população predominante de 8.509 habitantes, predominantemente rural, a densidade demográfica do município é de 22,6 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2015).



**Figura 2:** Município de Gado Bravo no Estado da Paraíba com as coordenadas geográficas.  
Fonte: AESA, 2014.

A caatinga é o bioma característico deste município, com clima predominantemente semiárido. Baseado em dados da AESA, o município apresenta curta estação chuvosa no outono-inverno e precipitações concentradas nos meses de abril e junho. A precipitação total anual varia de 150 mm a 900 mm, com média de 700 mm. A temperatura média em torno de 28°C, com mínima de 16°C e máxima em torno de 35°C, e umidade relativa do ar em torno de 60%.

Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o relevo do município de Gado Bravo- PB é de topografia irregular, com a altitudes variando de 400 a 500 m acima do nível do mar, com áreas planas aproveitáveis para o cultivo agrícola e pastagem, áreas íngremes como serras e depressões decorrente de alguns córregos e riachos que são



afluentes do rio Paraíba que banha o município. Com relação ao solo, nos topos de relevos arredondados e vertentes íngremes ocorrem os solos litólicos, rasos e pedregosos; nas vertentes baixas os solos são brunos não cálcio, com textura argilosa, e nos topos planos, os solos são classificados com latossolos, profundos bem drenados (CPRM, 2005).

A vegetação do município de Gado Bravo-PB mostra-se de forma heterogênea, decorrente das particularidades e condicionalidades de fatores, como solo e relevo de determinadas áreas do território do município, apresentando desde árvores de porte considerável, como as baraúnas (*Schinopsis brasiliensis*) e aroeiras (*Myracrodruon urundeuva*); arbustos, plantas de pequeno a médio porte, como o marmeleiro – do - mato (*Crotonson derianus*) e a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*); cactáceas de grande e pequeno porte, que pode estar em meio a vegetação ou habitar locais específicos como, terrenos bastante pedregoso; e ainda vegetação de gramíneas, que habitam ambientes úmidos como pequenos córregos ou riachos.

### **3. 2 Sensor MODIS**

Os sensores utilizados na técnica de sensoriamento remoto são equipamentos que registram a energia refletida ou a energia emitida pelos objetos da superfície terrestre. Essa energia é transformada em sinais elétricos, que são transmitidos para as estações de recepção que integram o segmento solo, na Terra. Os sinais, por sua vez, são processados e transformados em imagens. Para captar os dados da superfície terrestre, os sensores a bordo dos satélites ficam apontados sempre para a Terra.

O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), que faz parte do programa EOS (Earth Observing System), disponível pela NASA (SILVA, 2015), está acoplado a bordo das plataformas TERRA ou AQUA, oferecendo uma vista da superfície do planeta Terra entre 1 a 2 dias (NASA, 2015).

Segundo Anderson et al. (2003), o sensor MODIS possui uma órbita de 705 km, em sincronia com o sol às 10h:30m da manhã descendente e está acoplado a plataforma TERRA e às 13h:30m da tarde ascendente acoplado a plataforma AQUA.

Este sensor tem um alcance espectral variando em comprimentos de onda de 0,4  $\mu\text{m}$  a 14,4  $\mu\text{m}$ , uma cobertura espectral de aproximadamente 55° com 2330 km em fileira de forma “scans” e contínuos em nadir no equador. Possui uma precisão radiométrica de 5% absoluto e 2% de reflectância; uma cobertura de repetição diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias,

para latitudes inferiores a 30°; uma quantização de 12 bits e as taxas de dados em média é de 6.2 Mbps, onde 10.8 Mbps durante dia e 2.5 Mbps à noite (POZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Para a obtenção do NDVI, tem-se a oferta de dados de resolução temporal de dezesseis dias, ou seja, em média 23 produtos/imagens por ano para cada área de estudo, que pode ter uma resolução espacial de 250 m, 500 m e 1 km.

### **3.3 Imagens coletadas**

O sensor MODIS coleta dados em de 36 bandas espectrais, variando e enviando imagens com uma resolução nominal de 250 m de duas bandas espectrais, a 500 m de resolução para 5 bandas espectrais, e os restantes, 29 bandas espectrais de 1 km (NASA, 2014).

Os produtos/imagens MOD13A2 coletados na página da NASA pertencem à coleção 5 de uma área denominada de quadrante espacial h14v09-h14v09, onde se localiza a maioria do bioma caatinga, entre ela, a área de interesse do estudo deste trabalho, o município de Gado Bravo-PB e possui uma resolução temporal de 16 dias de índices de vegetação.

Foram coletadas todas as imagens disponibilizadas pela NASA, de forma gratuita relacionadas ao NDVI durante os anos de 2011 a 2014, a fim de analisar como a vegetação do município de Gado Bravo-PB.

Diante disso, a pesquisa de cunho analítico, apresenta-se como um estudo quantitativo, uma vez que está baseada em dados, bem como um estudo qualitativo, pois se centra também na análise ambiental. Para tanto, parte-se do conceito de degradação ambiental e possíveis desertificações de áreas da caatinga e do processo adaptativo da maioria da vegetação do bioma em estudo.

### **3.4 Software**

O software computacional utilizado no geoprocessamento das imagens para a obtenção dos NDVI da área de estudo foi o ERDAS IMAGINE, caracterizado como uma ferramenta fundamental para o sensoriamento remoto, empregado no processamento de imagem de satélite. Tem por finalidade interpretar dados de imagens de satélites e realizar a correção das imagens obtidas.

Para iniciar o trabalho com este Software, foi necessário fazer o download das imagens do satélite, neste caso, imagens do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), disponibilizadas pela NASA, este sensor está acoplado a plataforma TERRA, que faz parte do programa EOS - Earth Observing System (NASA, 2015).

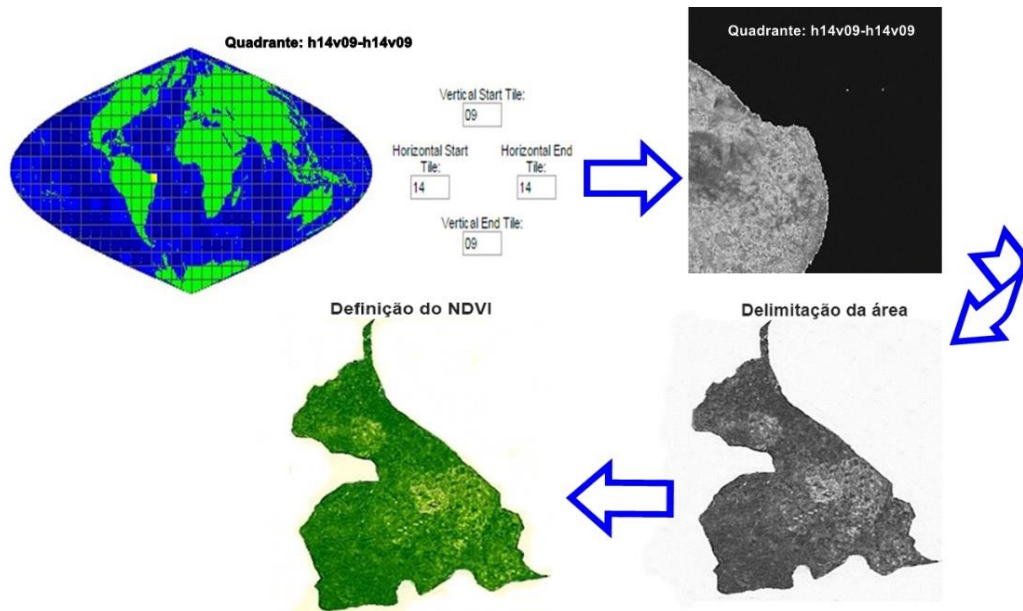
O ERDAS IMAGINE permite elaborar algoritmos, cálculos estatísticos e matemáticos com as imagens a serem trabalhadas, selecionando apenas a região a ser analisada com as informações necessárias para o estudo de interesse.

As informações foram obtidas a partir das imagens de entrada, imagens coletadas dos satélites e que ainda não sofreram nenhum tipo de tratamento, que servirá de base de coletas de dados para os estudos de interesse. As imagens criadas, após o processamento, foram denominadas *imagens de saída*, que são as imagens resultantes do processamento, portando, apenas dados de interesse a ser analisados necessários para o resultado da operação, são nelas que deverão se concentrar os estudos.

É comum que as imagens apresentem-se em escala de cinza, que nem sempre oferece boa aparência ou uma boa forma de visualização das informações. Devido a essa restrição, faz-se necessário recorrer à opção de atribuir cores a cada nível de reflectância a fim de melhorar a identificação visual dos valores dos pixels (FITZ, 2008).

Todavia, em uma imagem, nem sempre é possível aproveitar todos os seus aspectos. Diante disso, para aumentar o desempenho do processamento e diminuir o tamanho da imagem sem perder qualidade, é necessário que se faça um recorte da área que realmente interessa ao estudo.

Observa-se na figura 2, as etapas do processamento das imagens proveniente do satélite MODIS TERRA. O primeiro passo foi selecionar o quadrante da região onde se localiza o município de estudo em questão. Em seguida delimita-se a área do município baseado em suas coordenadas geográficas e após esta tese. Definiu-se o NDVI para as duas épocas determinadas.



**Figura 2:** estágio de geoprocessamento das imagens através ERDAS IMAGINE para obtenção do NDVI.

Esta ferramenta computacional proporcionou o processamento das imagens obtidas do sensor MODIS para se obter dados necessários à pesquisa e foi de extrema importância para estudos de informações do município de Gado Bravo-PB, possibilitando uma interpretação e caracterização da vegetação do bioma caatinga no período chuvoso e no período de estiagem através do índice de vegetação NDVI, que é uma das principais ferramentas do sensoriamento remoto para obtenção dos resultados deste estudo.

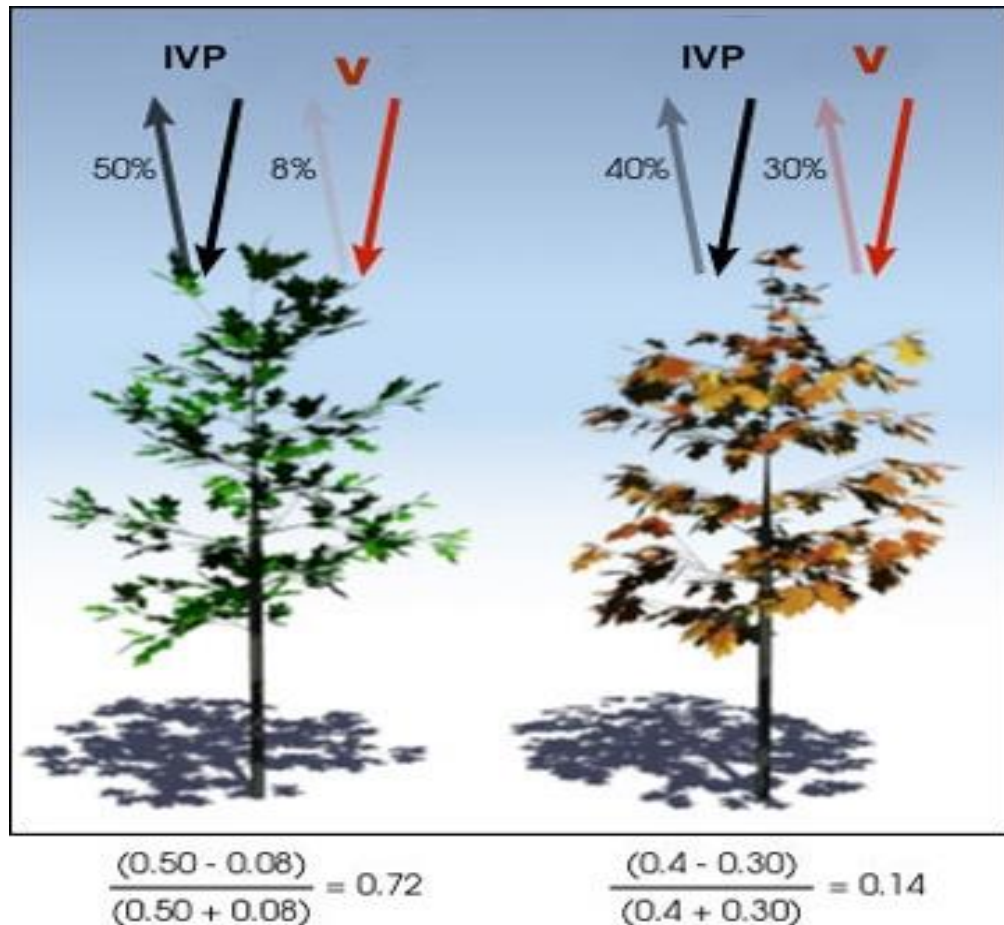
### 3.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O NDVI é um índice do sensoriamento remoto que está diretamente ligado às atividades fotossintéticas da vegetação e é calculado por uma diferença normalizada entre duas bandas do espectro eletromagnético, a banda espectral do vermelho e a banda do infravermelho próximo.

Os resultados do NDVI estão relacionados à diferença entre as reflectâncias destas bandas espectrais, ao se observar um determinado alvo, que geralmente é uma área de cobertura vegetal. Quanto maior a diferença entre as bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, maior será a atividade fotossintética da planta ou da vegetação e, se a vegetação, por algum motivo, estiver passando por um estresse, com seus componentes vegetais em baixas atividades fotossintéticas, as diferenças entre as reflectâncias das bandas espectrais do vermelho

e infravermelho próximo diminuem. Com isso, os resultados do NDVI serão menores, se relacionarmos com os resultados de NDVI de vegetações saudáveis.

Pode-se observar, na Figura 3, como ocorre este processo com uma planta saudável, em plena atividade fotossintética e outra planta passando por um estresse que reduz suas atividades fotossintéticas, assim como os respectivos resultados do NDVI de cada exemplo.

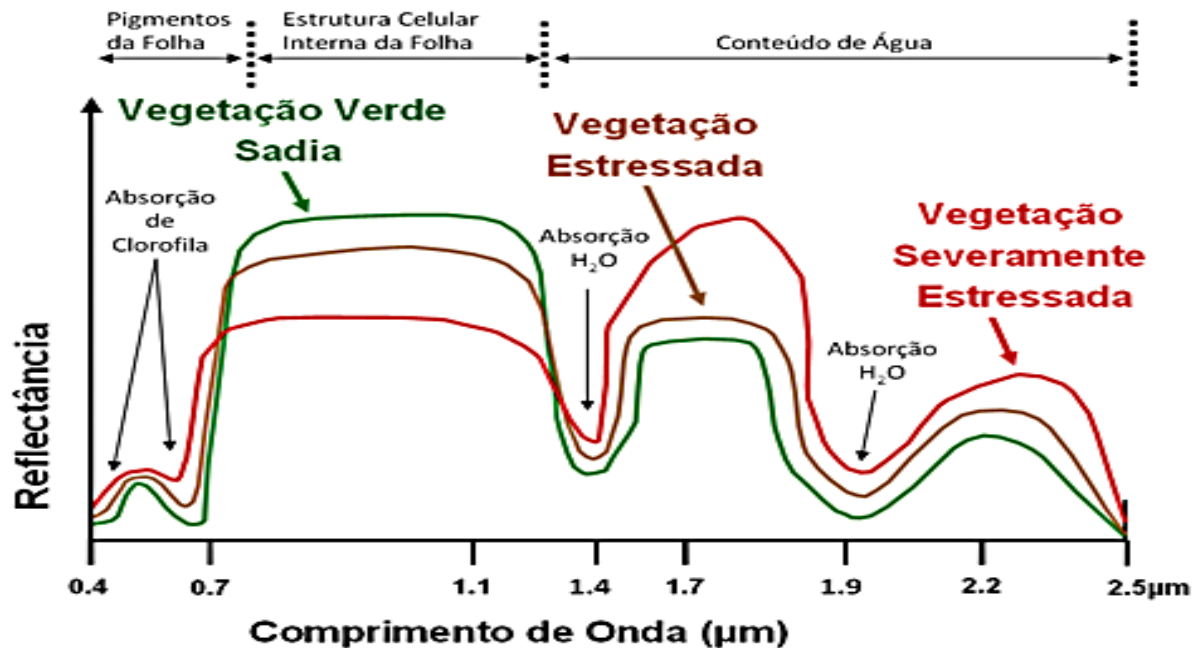


**Figura 3:** Comportamento do NDVI na vegetação em plena atividade fotossintética e outra em estresse.  
Fonte: <http://www.esa.int/SPECIALS>.

Verifica-se, na Figura 3, que os valores do NDVI próximos a zero significam que a planta está passando por uma diminuição de suas atividades fotossintéticas que pode ser caracterizada pela planta por um estresse hídrico, uma doença que compromete sua capacidade de fotossíntese, ou simplesmente uma adaptação às mudanças climáticas. Assim sendo, o NDVI próximo a zero traduz uma vegetação com pouca ou nenhuma atividade fisiológica.

Na Figura 4, apresenta-se assinatura espectral da vegetação em relação ao comprimento de ondas e à variância de acordo com as atividades fotossintéticas das vegetações. A vegetação verde e sadia, representada no gráfico, apresenta uma diferença entre a reflectância da banda

espectral do vermelho, variando de 0,6  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$ , e a reflectância da banda infravermelho próximo, com variância de 0,7  $\mu\text{m}$  a 1,3  $\mu\text{m}$ .



**Figura 4:** Assinatura espectral da vegetação e sua atividade fotossintética de acordo com o estresse.  
Fonte: SOUZA FILHO et al., 2008.

Isso ocorre porque a absorção da banda de vermelho se torna indispensável para que as plantas realizem suas atividades vitais, dentre elas, a fotossíntese, que é a produção de moléculas de glicose, carboidrato necessárias à sobrevivência da planta, este processo só é possível graças à absorção da radiação solar, sendo a região do vermelho uma das principais absorvidas, a reflectância desta região do espectro se torna mínima.

Em relação à elevada reflectância da região do infravermelho próximo, está diretamente ligada a geração de calor condicionado pelas múltiplas atividades fisiológicas necessárias à sobrevivência das plantas.

Em relação a vegetação estressada e a vegetação severamente estressada, nota-se uma diferenciação menor entre a reflectância das bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo. Este processo dá-se pelo fato de que o estresse, nas plantas, ocasiona uma redução das atividades fotossintéticas e, com isso, diminui a absorção da banda espectral do vermelho. Com a diminuição das atividades fotossintéticas, ocorre também uma redução das atividades fisiológicas das plantas, o que acarreta menor reflectância da região do infravermelho próximo. Com isso, quanto mais estressada a vegetação estiver, menor será a diferença entre a reflectância das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo.

O NDVI, das plantas, Figura 3 e, das vegetações demonstradas nos exemplos da figura 4, resulta de formas distintas, pois quanto maior a diferenciação da reflectância das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, mais elevado será o NDVI. Desse modo, a planta saudável, na figura 4, e a vegetação verde sadia, apresentam o valor mais elevado do NDVI, em relação à planta da figura 4 e vegetação estressada apresenta o resultado do NDVI mais baixo que as anteriores. Já a severamente estressada demonstra que quanto menos atividade fotossintética da vegetação, menor será a diferença entre a reflectância das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, resultando um NDVI menor.

### **3.6 Dados e períodos**

Por meio imagens obtidas por sensoriamento remoto da área geográfica do município de Gado Bravo-PB, foi possível identificar a diferenciação do NDVI referente ao comportamento vegetal do bioma caatinga durante o período chuvoso e o processo de adaptação da vegetação durante o período de estiagem.

Foram selecionadas imagens dos anos de estudos (2011, 2012, 2013 e 2014), a fim de representar o período chuvoso e o período de estiagem. Para identificar os períodos de baixa e alta pluviosidade nos anos, foi necessário observar os dados cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e o NDVI dos Produtos/Imagens do sensor TERRA/MODIS.

Para se poder selecionar as imagens TERRA/MODIS, foi necessário basear-se nos dados pluviométricos mensais, disponibilizado pela AESA durante os anos de 2011 à 2014. Através destes dados, pôde-se identificar, que em cada ano, o período de estiagem e o período de chuva possuem peculiaridades, porém sempre respeitando os dados históricos, em que, normalmente, o período chuvoso, em Gado Bravo-PB, inicia-se no mês de abril e vai até o mês de junho, restando os outros meses do ano e, como período de estiagem, de certa forma, a vegetação responde aos estímulos ambientais de acordo com o seu ciclo biológico anual.

Mesmo que, em um determinado ano a precipitação pluviométrica de um predeterminado período chuvoso seja baixa, a vegetação da caatinga responde aos estímulos de acordo com o seu ciclo biológico. Deste modo, se ocorre precipitações consideráveis no período predeterminado de estiagem, geralmente, nos meses de setembro à dezembro, pode não ocorrer a floração da vegetação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características da vegetação

De maneira geral, o clima semiárido apresenta dois períodos bem definidos durante o ano: um período de elevadas precipitações pluviométricas, conhecido como período chuvoso, que se estende pelos primeiros meses do ano, com duração de três a cinco meses, dependendo da região; e um período em que quase não ocorre pluviosidade, conhecido como período de estiagem, que se estende do meio até o final do ano, podendo durar de sete à nove meses, dependendo da região.

Grande parte do bioma da caatinga localiza-se na área que abrange o clima semiárido. Para a vegetação caatingueira sobreviver a um período tão longo durante o ano sem precipitação significativa, as plantas da caatinga desenvolveram algumas adaptações, sendo a queda das folhas a mais notável, durante o período de seca, para que não perda de água para o ambiente, por meio da transpiração vegetal, não seja de modo a prejudicar a sobrevivência da planta.

Ao realizar este processo, em que a vegetação perde as folhas durante o período de estiagem, as atividades metabólicas desses organismos limitam-se apenas a atividades básicas de sobrevivência, como se manter vivos ou livres de predadores durante a seca. Em relação à alimentação, a maioria dos vegetais da caatinga desenvolve mecanismos de reserva alimentares que garantem sua sobrevivência durante o período de estiagem (POZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

A perda das folhas durante o período de estiagem, muitas vezes, confunde a quem observa a vegetação da caatinga, tirando conclusões de que a vegetação está passando por um processo de secagem, ou mesmo, sofrendo uma degradação severa, que levaria à morte dos vegetais ou a possíveis desertificação do bioma.

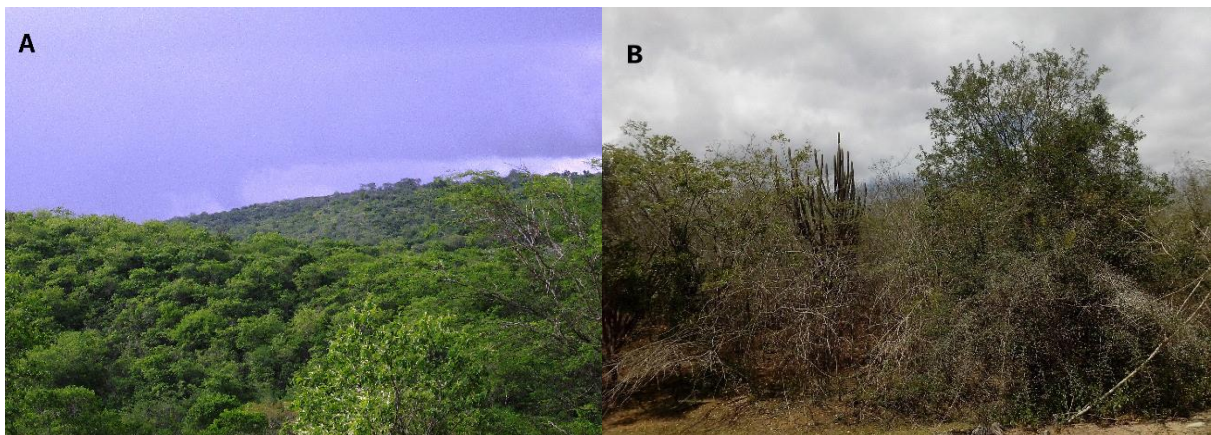
No período de chuvoso, a vegetação da caatinga germina suas folhas, realçando o verde da vegetação do bioma, que possibilita compreender que a vegetação não estava passando por um processo de degradação de forma tão severa, e sim, por uma adaptação condicionada ao período de seca do clima semiárido.

O município de Gado Bravo-PB, localizado no agreste paraibano, está dentro da área de abrangência do clima semiárido, com uma vegetação característica deste bioma. A vegetação característica deste município apresenta-se bastante heterogênea, podendo apresentar áreas de vegetação bastante exuberante (Figura 5A), com plantas arbóreas com particularidades de



vegetação densa ou fechada, mas também, área de vegetação, com árvores mais dispersas ou vegetação aberta, com cactáceas que se fazem presente em meio à vegetação, apresentando um mosaico típico do bioma.

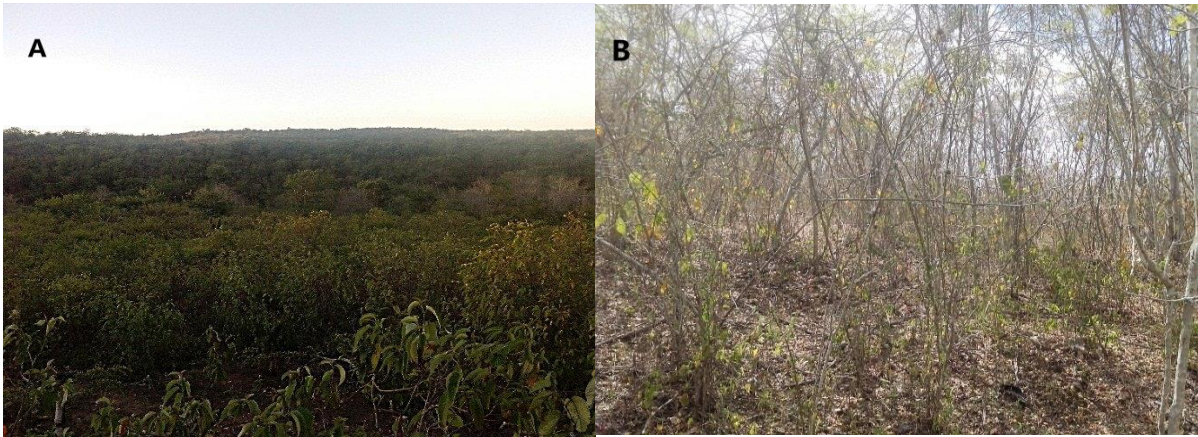
A maioria destas árvores perde as folhas durante o período de estiagem, evitando assim a eliminação de água por transpiração destes organismos durante período de estiagem (Figura 5B).



**Figura 5:** Vegetação arbóreas do município de Gado Bravo-PB. **A:** períodos de chuvoso e **B:** período de estiagem.

Em algumas áreas do município, por apresentar topografia e solos diferenciados, a vegetação apresenta-se de forma arbustiva, caracterizada por plantas de pequeno porte, que podem se exibir de forma densa (Figura 6A), ou com aspecto mais disperso, entre os componentes vegetais (Figura 6B). Esse aspecto pode ser decorrente do clima ou de ações antrópicas que estimulam sucessões ecológicas secundárias.

Este tipo de vegetação também chega a perder as folhas durante o período de estiagem, como mecanismo de adaptação à estiagem, muito comum na maioria das plantas da caatinga (Figura 6B).



**Figura 6:** Vegetação arbustiva do município de Gado Bravo-PB. **A:** períodos de chuvosos e **B:** período de estiagem.

Destaca-se também um tipo de vegetação presente apenas em regiões próximas a córregos e riachos, ecossistema muito comum no território do município, até mesmo por sua proximidade ao Rio Paraíba, esses ecossistemas têm uma característica bastante peculiar, que seria a permanência de águas correntes, em boa parte do ano (Figura 7A); e mesmo em períodos de estiagem, estes ambientes permanecem úmidos, conservando a vegetação verde das margens destes córregos e riachos (Figura 7B).



**Figura 7:** Vegetação em margens de córregos e riachos em Gado Bravo-PB. **A:** períodos de chuvosos e **B:** período de estiagem.

A característica principal da vegetação desse ambiente úmido é a queda de folhas, evitando a eliminação de água, por transpiração, para o meio ambiente, praticamente não ocorre durante os períodos de estiagem, como na maioria das plantas da caatinga.

Para poder demonstrar a principal característica adaptativa da vegetação da caatinga no município de Gado Bravo-PB, que seria a perda das folhas durante o período de estiagem e a recuperação da folhagem da vegetação durante o período chuvoso, que condiciona diretamente

as atividades fotossintéticas, fez-se necessário analisar duas imagens retiradas de um mesmo local de uma comunidade rural do município, no período de outubro de 2011 (período de estiagem) e maio de 2012 (período chuvoso) demonstrado na Figura 8 e na Figura 9 respectivamente.

Na Figura 8, temos em destaque a planta aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), em um período do ano em que a vegetação está se preparando para enfrentar um período de estiagem e, para se adaptar, inicia a queda das folhas, este período é referente a outubro de 2011.



**Figura 8:** Perda das folhas pela vegetação em adaptação ao período de estiagem em Gado Bravo-PB. Outubro 2011.

Na Figura 8, assim como na Figura 9, destacamos a planta aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), que é um vegetal típico do bioma caatinga, presente na vegetação nativa e bastante comum na vegetação do município de Gado Bravo-PB. Pode-se perceber que se trata do mesmo local da comunidade rural do município.

É comum, que nos meses de abril, maio e junho, a vegetação exiba um verde exuberante, dependendo da pluviosidade anual e dos estímulos biológicos do ciclo anual de adaptação ao clima semiárido. Este é o período considerável chuvoso no município, quando a vegetação da caatinga apresenta uma biodiversidade exuberante em resposta às precipitações pluviométricas.



**Figura 9:** Período chuvoso a vegetação se apresenta de forma exuberante em Gado Bravo-PB. Maio 2012.

Considerando a Figura 8, de outubro de 2011 e a Figura 9, de maio de 2012 retratada no mesmo local do município de Gado Bravo-PB, em períodos diferentes, é notável a queda das folhas no período de estiagem, assim como a recuperação da vegetação no período chuvoso do ano seguinte, configurando, desse modo, um fenômeno adaptativo da vegetação do município, em resposta às condições climáticas.

Para que se faça uma diferenciação entre um processo adaptativo comum à maioria das plantas, que é a perda de folhas durante o período de estiagem, e um possível processo de degradação, ou até mesmo, riscos de desertificação de algumas áreas do bioma caatinga no município de Gado Bravo-PB, foi necessário utilizar o NDVI da vegetação da área do município.

O NDVI da vegetação do município de Gado Bravo-PB foi calculado a partir de imagens de satélites durante os anos de 2011 a 2014, nos períodos de estiagem e o período precipitações pluviométricos consideráveis, realizando comparações do comportamento vegetação durante estes períodos.

## **4.2 NDVI em resposta a precipitação pluviométricas no município de Gado Bravo-PB**

A maioria da vegetação do município Gado Bravo-PB apresenta características caducifólias, que perdem as folhas por uma determinada parte do ano e esta eliminação das folhas faz parte da adaptação da grande maioria das plantas da caatinga, em resposta ao período de estiagem. Com isso, as plantas reduzem, de forma drástica, seus processos fotossintéticos pois, folha é o órgão vegetal responsável, não só pela fotossíntese, mas também pela transpiração das plantas, processo no qual as plantas perdem água para o ambiente. Não havendo folhas, a eliminação da água para o meio é praticamente nula, evitando, assim, a desidratação do vegetal, mantendo-o forte para enfrentar o período de estiagem.

A estação chuvosa não se torna um problema para as plantas que perdem água para o ambiente, pois há uma disponibilidade maior de água do que a quantidade perdida. Contudo, na estiagem, o vegetal pode desidratar e, para evitar que isto ocorra, as plantas perdem folhas durante um período ano, sobrevivendo de nutrientes que conseguiu acumular nos seus tecidos durante o período chuvoso.

Baseado em dados históricos da AESA de precipitações pluviométricas do município de Gado Bravo- PB, observou-se que os meses mais chuvosos dos anos são; abril, maio e junho; e os meses de estiagem, ou seja, sem precipitações pluviométricas considerável são: setembro, outubro, novembro e dezembro. Nos outros meses do ano é comum baixa precipitação pluviométrica, correspondentes ao meses de janeiro, fevereiro, março agosto e julho.

Analisando o NDVI das imagens TERRA/MODIS do município de Gado Bravo-PB, foi possível constatar que nos anos de 2011, 2012, 2013, e 2014 o período em que a vegetação da caatinga se apresenta com mais eficácia biológica é no período em que os meses apresentam maiores índices de chuva, ou seja, os meses de abril, maio e junho. Verificou-se também os meses em que a maioria da vegetação se encontra sem folhagem, decorrente do processo de adaptação da maioria da vegetação da caatinga, são setembro, outubro, novembro e dezembro.

Partindo dessas observações, foram selecionados os meses de maio e de dezembro como meses que correspondem, respectivamente, ao período chuvoso e ao período de estiagem, baseando-se no histórico de precipitação pluviométrica do período estudado, nos índices do NDVI calculado de cada mês, no ciclo anual biológico de adaptação das plantas da caatinga no município de Gado Bravo-PB, onde está contido o período de reprodução, floração e da queda de folhas da vegetação e período adaptativos das plantas.

Dentre os anos estudados, o de 2011 apresentou-se como o ano com maiores alturas de precipitação pluviométrico das chuvas acumuladas no município de Gado Bravo-PB, com 877,3 mm, em sua totalidade, resultado do somatório de todos os meses do ano em questão. Já o mês mais chuvoso foi maio, com 240,7 mm; e dezembro, um dos meses que não apresentou chuva durante o ano de 2011, como pode-se observar na Figura 10.

Sendo maio o mês de maior precipitação pluviométrica de 2011, conforme Figura 10, apresentou também um NDVI elevado, ficando entre 0,8 a 1, em grande parte da área do município de Gado bravo-PB, durante este período, este valor significa que a vegetação está em plena atividade fotossintética (Figura 11).

A área que está em destaque, na Figura 11, apresenta resultados do NDVI relativamente baixos e corresponde à área urbana do município, decorrente de pouca vegetação, onde geralmente está presente o solo exposto, asfalto, entre outros alvos, onde reflectância das bandas espectrais e do vermelho e do infravermelho próximo se assemelham e, com isso, o NDVI resulte números positivos próximos a zero, entre 0,1 a 0,3.

O resultado biológico da vegetação, demonstrado na Figura 11, através do NDVI, em resposta às precipitações pluviométricas, demonstra elevadas atividades fotossintéticas e é, neste período, em que a maioria das plantas se reproduz e acumula nutrientes e água em seus respectivos reservatórios naturais, que pode ser raízes ou caules, para enfrentar a escassez de água durante o período de estiagem nos próximos meses do ano, já que, com a perda das folhas neste período, os vegetais reduzem estas atividades fisiologias vitais de maneira drástica.

O mês de dezembro de 2011, no município de Gado Bravo-PB, está entre os meses que não apresentou precipitações pluviométricas significativas, que está dentro da normalidade, segundo o histórico dos períodos de estiagem do município, com isso, este mês de 2011 foi selecionado como o mês para representar o período de estiagem no município.

A perda das folhas reduz drasticamente as atividades fotossintéticas, assim como a absorção da radiação solar na região espectral do vermelho, assemelhando-se à reflectância da banda espectral infravermelho próximo, tornando assim o NDVI próximo a zero, ficando entre 0,5 e 0,1 em grandes áreas do município de Gado Bravo-PB, e em vários locais, com resultados do NDVI que se assemelham a de áreas de solo exposto, ficando entre 0,3 e 0,1, visto na Figura 12.

Vale salientar que a vegetação não está em um processo de secagem ou foi degradada, apenas está passando por um período de adaptação, na busca pela sobrevivência diante das

condições climáticas estabelecidas, e permanecerá assim até as próximas chuvas que deverão acontecer no próximo ano, começado um novo ciclo anual.

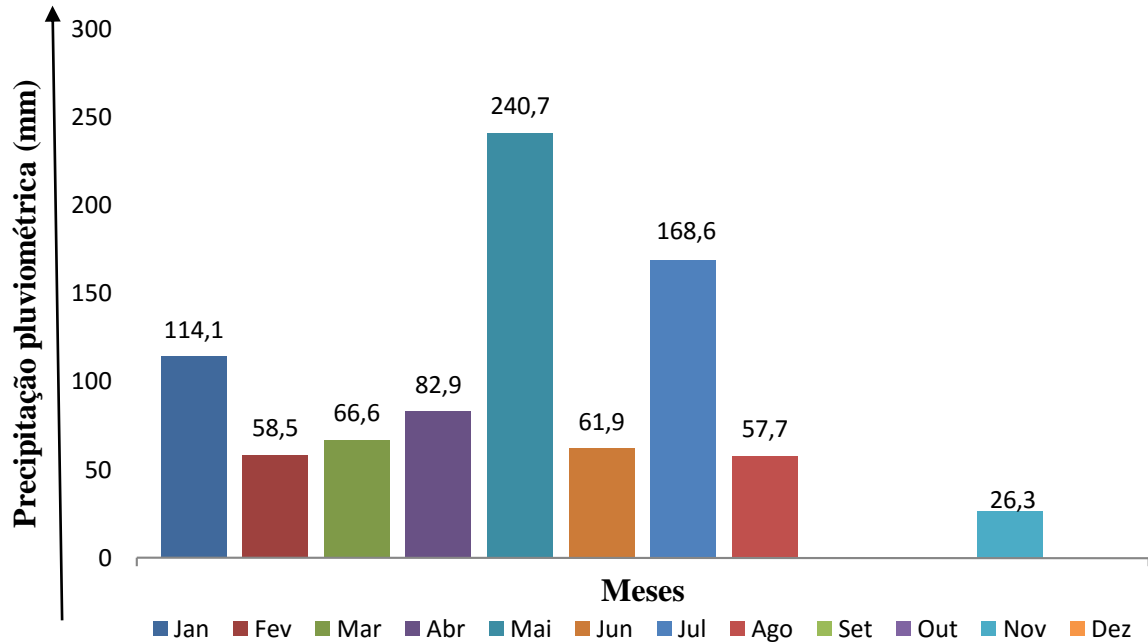


Figura 10: Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2011.

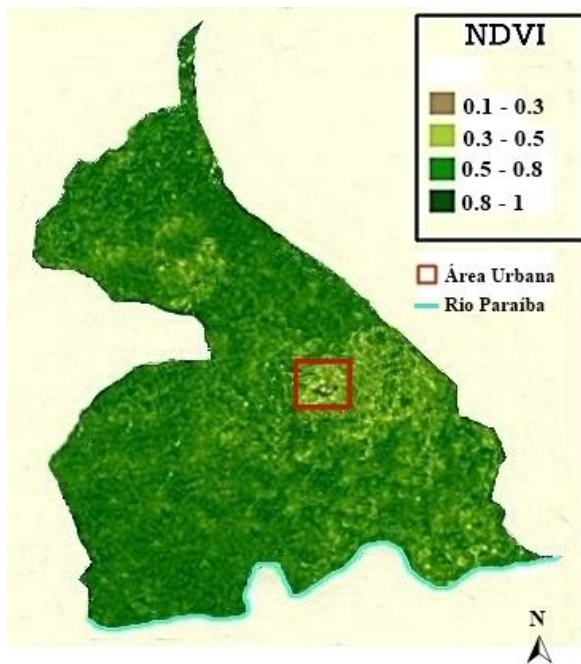


Figura 11: O NDVI do mês de Maio de 2011 no município de Gado Bravo-PB.

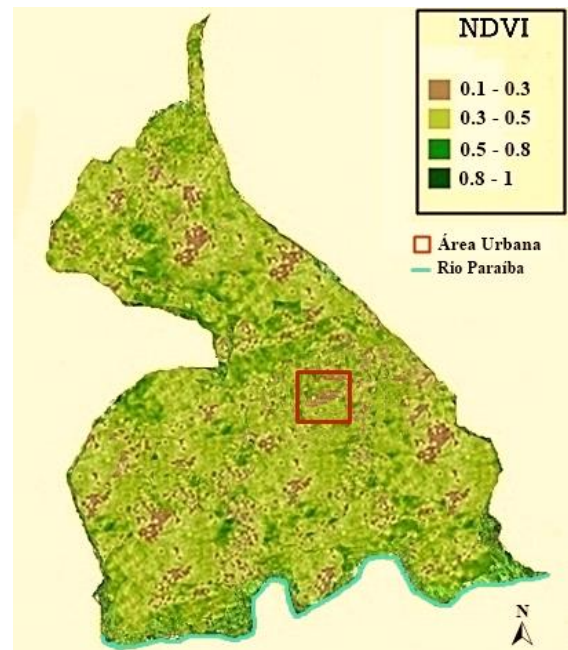


Figura 12: O NDVI do mês de Dezembro de 2011 no município de Gado Bravo-PB.

O ano de 2012 foi o ano de estudo que menos apresentou acúmulo de chuva, totalizando apenas 303,3 mm, no somatório de todos os meses, tendo o mês de julho com maior pluviosidade, 82,6 mm. Os meses de abril, setembro e novembro não apresentaram números significativos de precipitação pluviométricas como pode-se ver a Figura 13.

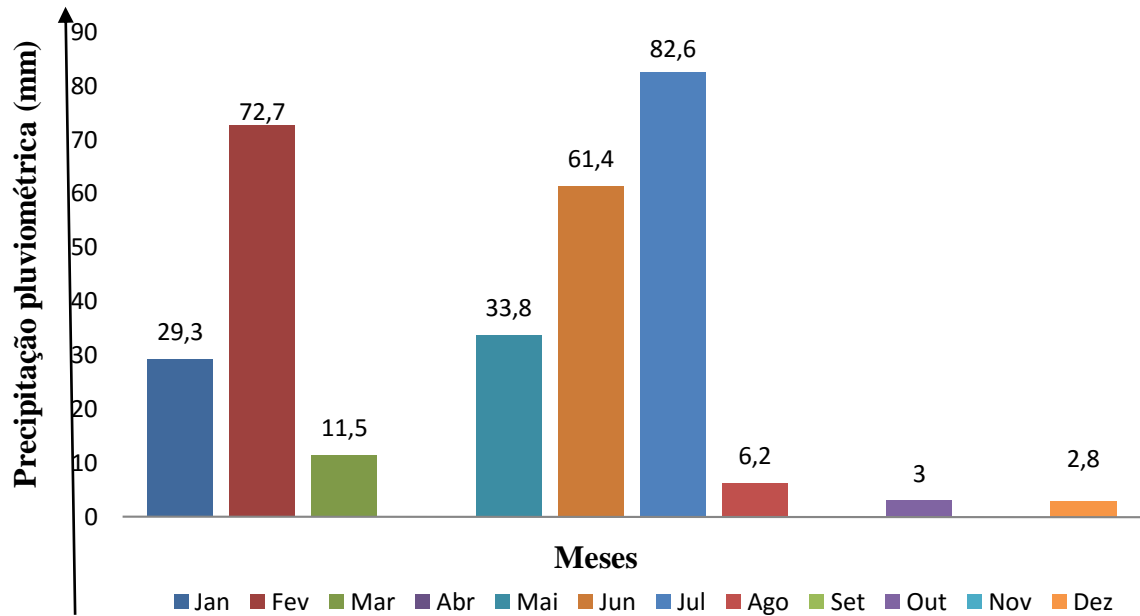
Um fenômeno não muito comum, diante dos dados históricos normais, ocorreu neste ano. O segundo mês mais chuvoso foi o mês de fevereiro, porém, mais uma vez, a vegetação apresentou sua maior eficácia biológica apenas no mês de maio, isso é decorrente do ciclo biológico anual da vegetação, apresentando um NDVI com os resultados entre 0,5 e 0,8 na maioria do município.

As baixas precipitações pluviométricas do ano 2012 refletiram diretamente nas atividades fotossintéticas, refletindo em menos áreas do município a apresentar um NDVI próximo a um em relação ao ano anterior, mas, mesmo assim, pode-se identificar uma grande diferença da vegetação do período de estiagem de 2011 e o período chuvoso de 2012, concordando com a tese de que a vegetação não estava degradada e seca, mas estava apenas passando por um período adaptativo (Figura 14).

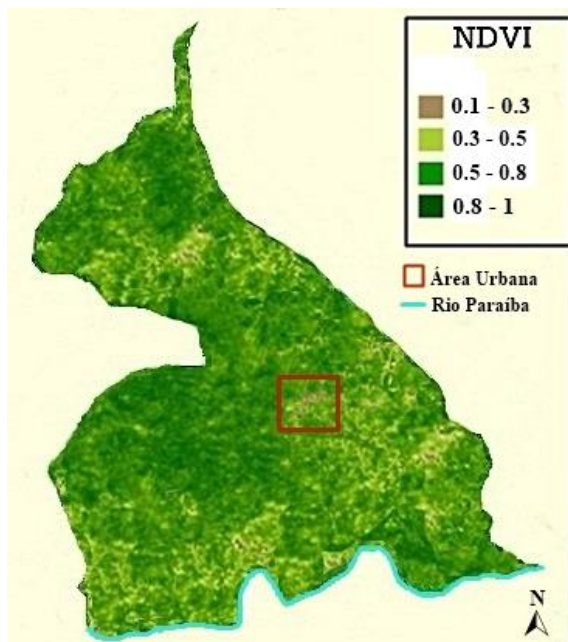
No mês de dezembro de 2012, o resultado do NDVI, da maior parte do município, mostrou-se próximo a zero, variando de 0,3 e 0,1, decorrente das baixas precipitações pluviométricas ocorridas no ano, acarretando pouco ou nenhum acúmulo de água nos córregos e riachos, com isso, a maioria da vegetação entrou em estágio de dormência, reduzindo as atividades fotossintéticas, conforme observado na Figura 15.

Nota-se também uma diferença dos resultados do NDVI nos meses de dezembro dos anos de 2011 e 2012, que estão caracterizando como os meses representantes do período de estiagem dos seus respectivos anos, quando o NDVI, em dezembro de 2011, apresentou resultado de 0,3 a 0,5 na maioria do município, superado a mesma área de dezembro de 2012, resultando apenas de 0,3 a 0,1 em grande parte do município. Este fenômeno pode ser atribuído a grande quantidade de chuva no decorrer do ano de 2011, acumulando águas nos córregos e riachos comuns no município de Gado Bravo-PB, pela sua proximidade do rio Paraíba, fazendo com que a vegetação sobreviva às margens, suportando às condições ambientais no período de seca, sem a necessidade da eliminação das folhas por completo.

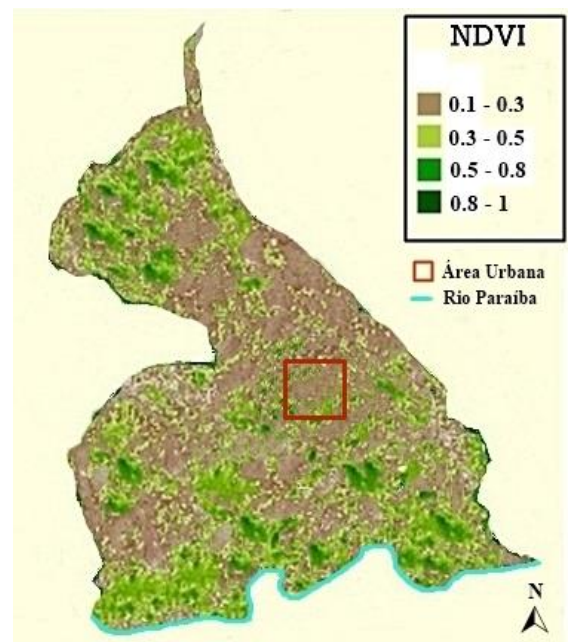




**Figura 13:** Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2012.



**Figura 14:** O NDVI do mês de Maio de 2012 no município de Gado Bravo-PB.



**Figura 15:** O NDVI do mês de Dezembro de 2012 no município de Gado Bravo-PB.

Entre os anos, do período estudado, sobre a precipitação do município de Gado Bravo-PB, 2013 foi o ano em que apresentou chuvas significativas em todos os meses. O total acumulado de precipitação pluviométrica dos meses de 2013 chegou a 424,7 mm, com junho como o mês mais chuvoso, apresentando 116,2 mm e os meses menos chuvosos foram fevereiro e dezembro, com 1,4 mm e 2,3 mm, respectivamente (Figura 16).

O fato interessante do ano de 2013 foi o aumento gradativo das chuvas nos meses iniciais do ano, atingindo o ápice em junho, momento em que se iniciou uma diminuição gradual da precipitação pluviométrica, delimitando, de forma concreta, o período chuvoso, um período intermediário e um período de estiagem, conforme apresentado na Figura 16.

Das precipitações pluviométricas em 2013, o mês de junho teve os maiores valores de chuva. Em consequência, o mês de maio, do ano em questão, apresentou uma vegetação não muito densa e, em consequência disso, os valores do NDVI não se apresentaram elevados, variando, na maioria do município, entre 0,5 e 0,8, com áreas podendo apresentar até 0,3 (Figura 17). Isso demonstra que os resultados do NDVI de uma área de vegetação do bioma caatinga está diretamente ligado à atividade fotossintética das plantas e que está relacionada às precipitações pluviométricas que ocasionam a umidade do solo de onde as plantas retiram a água para sobreviverem.

Mesmo que tenham ocorrido precipitações pluviométricas significativas em todos os meses do ano de 2013, o processo adaptativo das plantas respeita um ciclo biológico anual, garantindo assim a sobrevivência e proliferação das espécies vegetais. Deste modo, os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram precipitações pluviométricas consideráveis, mas os valores do NDVI foram baixos, variando entre 0,1 e 0,3 na maior parte do município de Gado Bravo-PB, no mês de dezembro, conforme observado na Figura 18.

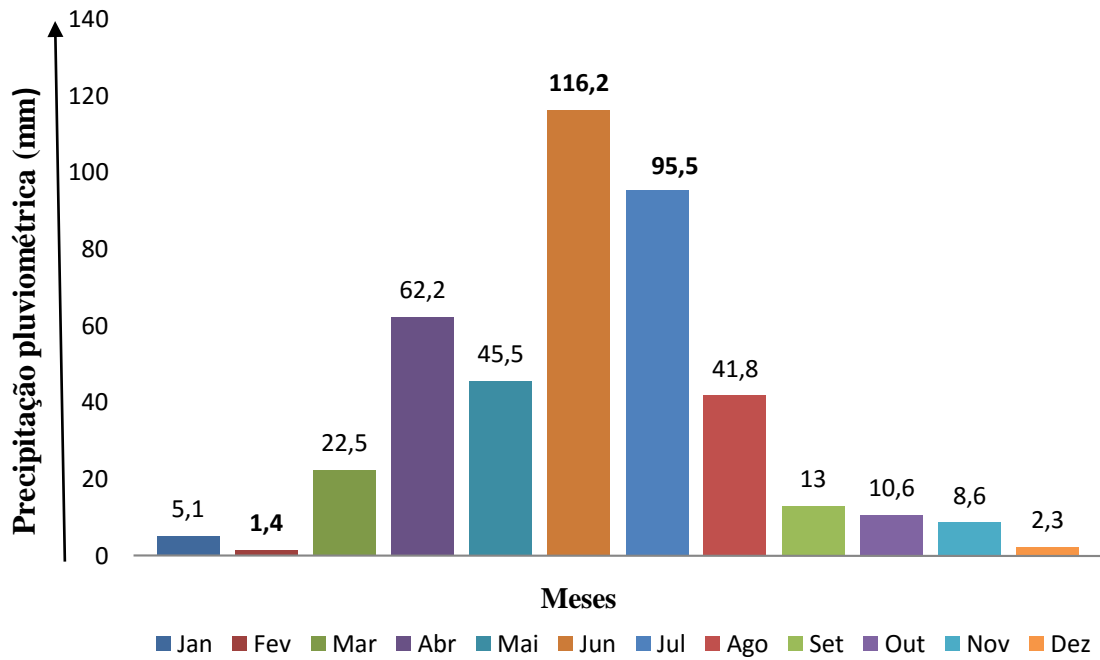


Figura 16: Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2013.

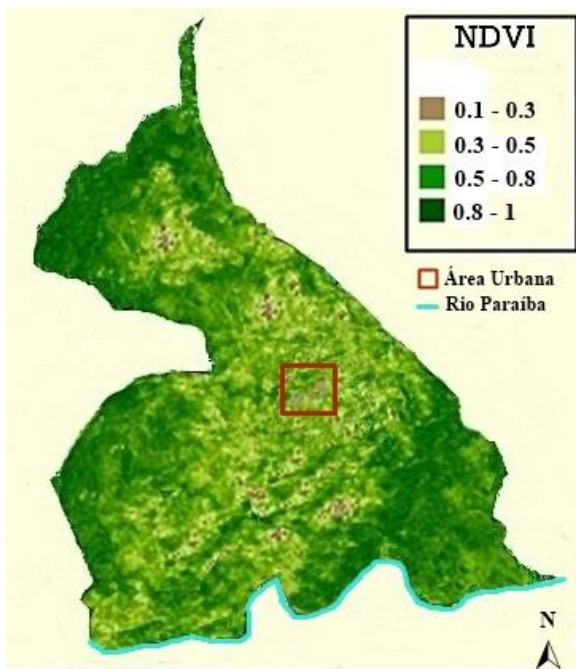


Figura 17: NDVI do mês de Maio de 2013 no município de Gado Bravo-PB.

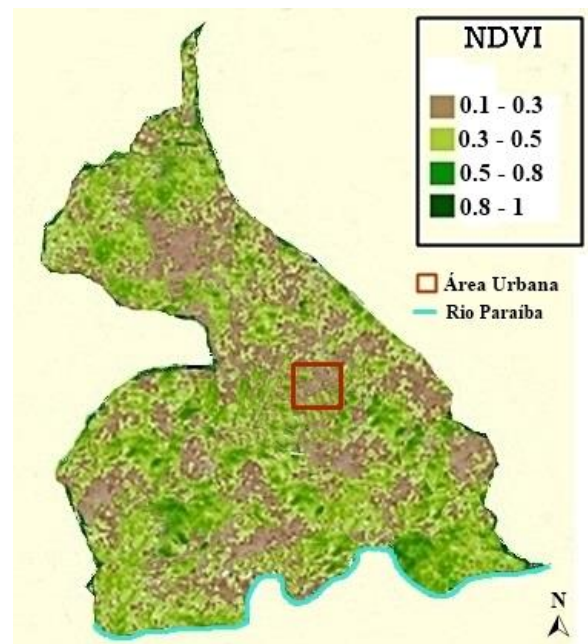


Figura 18: NDVI do mês de Dezembro de 2013 no município de Gado Bravo-PB.

No ano de 2014, a precipitação pluviométrica atingiu 344,9 mm no somatório de todos os meses, com maiores valores de precipitações pluviométricas observadas nos meses de abril e maio, com 74,3 mm e 71,8 mm respectivamente. Entretanto, os meses de janeiro e novembro não apresentaram chuvas significativas neste ano, como apresentado na Figura 19.

Os meses que apresentam maiores índices pluviométricos, dentro do período chuvoso correlacionados com o ciclo biológico da vegetação, apresentaram os mais elevados NDVI na maior parte do município, variando entre 0,5 e 1, o que assinala, que neste período, a vegetação esteve em plena atividade fotossintética, fazendo-se perceber suas energias e suas potencialidades biológicas (Figura 20). Mesmo tendo passado por períodos de estiagem no ano anterior, a vegetação da caatinga se restaura com toda eficácia no próximo período chuvoso.

Passado o período chuvoso de 2014, a vegetação perde as folhas para mais uma vez enfrentar um período de estiagem, completando mais um ciclo anual biológico, este acontecimento pode-se observar no mês de dezembro onde o NDVI resulta valores baixos entre 0,1 e 0,3, na maioria do município (Figura 21).

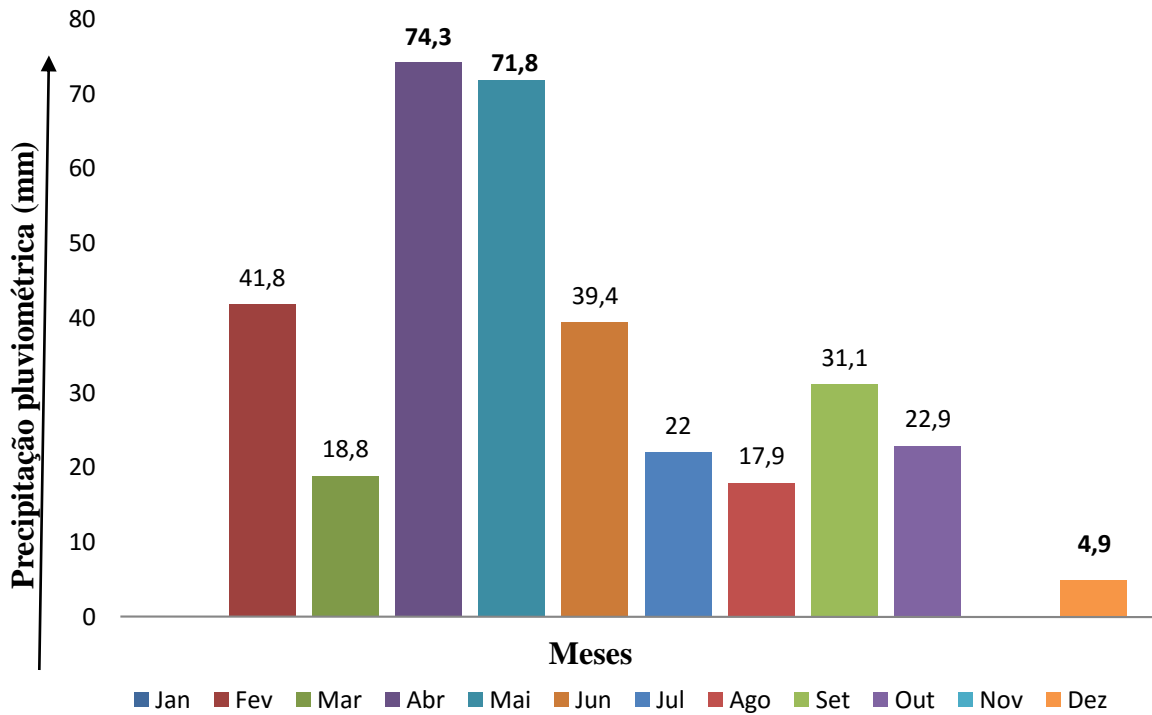


Figura 19: Valores das precipitações pluviométricas mensais do município de Gado Bravo-PB no ano de 2014.

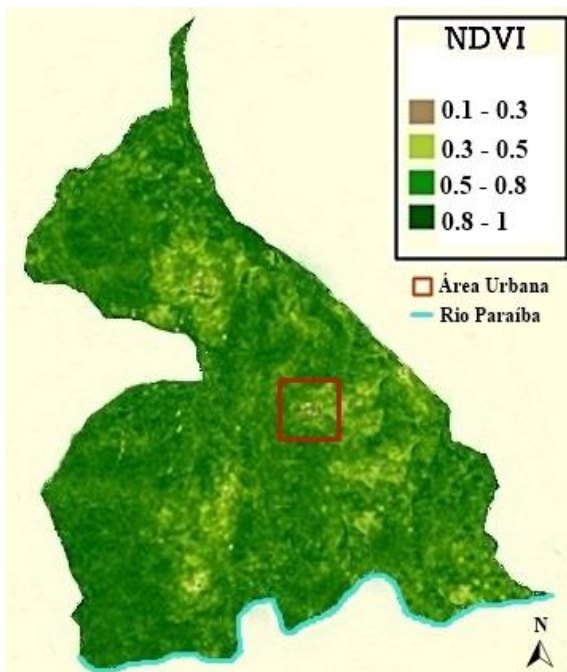


Figura 20: NDVI do mês de Maio de 2014 no município de Gado Bravo-PB.

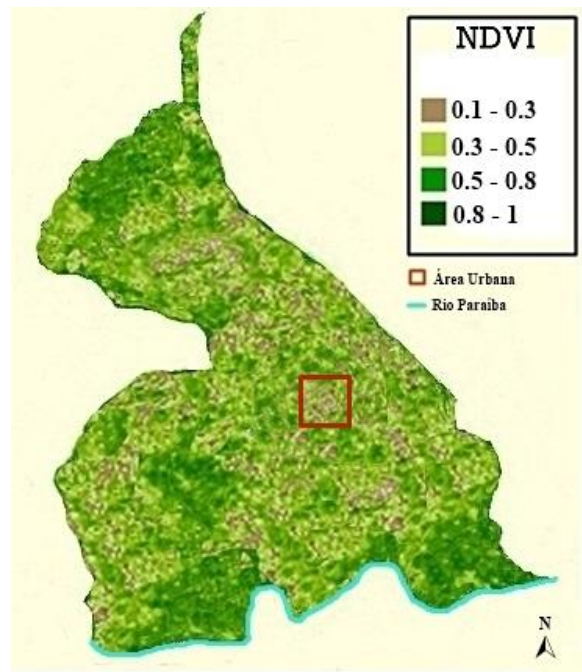


Figura 21: NDVI do mês de Dezembro de 2014 no município de Gado Bravo-PB.

Através da análise dessas imagens coletadas, pode-se afirmar que ocorrem mudanças na vegetação do bioma caatinga no município de Gado Bravo-PB, em decorrências das adaptações das plantas para sobreviverem às condições climáticas anuais, quando, no período de estiagem, a vegetação passa por um processo da perda das folhas, reduzindo suas atividades fotossintéticas, este processo resulta em NDVI baixo, próximo a zero, ou seja, o mesmo resultado observado em áreas de solo exposto ou sem vegetação, por este motivo a área pode ser confundida com um processo de degradação do bioma, relacionando a pobreza em sua biodiversidade, ou até mesmo, que o bioma esteja passando por um processo de desertificação.

Os baixos valores do NDVI, no período de estiagem, não podem ser associados a uma degradação da vegetação da caatinga, pois, no período de estudo, mesmo que o mês de dezembro tenha apresentado valores do NDVI próximos a zero, nos anos posteriores, no mês de maio, os valores do NDVI mantiveram-se elevados nas mesmas áreas deste bioma, em respostas às precipitações pluviométricas do período, podendo ser comprovado, em meio à vegetação, em plenas atividades fotossintéticas, confirmando que a vegetação apenas passava por um processo adaptativo em relação às condições climáticas. Deste modo, os valores inferiores do NDVI, durante o período de estiagem, estão totalmente ligados a esse período adaptativo da vegetação.

Diante dos anos em estudo, pode-se perceber que ocorre uma diferenciação na vegetação do bioma caatinga do município de Gado Bravo-PB, estas modificações da vegetação, traduzidas como processos adaptativos de sobrevivência, estão diretamente ligadas ao ciclo biológico dos vegetais e às mudanças climáticas ocorridas no ciclo anual de precipitação pluviométrica, que proporcionam os períodos chuvosos e de períodos de estiagem e as atividades fotossintéticas da vegetação interferem, diretamente, nos valores e resultados do NDVI, mantendo-se inferiores nos períodos de estiagem e elevados nos períodos chuvosos.

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação do NDVI possibilitou observar as mudanças do comportamento da vegetação do bioma caatinga no município de Gado Bravo-PB, mediante às mudanças de período chuvoso e de estiagem do município.

O acompanhamento dos eventos de precipitações pluviométricas do município de Gado Bravo-PB, durante os anos de estudo, permitiu verificar um período chuvoso, que ocorre entre os meses de abril e junho e, um período de estiagem, que compreende os meses de outubro, novembro e dezembro.

Nos períodos de estiagens, os valores de NDVI mantiveram-se baixos e, nos períodos chuvosos, os valores mantiveram-se elevados, correspondendo, assim, a uma renovação da vegetação proporcionada pelas chuvas ocorridas na região de estudo.

O NDVI mostrou-se sensível para evidenciar a presença de folhas verdes no bioma, apresentando potencialidades para ser utilizado no monitoramento da vegetação de caatinga nos períodos chuvoso e de estiagem.

A perda das folhas, durante o período de estiagem, configura-se como processo adaptativo que pode interferir diretamente nos resultados do NDVI, pois a vegetação sem folhas não apresentam atividades fotossintéticas significativas e os resultados próximos a zero do NDVI podem ser interpretados equivocadamente, compreendidos como correspondentes a uma área que vem a ser considerada como degradada. Contudo, trata-se de uma adaptação biológica relacionada às condições climáticas das vegetações endêmicas da caatinga.

Este trabalho poderá servir de base para futuros estudos, sobre vegetação, solo, áreas agrícolas e, até mesmo, classificações de plantas endêmicas da área de abrangência do município de Gado Bravo- PB ou em municípios próximos.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, U.P. NUNES, A.T. ALMEIDA, A.L.S. ALMEIDA, C.M.A.D. NETO, E.M.F.L. VIEIRA, F.J. SILVA, F.S. SOLDATI, G.T. NASCIMENTO, L.G.S. SANTOS, L.L.; RAMOS, M.A. CRUZ, M.P. ALENCAR, N.L. MEDEIROS, P.M. ARAÚJO, T.A.S. NASCIMENTO, V.T. **Caatinga: biodiversidade e qualidade de vida. NUPEEA– Núcleo de Publicações em Ecologia e Etnobotânica Aplicada**. Bauru, SP, Canal 6, 2010.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: Uma Investigação Ecogeográfica. **REV. CAATINGA** v.22, n3, julho/setembro, Mossoró-RN: 2009. p. 126-135.
- ALVES, J. J. A. Caatinga do Cariri Paraibano. **GEONOMOS** - v.17 n. 1. Minas Gerais: 2009. p. 19 – 25.
- ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Sensor Modis: Uma Abordagem Geral**. INPE. São José dos Campos: 2003.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **SIGAESA Web**. Disponível em: < <http://geo.aesa.pb.gov.br/>> acesso em: 25 jan. 2015.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Chuvas Acumuladas no Mês**. Disponível em: < <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do>> acesso em: 25 jan. 2015.
- BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A.; LIMA, L. C. M. Fenologia de Espécies Lenhosas da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 657- 694.
- BARBOSA, D. C. A. Estratégias de Germinação e Crescimento de Espécies Lenhosas da Caatinga Com Germinação Rápida. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p.625-656.
- BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente: Bioma Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>> acesso em: 25 jul. 2014.
- CHAVES, I. B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. de; SILVA, B. B.; BRANDÃO, Z. N.; CHAVES, L. H. G.; Índices Espectrais, Diagnóstico da Vegetação e Degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá – PB. In: SILVA, B. B. (Org.). **Aplicações Ambientais Brasileiras com Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Campina Grande: EDUFPG, 2013. p. 29-52.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais: Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Gado Bravo, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- FERREIRA, A. R.; SIMÃO, M. L. R.; SILVA, D. C.; NAIME, U. J.; SANTOS, A. J. R. dos. **Análise temporal do índice de vegetação de diferença normalizada no Projeto Jaíba, MG** In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica. Belo Horizonte, 2012.



FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de Textos, São Paulo: 2008.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da Caatinga com Uso de Geotecnologia e Análise da Umidade Antecedente em Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física** n3. Recife: 2012. p. 676-693.

IBAMA. Instituto **Brasileiro Do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>> acesso em: 25 jul. 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **Gado Bravo: Dados gerais do município**. Disponível em: < <http://cod.ibge.gov.br/N1G4> > acesso em: 20 jul. 2014.

JUNGES, A. H.; ALVES, G.; D. C. FONTANA. **Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 241-248.

LEAL, I. R.; TABARELLI M.; SILVA, J. M. C.; BARROS, M. L. B. **Ecologia e conservação da caatinga** – Ed. Universitária da UFPE, Recife: 2003.

MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Recursos Florais e Sistemas de Polinização e Sexuais em Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p.515-564.

MAIA, A. C. D.; IANNUZZI, L.; NOBRE, C. E. B.; ALBUQUERQUE, C. M. R. Padrões Locais de Diversidade de Cerambycidae (Insecta, Coleoptera) em Vegetação de Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 391- 434.

MARTINA, L. **Satélites Meteorológicos: A nova geração de satélites pretende ajudar ainda mais na coleta de dados meteorológicos**. **Revista Meteorológica**. 06 de outubro de 2015.

MELO, A. S. T.; RODRIGUES, J. L. **Paraíba, desenvolvimento econômico e a questão ambiental**. João pessoa: Grafiset, 2003.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília, 2012.

NASA. **National Aeronautics and Space Administration**. Disponível em: < <http://modis-land.gsfc.nasa.gov> > acesso em: 25 jul. 2015.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípio e Aplicações**- 4ª ed. Blucher, São Paulo: 2010.

PEREIRA FILHO, J. M.; BAKKE, O. A. **Produção de Forragem de Espécies Herbáceas da Caatinga In: Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília: 2010. p.145-159.

POZONI, F. J. SHIMABUKURO, Y. E. KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. Oficina de Textos, São Paulo: 2012.

PRADO, D. E. As Caatingas Da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 3-74.

RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; MELO JUNIOR, J. C. F.; CANDEIAS, A. L. B.; SIQUEIRA FILHO, J. A. **Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) Na Avaliação de Áreas Degradadas e Potenciais para Unidades de Conservação**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001 – 006.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. **A Questão Energética**. In: **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília: 2010.

RISO, J.; RIZZI, R.; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; FERNANDES, S. L. **Potencialidades dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 379-386

ROSEMBACK, R.; CONFORTE, J. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; FERREIRA, N. J. **Análise da Variabilidade Temporal do Ndvi/Modis na Região Sul do Brasil**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1823-1829.

SANTOS, R.F. e CARLESSO, R. R. Déficit Hídrico e os Processos Morfológico e Fisiológico das Plantas. **REV. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v.2, n.3. Campina Grande: 1998. p.287-294.

SILVA, B. B. Aplicações Ambientais Brasileiras com Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. **ADUFCG**. Campina Grande: 2013.

SILVA, J. M. C.; SOUZA, M. A.; BIEBER, A. G. D.; CARLOS, C. J. Aves da caatinga: status, uso do habitat e sensibilidade. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Org.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 237-274.

SILVA, M. A. V.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; SANTOS, V. F. **Resposta Estomática e Produção de Matéria Seca em Plantas Jovens de Aroeira Submetidas a Diferentes Regimes Hídricos**. Sociedade de Investigações Florestais. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.2, 2008. p.335-344.

SOUZA, M. J. N. A problemática ambiental: cenários para o Bioma Caatinga no Nordeste do Brasil. In: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; DANTAS, E. W. C. (Org.). **Panorama da geografia brasileira**. São Paulo: Annablume, 2006. v. 2, p. 119-13.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J. Variações Sazonais de Aspectos Fisiológicos de Espécies da Caatinga. **REV. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v.11, n.3. Campina Grande: 2007. p.307–311.

VELASCO, G. D. N.; POLIZEL, J. L.; COLTRI, P. P.; LIMA, A. M. L. P.; SILVA FILHO, D. F. Aplicação do Índice de Vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em Imagens de Alta Resolução no Município de São Paulo e Suas Limitações. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Vol. 2, N° 3, 2007.