



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**RITA DE CÁSSIA FREIRE CARVALHO**

**INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS *EL NIÑO/LA NIÑA* NA VEGETAÇÃO DO BIOMA  
MATA ATLÂNTICA**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

RITA DE CÁSSIA FREIRE CARVALHO

**INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS *EL NIÑO/LA NIÑA* NA VEGETAÇÃO DO BIOMA  
MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.  
Orientador: Alexandre Rosa dos Santos

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

C331i Carvalho, Rita de Cássia Freire, 1991-  
Influência dos fenômenos El Niño/La Niña na vegetação do bioma Mata Atlântica / Rita de Cássia Freire Carvalho. - 2020. 76 f. : il.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Vegetação e clima. 2. Sistemas de Informações Geográficas. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Biomas. 5. Uso do Solo. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 630

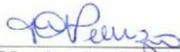
---

**INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS *El Niño/La Niña* NA VEGETAÇÃO DO  
BIOMA MATA ATLÂNTICA**

**Rita de Cássia Freire Carvalho**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 18 de fevereiro de 2020.



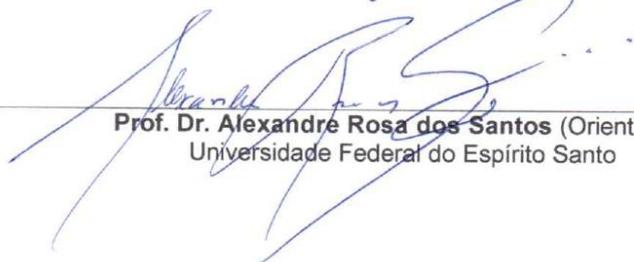
---

**Prof.ª Dr.ª Telma Machado de Oliveira Peluzio** (Examinadora externa)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo



---

**Prof. Dr. Henrique Machado Dias** (Examinador interno)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos** (Orientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo

Aos meus pais, Áureo e Marineuza, e  
minhas irmãs Árina Ariadne e Hévila  
Narene.  
Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder força e proteção durante essa jornada.

Aos meus pais, Áureo e Marineuza, e às minhas irmãs Árina e Hévila, pelo apoio, amor incondicional, inspiração e carinho.

À minha família, em especial tia Bel e Tia Polli, por serem fonte inesgotável de inspiração.

Aos meus padrinhos Paulo e Marinice, pelo apoio, amor e carinho.

À professora Ana, pelos ensinamentos, incentivo e paciência.

Às queridas companheiras de república Maria Naruna, Lourdes Maria, Quinny, Natália e Raquel, obrigada pela acolhida, pela força, amizade e por terem sido minha família.

Ao meu orientador Alexandre Rosa, por todo conhecimento transmitido, pelo incentivo, paciência, por ter contribuído tanto para o meu crescimento, e, principalmente, por acreditar em mim.

Aos amigos e às amigas do Laboratório de Geotecnologia, Kaíse, Taís, Gizely, Rosane, Simony, Samuel, José Romário, Adriano, Cassiano, Garion, Vinícius e Cláudio e ao grupo de pesquisa *Geotechnology Applied To Global Environment – Gagen*.

Ao Adriano Senhorelo, pela parceria nos estudos e na construção dessa pesquisa.

Às minhas amigas Mariana, Luana, Cátia, Liseth, Tia Márcia e Géssica, que mesmo longe, nunca deixaram de estar ao meu lado.

Ao Norton Rodrigo, pelo incentivo e apoio.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Dra. Telma Machado de Oliveira Peluzio e Prof. Dr. Henrique Machado Dias, por aceitarem o convite de participação e pelas valiosas contribuições e sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos amigos e às amigas que compartilharam bons momentos de descontração ao meu lado durante esses dois anos de crescimento pessoal e profissional.

À Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira – DCFM e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais – PPGCFL, pela oportunidade de formação profissional e suporte para a realização deste trabalho. Aos professores, colegas, técnicos e funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, código de Financiamento 001.

Muito obrigada!

## RESUMO

CARVALHO, Rita de Cássia Freire. **Influência dos fenômenos *El Niño/La Niña* na vegetação do bioma Mata Atlântica**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.

A Mata Atlântica é conhecida mundialmente como um dos biomas mais importantes do Brasil, rico em biodiversidade é também um dos mais ameaçados do planeta. Eventos climáticos como *El Niño* e *La Niña* podem afetar as condições climáticas de algumas regiões do planeta, ocasionando aumento anormal da temperatura, secas e chuvas intensas. Em biomas como a Mata Atlântica, alterações climáticas como aumento da temperatura ou diminuição da precipitação pluvial pode influenciar no ganho ou perda da vegetação. Técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e o sistemas de informações geográficas, permitem avaliar as condições da vegetação associadas as variáveis climáticas como a chuva e temperatura, em grandes áreas como a Mata Atlântica. Neste contexto, o objetivo deste estudo é avaliar o comportamento da cobertura vegetal no bioma Mata Atlântica, do estado do Espírito Santo, durante a ocorrência dos eventos climáticos *El Niño* e *La Niña*, por meio do uso de índices de vegetação e análise do uso e ocupação da terra. Mapas de uso e cobertura da terra foram utilizados para análise da dinâmica espacial e temporal das mudanças da cobertura do solo. Além disso, foram utilizadas imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e Índice de Realce de Vegetação (EVI) para análise de agrupamento e correlação com temperatura de superfície da terra e precipitação, no período entre 2002 – 2017. De acordo com os resultados, o biênio que mais apresentou aumento de vegetação foi 2004-2005, anos sem ocorrência de *El Niño/La Niña*. O biênio que mais apresentou diminuição de vegetação foi 2016-2017, anos que apresentaram os valores mais baixos de precipitação e maiores de temperatura e forte ocorrência dos eventos climáticos.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, NDVI, Fatores climáticos, ENSO, Índices de vegetação.

## ABSTRACT

CARVALHO, Rita de Cássia Freire. **Influence of *El Niño / La Niña* phenomena on the vegetation of the Atlantic Forest biome.** 2020. Dissertation (Master of Forest Sciences) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Alexandre Rosa dos Santos

The Atlantic Forest is known worldwide as one of the most important biomes in Brazil, rich in biodiversity and also one of the most endangered on the planet. Weather events such as *El Niño* and *La Niña* can affect the weather conditions in some regions of the planet, leading to abnormal temperature increases, droughts and heavy rainfall. In biomes such as the Atlantic Forest, climate change such as rising temperatures or decreasing rainfall can influence the increase or decrease of vegetation. Remote sensing, geoprocessing and geographic information systems techniques allow the assessment of vegetation conditions associated with climate variables such as rainfall and temperature in large areas such as the Atlantic Forest. In this context, the objective of this study is to evaluate the behavior of vegetation cover in the Mata Atlântica biome, state of Espírito Santo, during the occurrence of *El Niño* and *La Niña* climate events, through the use of vegetation indices and analysis of the use and land occupation. Land use and land cover maps were used to analyze the spatial and temporal dynamics of land cover changes. In addition, images of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Vegetation Enhancement Index (EVI) images were used for cluster analysis and correlation with land surface temperature and precipitation between 2002 – 2017. According to the results, the biennium that presented more vegetation increase was 2004-2005, years without occurrence of *El Niño/La Niña*. The biennium that presented the most vegetation decrease was 2016-2017, the years that presented the lowest and highest precipitation values of temperature and strong occurrence of climatic events.

**Keywords:** Remote Sensing, NDVI, Climate Factors, ENSO, Vegetation Indexes.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de confiabilidade para o NDVI e EVI, obtidos a partir das imagens pixel Reliability .....	28
Tabela 2 – Classificação das intensidades dos eventos de El Niño e La Niña de acordo com o Índice Oceânico Niño (ION).....	37
Tabela 3 – Anos de ocorrência e intensidade dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña .....	37
Tabela 4 – Reclassificação das imagens de uso e ocupação da terra e Códigos da legenda para os valores de pixel da Coleção 3.1 do MapBiomias .....	38
Tabela 5 – Ganho e perda de vegetação associado aos eventos climáticos.....	60
Tabela 6 – Ganho / Perda de vegetação com base na análise de agrupamento do NDVI .....	64
Tabela 7 – Ganho / Perda de vegetação com base na análise de agrupamento do EVI .....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estado do Espírito Santo, Brasil.....	26
Figura 2 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens NDVI, VI Quality e pixel Reliability do sensor MODIS entres os anos de 2002 a 2017 .....	29
Figura 3 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de TST do sensor MODIS entres os anos de 2002 a 2017 .....	32
Figura 4 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de precipitação pluvial do sensor TRMM entres os anos de 2002 a 2017 .....	35
Figura 5 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de uso e ocupação da terra do projeto MapBiomas entres os anos de 2002 a 2017.....	36
Figura 6 – Etapas necessárias para a processamento das imagens de NDVI, EVI, temperatura, precipitação pluvial e uso e ocupação da terra, entre os anos de 2002 a 2017 .....	40
Figura 7 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do produto MOD13Q1 para o período de 2002 a 2009 .....	41
Figura 8 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do produto MOD13Q1 para o período de 2010 a 2017 .....	42
Figura 9 – Índice de Realce de Vegetação (EVI) do produto MOD13Q1 para o período de 2002 a 2009 .....	43
Figura 10 – Índice de Realce de Vegetação do produto MOD13Q1 para o período de 2010 a 2017 .....	44
Figura 11 – Temperatura de Superfície da Terra °C (TST) para o período de 2002 a 2009.....	45
Figura 12 – Temperatura de Superfície da Terra °C (TST) para o período de 2010 a 2017 .....	46
Figura 13– Temperatura média anual para o período 2002 a 2017.....	47
Figura 14 – Precipitação Pluvial Acumulada em mm para o período de 2002 a 2009 .....	48
Figura 15 – Precipitação Pluvial Acumulada em mm para o período de 2010 a 2017 .....	49
Figura 16 – Precipitação pluvial acumulada para o período 2002 a 2017 .....	50
Figura 17 – Uso e ocupação da terra do estado do Espírito Santo para o período de 2002 a 2009.....	51

Figura 18 – Uso e ocupação da terra do estado do Espírito Santo para o período 2010 a 2017 .....	52
Figura 19 – Ganho e Perda da classe formação florestal durante o período de 2002 a 2017 através do UOT .....	53
Figura 20 – Mudança líquida de cobertura da terra para o biênio 2004-2005.....	55
Figura 21 – Contribuição de cada classe de uso e ocupação da terra em relação a formação florestal para o biênio 2004-2005 .....	56
Figura 22– Mudança líquida de cobertura da terra para o biênio 2016-2017.....	58
Figura 23 – Contribuição de cada classe de uso e ocupação da terra em relação a formação florestal para o biênio 2016-2017 .....	59
Figura 24 – Mudança líquida de cobertura da terra para o período 2002 a 2017 .....	61
Figura 25 – Contribuição de cada classe de uso e ocupação da terra em relação a formação florestal para o biênio 2002-2017 .....	62
Figura 26 – Uso e ocupação da terra para 2017 .....	63
Figura 27 – Coeficientes de correlação linear de Pearson .....	65
Figura 28 – Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 2002 até 2017.....	67

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	13
2.	OBJETIVOS .....	15
2.1	Objetivo geral .....	15
2.2	Objetivos específicos .....	15
3.	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	Bioma Mata Atlântica .....	16
3.2	Sensoriamento remoto da vegetação .....	18
3.3	Sensor MODIS .....	19
3.4	Sensor TRMM .....	20
3.5	Índices de vegetação .....	22
3.5.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	22
3.5.2	Índice de Realce de Vegetação.....	23
3.6	MapBiomas.....	23
3.7	<i>El Niño</i> .....	24
3.8	<i>La Niña</i> .....	25
4.	MATERIAL E MÉTODOS .....	26
4.1	Caracterização da área de estudo .....	26
4.2	Aquisição e pré-processamento das imagens orbitais de índices de vegetação, temperatura, precipitação e uso e ocupação da terra.....	27
4.2.1	Imagens de índices de vegetação.....	27
4.2.2	Imagens de temperatura.....	31
4.2.3	Imagens de precipitação pluvial.....	34
4.2.4	Uso e ocupação da terra do projeto MapBiomas.....	35
4.3	Identificação e análise dos anos de ocorrência dos eventos climáticos <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> .....	36
4.4	Análise da evolução temática, espacial e temporal do uso e ocupação da terra.....	37

4.5	Análise de agrupamento dos índices de vegetação e sua relação com o uso e ocupação da terra .....	38
4.6	Correlação entre os índices de vegetação, precipitação pluvial e temperatura de superfície da terra .....	39
5.	RESULTADOS .....	41
5.1	Índices de vegetação .....	41
5.2	Temperatura de superfície da terra.....	45
5.3	Precipitação pluvial acumulada.....	47
5.4	Uso e ocupação da Terra .....	50
5.5	Análise das mudanças no uso e ocupação da terra.....	53
5.6	Análise de agrupamento dos índices de vegetação .....	64
5.7	Análise da correlação entre os índices de vegetação e as variáveis climáticas.....	64
6.	DISCUSSÃO .....	66
7.	CONCLUSÕES .....	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## 1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é conhecida mundialmente como um dos biomas mais importantes do Brasil. Considerada *hotspot* de conservação da biodiversidade (ARAÚJO; KOMONEN; LOPES-ANDRADE, 2015), ela abriga um nível excepcional de diversidade e apresenta vulnerabilidade a ameaças contínuas. Além disso, representa 0,8% da superfície terrestre do planeta, uma cobertura florestal exuberante que corresponde a 5% da flora mundial (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017).

A Mata Atlântica hospeda aproximadamente 70% da população brasileira (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017; IBGE, 2020), e vem sendo devastada desde o primeiro ciclo econômico do País (período pré-colonial), com a extração do Pau-Brasil e na sequência com o avanço das fronteiras agrícolas, e o processo de urbanização. Atualmente, restam aproximadamente 12% da sua cobertura original (RIBEIRO et al., 2009), distribuídos em fragmentos florestais. Devido a sua importância, foi decretada Reserva da Biosfera pela UNESCO e, considerada como Patrimônio Nacional na Constituição Federal de 1988 e protegida pela Lei nº 11.428/2006, conhecida como Lei da Mata Atlântica (BRASIL, 1988, 2006a; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE, 2002).

Fenômenos climáticos como *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS), e *La Niña* podem afetar o microclima de várias regiões do planeta, com implicações significativas na circulação atmosférica, afetando os ecossistemas terrestres, a agricultura, a frequência e distribuição das chuvas (ALEXANDER et al., 2002; KOGAN, 2000). Além disso, os eventos têm influência mundial e importantes consequências socioeconômicas (LEE; MCPHADEN, 2010), causando prejuízos para a sociedade e para biomas como a Mata Atlântica.

O *El Niño* e *La Niña* são parte do fenômeno atmosférico-oceano que provoca alterações na temperatura do oceano Pacífico Equatorial. O *El Niño* é quando ocorre aumento das temperaturas e a *La Niña* é quando o oceano está mais frio (CPTEC; INPE, 2016). O superaquecimento das águas do Oceano Pacífico Tropical pode provocar secas severas, inundações e desastres naturais (WANG, Xiaoming et al., 2018), o que pode influenciar no comportamento da cobertura vegetal.

Avaliar o aumento ou a diminuição da cobertura vegetal, que são influenciados por fenômenos climáticos como o *El Niño* e *La Niña*, é possível por meio de ferramentas de Sensoriamento Remoto (SR), Sistemas de Informações Geográficas

(SIG) e o Geoprocessamento. Neste contexto, técnicas de processamento de imagens, como Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), Índice de Área Foliar (IAF) e o Índice de Realce de Vegetação (EVI), podem ser aplicadas para estudo de ganho e perda de vegetação.

O estudo do mapeamento da cobertura vegetal de grandes áreas como a Mata Atlântica, é exequível por meio de sensores à bordo de satélites como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), capaz de fornecer informações globais da superfície terrestre nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). A radiação solar que incide sobre a superfície terrestre na faixa de comprimento de onda acima de 0,3  $\mu\text{m}$  pode penetrar na atmosfera, e esta por sua vez pode ser refletida nas faixas do visível, infravermelho e micro-ondas que constituem o espectro eletromagnético (LIU, 2006). Neste sentido, justifica-se a importância do SR para estudos de ganho e perda de vegetação.

Os índices de vegetação, como o NDVI, são importantes ferramentas que auxiliam os estudos de ganho ou perda associados as variáveis climáticas pois são bons indicadores das propriedades da vegetação (LI; KAFATOS, 2000). As anomalias climáticas como *El Niño* e *La Niña*, influenciam de forma considerável o clima e a vegetação, causando impactos como relatou Li e Kafatos (2000), em estudo nos Estados Unidos, em que o *El Niño* de 1982 -1983 causou inúmeras tempestades, deslizamentos de terra e enchentes, além de seca severa nos estados centrais do País.

Sob uma outra ótica, o *El Niño* e *La Niña* pode ocasionar prejuízos, mas também consequências positivas. Dannenberg et al. (2015), estudando evidências empíricas da influência do *El Niño* na fenologia e produtividade nos Estados Unidos, perceberam que este evento climático pode também influenciar positivamente provocando o aumento significativo no início da estação de crescimento vegetativo.

Devido à enorme extensão do bioma Mata Atlântica, que se estende de norte a sul do Brasil, os eventos climáticos podem contribuir para aumento ou diminuição da vegetação em diferentes áreas. Neste contexto, devido a importância singular desse bioma, justifica-se analisar a dinâmica da vegetação associada ao seu ganho e perda no decorrer do tempo durante a ocorrências das anomalias climáticas *El Niño* e *La Niña* nos fragmentos florestais do estado do Espírito Santo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 *Objetivo geral*

Avaliar o comportamento da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, no estado do Espírito Santo, durante a ocorrência dos eventos climáticos de *El Niño* e *La Niña*, por meio do uso de índices de vegetação e uso e ocupação da terra.

### 2.2 *Objetivos específicos*

- Identificar e analisar os anos de ocorrência dos eventos climáticos *El Niño* e *La Niña*;
- Analisar a evolução temática, espacial e temporal do uso e ocupação da terra;
- Analisar o agrupamento e a correlação entre os índices de vegetação com as variáveis temperatura de superfície da terra e precipitação pluvial acumulada.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 *Bioma Mata Atlântica*

A Mata Atlântica é um bioma de floresta tropical considerada um *hotspot* global para conservação da biodiversidade, devido à sua riqueza de espécie e endemismo, e ainda um dos biomas mais explorado e mais ameaçado no mundo (ARAUJO; KOMONEN; LOPES-ANDRADE, 2015; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017). O seu domínio constitui um complexo de ecossistemas, que abriga importante parcela significativa da biodiversidade mundial (STEHMANN et al., 2009).

A Mata Atlântica é composta por formações florestais nativas como a Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (BRASIL, 2006a).

O bioma ocupa uma área de cerca de 15% do território brasileiro, que abrange 17 estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe (CAMPANILI; SCHAFFER, 2010; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017).

A Floresta Atlântica brasileira, já foi considerada uma das maiores florestas tropicais da América Latina (RIBEIRO et al., 2009). No Brasil ela cobria uma área aproximada de 1.400.000 km<sup>2</sup> (SILVA; CASTELETI, 2005). A exploração da floresta começou com a extração do Pau-Brasil (*Paubrasilia echinata* (Lam.)) durante o primeiro ciclo econômico brasileiro, ainda no período pré-colonial. O avanço para o interior do país, aumentou o impacto na floresta com os posteriores ciclo do ouro, da cana de açúcar, avanço da pecuária e ciclo do café. Mais tarde, a industrialização, urbanização e o crescimento das grandes cidades na região da Mata Atlântica, influenciou a redução da sua cobertura original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE, 2002). Atualmente restam aproximadamente 12% da sua vegetação nativa (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017; RIBEIRO et al., 2009).

Apesar do alto grau de interferência na floresta, a sua riqueza é muito significativa, existindo ainda nos remanescentes cerca de 20 mil espécies de plantas vasculares, 250 espécies de mamíferos, 340 anfíbios, 1023 aves, 350 peixes e 197

repteis (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE, 2002). A floresta abriga mais de 15700 espécies vegetais, o que corresponde a 5% da flora mundial e, ainda, representa 0,8% da superfície terrestre do planeta (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017).

Os remanescentes da floresta encontram-se distribuídos em 245.173 fragmentos florestais (RIBEIRO et al., 2009). Segundo o mesmo autor, a região de Mata Atlântica mais bem preservada no ano de 2009 foi a Serra do Mar, no estado do Rio de Janeiro, com aproximadamente 36,5% da cobertura original.

Em 2009, a cobertura vegetal existente estava distribuída em pequenos fragmentos, menores que 50 ha e próximo a bordas de florestas, o que demonstra extrema degradação da floresta nos últimos anos (RIBEIRO et al., 2009). Para promover a conservação dos fragmentos remanescentes, é de fundamental importância existir uma conectividade entre os fragmentos menores e os maiores. corredor ecológico é uma alternativa que reduz a fragmentação, e é capaz de integrar áreas para promover uma conexão entre elas, facilitando o fluxo genético entre as populações o que facilita a dispersão das espécies e recolonização de áreas degradadas (BRASIL, 2000).

No Brasil existem propostas de delimitação de corredores ecológicos como estratégia de conservação da biodiversidade, como exemplo o estudo realizado por Santos et al. (2018), que propôs a delimitação de corredores ecológicos interligando uma unidade de conservação na Mata Atlântica por meio de tecnologias do Sistema de Informações Geográficas (SIG), e métricas de ecologia da paisagem no Parque Nacional do Caparaó e a localidade de Saíra Apunhalada, a 60 km de distância do parque.

A Fundação SOS Mata Atlântica apoia propostas de implantação de corredores ecológicos, como exemplo o Corredor Ecológico da Mata Atlântica, na Zona Norte do estado de São Paulo, que faz a conexão entre o Parque Estadual do Jaraguá com os remanescentes de Mata Atlântica contígua e com os parques Anhanguera, Parque Estadual da Cantareira e os parques municipais existentes na borda da Cantareira (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017).

A importância da Mata Atlântica vai além da rica biodiversidade, ela abriga 72% da população brasileira e possibilita atividades essenciais como abastecimento de água, pesca, agricultura, turismo e geração de energia elétrica (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017). Devido ao seu destaque, foi decretada Reserva da Biosfera pela Unesco, como Patrimônio Nacional na Constituição Federal de 1988 e

é protegido pela Lei nº 11.428/2006, conhecida como Lei da Mata Atlântica (BRASIL, 1988, 2006a; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE, 2002).

A Mata Atlântica possui uma exuberância ímpar e uma extrema importância para o Brasil e para o mundo. Possui um histórico de degradação e exploração que fez com que sua cobertura original fosse extremamente reduzida, apesar de existirem programas de preservação dos remanescentes que ainda restam (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2017). A Fundação SOS Mata Atlântica emite anualmente um atlas com o total de desflorestamento no bioma. No período de 2016 e 2017, avaliando os 17 estados brasileiros da Mata Atlântica houve uma redução de 56,8% na taxa de desmatamento comparando com o ano de 2015 e 2016 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2018).

O estado do Espírito Santo é um dos estados brasileiros que está 100% inteiramente dentro da área da lei da Mata Atlântica 11428/06 (BRASIL, 2006b; SEAMA; REFLORESTAR, 2018). A área de abrangência da Mata Atlântica no estado é em quase que sua totalidade por Floresta Ombrófila Densa, seguido de Floresta Estacional Semidecidual, possui algumas áreas de Floresta Ombrófila Aberta e Áreas de Formações Pioneiras. Atualmente, o Estado possui 483.172 ha de mata, o que corresponde a 10,5% de mata (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2018).

### 3.2 *Sensoriamento remoto da vegetação*

Entende-se por Sensoriamento Remoto (SR), a obtenção de imagens e dados por meio de sensores, instalados instrumentos científicos que ficam em órbita na terra, sem estar diretamente em contato físico direto entre o sensor e o objeto (FLORENZANO, 2011).

As ferramentas de SR evoluíram substancialmente nos últimos (ASNER, 1998). Foi na metade da década de 80 que iniciaram algumas atividades de mapeamento da cobertura vegetal do Brasil (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). Na década de 90, as pesquisas passaram a ser mais quantitativas, estabelecendo correlações de parâmetros geofísicos com parâmetros biofísicos.

As técnicas de SR são baseadas em elementos importantes, tais como: fonte de radiação, sensor, aquele no qual coleta e registra a radiação eletromagnética emitida pelo alvo, e o alvo, elemento sobre o qual se pretende obter informação. A

radiação eletromagnética que incide sobre a vegetação pode ser refletida, absorvida e transmitida (LIU, 2006). A radiação eletromagnética é a energia que é refletida ou emitida dos alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2011). A energia solar que incide sobre a superfície é um tipo de energia eletromagnética. Os satélites por sua vez, registram as interações da energia eletromagnética com a superfície terrestre (LIU, 2006), podendo ser caracterizada por apresentar comprimento de onda, frequência e amplitude, com isso, o conjunto de comprimentos de onda que compõe a radiação eletromagnética é conhecido como espectro eletromagnético.

A maioria dos sensores são desenvolvidos para registrar sinais de energia eletromagnética refletida ou emitida no comprimento de onda localizado nas faixas do visível, infravermelho e microondas (LIU, 2006). Segundo Ponzoni; Shimabukuro (2009), o processo de interação entre a radiação eletromagnética e uma folha depende da água, dos pigmentos fotossintetizantes, e dos fatores estruturais. Assim, analisando os dois fatores com a absorção, transmissão e reflexão da energia é possível estudar o comportamento espectral da vegetação. A resposta espectral da vegetação ocorre na faixa do vermelho e do infravermelho do espectro eletromagnético.

Como ferramentas de SR, destacam-se funções relativas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), capazes de auxiliar não só a elaboração de mapas, mas muito úteis para o gerenciamento e análise informações que precisam de uma localização (CALIJURI; CUNHA; FILHO, 2013).

### 3.3 *Sensor MODIS*

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), é o principal instrumento a bordo do satélite TERRA (EOSAM-1) (LIU, 2006). O sensor MODIS foi projetado para fornecer observações globais da superfície terrestre nas regiões do visível e do infravermelho (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

Segundo Ponzoni; Shimabukuro, (2009) o sensor MODIS possui alta resolução radiométrica (12 bits) em 36 bandas espectrais, apresenta uma largura de visualização da terra de 2330 km e seus detectores coletam dados com resolução espacial de 250 m, 500 m e 1000 m. Além disso, este sensor orbita na terra a uma altitude de 705 km e sua resolução temporal, período de tempo entre duas coletas de

dados sobre a mesma superfície, são de 2 dias. A resolução temporal do sensor MODIS é anual, trimestral, mensal, 16 dias, 8 dias e diariamente (DIDAN, 2015).

O instrumento MODIS possui vários produtos que podem ser utilizados para fins de pesquisa. Para estudos de índices de vegetação o produto mais utilizado é o MOD13Q1, que fornece índices de vegetação, com uma resolução temporal de 16 dias, e resolução espacial de 250 m.

O produto MOD13Q1 fornece duas camadas de vegetação, sendo a primeira o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), na qual é uma continuidade do NDVI derivado da *National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer - NOAA-AVHRR*. A segunda camada é o Índice de Vegetação Melhorado (EVI). O algoritmo utilizado escolhe o melhor valor de *pixel* disponível de todas as aquisições no período de 16 dias, e são utilizados os critérios de nuvem baixa, ângulo de visão baixo e o maior valor de NDVI/EVI (DIDAN, 2015).

O MOD13Q1 possui as seguintes características: granularidade temporal multi dias, extensão temporal do ano de fevereiro de 2000 até o momento presente, extensão espacial global, seu sistema de coordenadas é sinusoidal, o arquivo possui o formato HDF-EOS e suas dimensões geográficas são de 1200 km por 1200 km.

Para estudos de temperatura, o instrumento MODIS com o produto MOD11A2 versão 6, fornece uma temperatura e uma emissividade terrestre média por *pixel* de 8 dias, possui resolução espacial de 1 km e uma grade de 1200 por 1200 km (WAN; HOOK; HULLEY, 2015).

### 3.4 Sensor TRMM

O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* foi desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, em parceria com a *Japan Aerospace Exploration (JAXA)*, e lançado em 27 de novembro de 1997, com o intuito de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, permitindo verificar a influência desta no clima global (KUMMEROW et al., 2000).

Esse satélite, possui órbita oblíqua baixa não-síncrona com o sol, com período de translação igual a 91 minutos, o que permite alta resolução temporal e espacial, girando aproximadamente ao redor do globo 16 vezes por dia. Os dados são

estimados a cada 3 horas, com cobertura geográfica entre as latitudes de 50°S e 50°N (LOUZADA, 2016).

O TRMM é composto por cinco instrumentos a bordo sendo: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS) (LINARES, 2012).

O TMI É um dos mais eficientes instrumentos de medição de chuva do TRMM. É um sensor de microondas passivo, projetado para fornecer informação quantitativa da chuva sobre uma largura de varredura de 780 km na superfície. Este sensor é capaz de quantificar o vapor de água, a água precipitável, e a intensidade da chuva na atmosfera. A medição de precipitação é obtida por meio da lei inversa de Planck e correlação com temperatura de topo de nuvem. Para tornar as estimativas mais precisas, é utilizado o radar de precipitação (PR), que é capaz de detectar precipitações muito baixas, da ordem de 0,7 mm/h (NÓBREGA, 2008).

De forma geral, o produto TRMM é calculado em quatro etapas. Inicialmente as estimativas de precipitação de micro-ondas são intercalibradas e combinadas, e em seguida as estimativas de Infravermelho (IR), são criadas com ajuda de uma calibração baseada também nos resultados das estimativas de micro-ondas. Logo após, é feita a combinação de ambos os resultados obtidos nas duas primeiras etapas, e finalmente dados observados em pluviômetros e pluviógrafos são integrados (HUFFMAN et al., 2007).

Segundo Louzada (2016), o produto 3B43-v7 é a última versão dos produtos do TRMM lançado em junho de 2011, resultado da combinação de dois produtos, a estimativa a cada 3 horas do algoritmo 3B42-v7, e a precipitação observada por pluviômetros do projeto *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)*.

Alguns trabalhos já desenvolvidos comprovaram acurácia satisfatória das estimativas de precipitação oriundas do satélite. Pode-se citar os estudos desenvolvidos por Fang et al. (2013), Duan; Bastiaanssen (2013), AS-Syakur et al. (2013), Feidas (2010) e Dinku et al. (2007), que verificaram que o TRMM 3B43 apresentou ótimo desempenho ao comparar com o produto de outros satélites. Louzada (2016), em seu estudo, também comprovou que o satélite TRMM estimou adequadamente a precipitação, com ótima correlação entre os postos meteorológicos e respondeu à sazonalidade do clima da região.

### 3.5 Índices de vegetação

Os índices de vegetação foram desenvolvidos para monitorar e quantificar as condições e distribuições da vegetação na superfície terrestre, por meio da refletância espectral da radiação eletromagnética (LIU, 2006). Os índices de vegetação foram construídos utilizando informações de refletância das faixas espectrais dos satélites (POVEDA; SALAZAR, 2004).

Existem vários índices de vegetação, tais como: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera – ARVI, Índice de Vegetação Melhorado (EVI). Estes são exemplos que podem ser utilizados para estudar e monitorar a vegetação.

#### 3.5.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O *Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por (ROUSE et al., 1973). Ele é calculado pela diferença da refletância no infravermelho próximo e a faixa do visível, dividido pela soma da refletância no infravermelho próximo com o visível. A equação geral está representada pela Equação 1.

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (1)$$

Em que,

NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada;

NIR: refletância na faixa de infravermelho próximo;

VIS: refletância na faixa do vermelho.

O NDVI varia de -1 a +1, sendo que os valores negativos representam as nuvens, valores próximos de zero representam solo exposto ou sem vegetação, e valores maiores que zero representam a cobertura vegetal (LIU, 2006). Quanto maior o valor do NDVI, infere-se que mais densa é a vegetação. O NDVI por sua vez constitui

uma ferramenta para monitoramento da vegetação, o que permite fazer comparações interanuais dos perfis de cobertura vegetal (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

### 3.5.2 Índice de Realce de Vegetação

O *Enhanced Vegetation Index* (EVI), também conhecido como Índice de Realce de Vegetação, assim como o NDVI é muito utilizado para estudo do comportamento da vegetação. O EVI pode ser calculado pela Equação 2 (JUSTICE et al., 1998).

$$EVI = \frac{G(NIR - Vermelho)}{(L + NIR + C1vermelho - C2azul)} \quad (2)$$

Em que,

EVI: Índice de Realce da Vegetação

L: Fator de ajuste do solo;

G: fator de ganho;

C1 e C2: coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera.

Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 E G=2,5 (HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).

Segundo Ponzoni; Shimabukuro (2009), o EVI foi desenvolvido para aprimorar o sinal da vegetação e ainda favorecer a sensibilidade na detecção de áreas com maiores densidades de biomassa.

## 3.6 *MapBiomass*

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomass) é uma plataforma online de mapas e dados criada por universidades, Organizações Não Governamentais (ONGs) e empresas de tecnologia. O objetivo do projeto é produzir mapas anuais de cobertura e uso do solo no Brasil, desde 1985 até os dias atuais. Além dos mapas, é possível ter acesso, na plataforma, as informações e estatísticas de cobertura e uso do solo para cada ano.

O MapBiomias teve origem em 2015, e é uma iniciativa que envolve colaboradores como especialistas em biomas, uso da terra, SR, Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e ciência da computação, contribuindo para a compreensão da dinâmica do uso do solo no Brasil (MAPBIOMAS, 2019).

O projeto disponibiliza para *download* em sua plataforma dados estatísticos, mapas e mosaicos de imagens Landsat.

Alguns trabalhos já foram desenvolvidos com dados do MapBiomias, pode citar os estudos desenvolvidos por (ALMEIDA et al., 2018; JÚNIOR, 2019; SOUSA; MARTINS; SILVA, 2020) na qual utilizaram dados das classes da plataforma para análise, comparação e mudanças no uso e ocupação da terra.

### 3.7 *El Niño*

O termo *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS), refere-se ao fenômeno climático oceânico relacionado ao aquecimento esporádico das temperaturas de superfície do mar ao longo do Pacífico Equatorial central e leste sul (NOAA, 2012). Em algumas regiões do planeta, como nos Estados Unidos o fenômeno pode ocasionar condições climáticas severas. Nos trópicos, ocorre aumento das chuvas no sentido leste-centro e leste do pacífico e condições mais secas do que o normal no norte das Austrália , Indonésia e Filipinas (NOAA, 2005a). No Brasil, o *El Niño* influencia no aumento da temperatura, ocasionando condições mais quentes do que o normal no período de julho a agosto, principalmente na região sudeste

O fenômeno ENOS constitui uma interação atmosfera-oceano associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), e dos ventos alísios na região do oceano Pacífico Equatorial, entre a costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália (OLIVEIRA, 2001). O *El Niño* não possui um intervalo determinado para ocorrer, tipicamente ocorrem a cada 3-5 anos, entretanto no registro histórico, esse intervalo já variou de 2 a 7 anos.

Nos últimos anos, o fenômeno se tornou uma fonte dominante de variabilidade climática (TRENBERTH, 1997).

Anos de ocorrências mais fortes do *El Niño*, segundo o INPE (2016) foram: 1940-1941, 1987-1988, 1997-1998, 2015-2016.

### 3.8 *La Niña*

O fenômeno *La Niña* possui características contrárias ao *El Niño*, sendo caracterizada como um resfriamento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Os impactos da *La Niña* são opostos ao *El Niño*. De acordo com Li, Kafatos (2000), além dos impactos ambientais, as anomalias climáticas apresentam impactos socioeconômicos significativos nas regiões onde ocorrem.

Durante a ocorrência da *La Niña*, o Pacífico Equatorial oriental apresenta temperaturas mais baixas que média da superfície do mar (NOAA, 2012), o que diminui a atividade de chuvas e tempestades sobre essa região do pacífico, ficando as chuvas confinadas as regiões da Indonésia e ao Pacífico Ocidental (NOAA, 2005b).

Anos de ocorrências forte a moderada do *La Niña*, segundo o INPE (2016) foram: 1942-1943, 1988-1989, 1999-2000, 2017-2018.

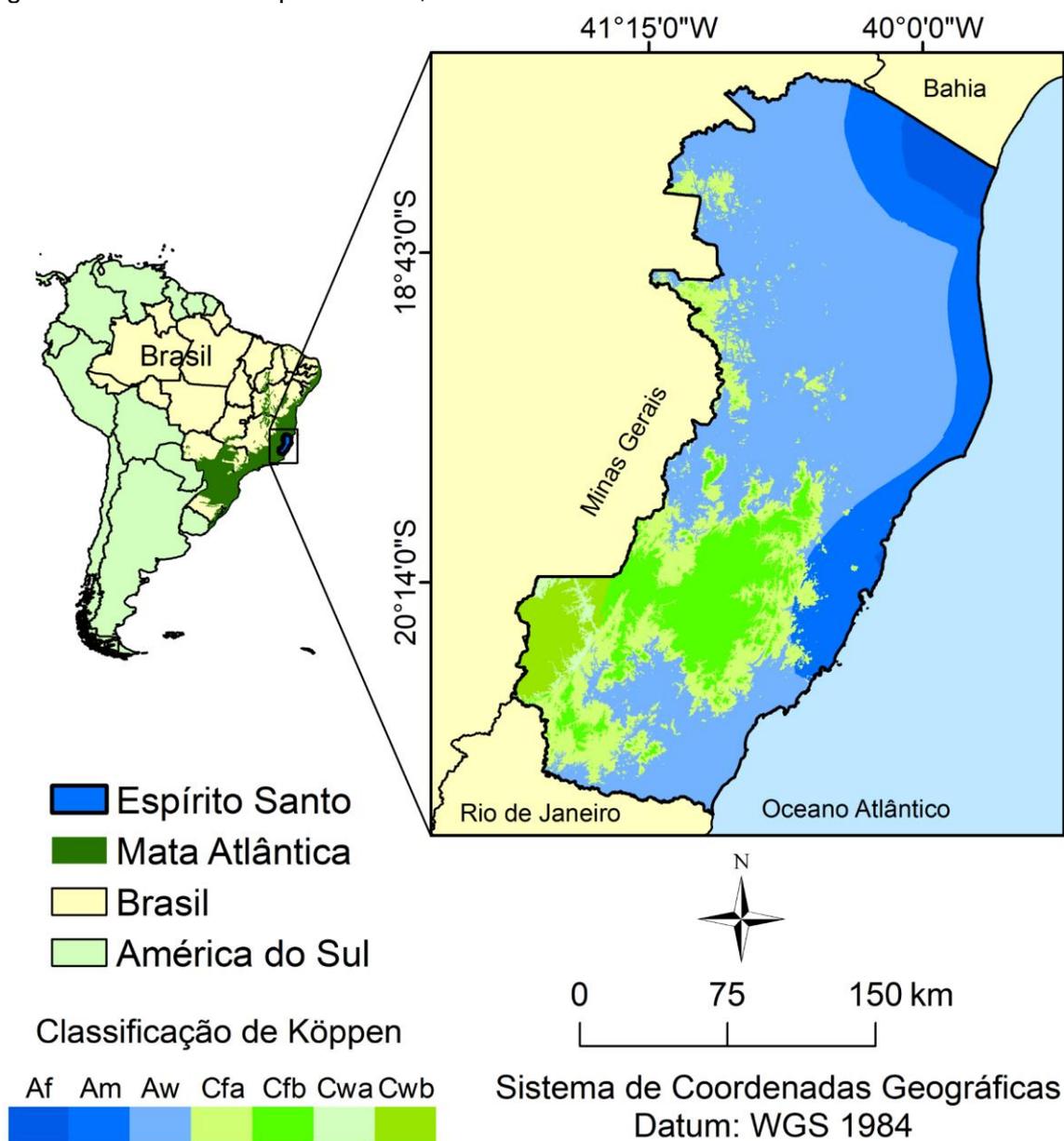
A Oscilação Sul é constituída por duas fases, a fase de temperatura da superfície do mar quente, que corresponde ao *El Niño* e a fase fria oposta, na qual caracteriza a *La Niña* (LI; KAFATOS, 2000).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área em estudo compreende o estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, que possui área total de 46.052,64 km<sup>2</sup>, localizado entre os paralelos 17°53'29" e 21°18'03" de latitude Sul e os meridianos 39°41'18" e 41°52'45" longitude Oeste de Greenwich. O estado faz fronteira com o Oceano Atlântico a leste, o estado da Bahia ao norte, Minas Gerais a oeste, e Rio de Janeiro ao sul (Figura 1).

Figura 1 – Estado do Espírito Santo, Brasil



Fonte: Alvares et al. (2013), adaptado pela autora.

Segundo a classificação climática de Köppen, as zonas predominantes no estado são: Af, clima tropical úmido (2,76%); Am, zona tropical com monção (13,96%); Aw, Zona Tropical - com inverno seco (53,69%); Cfa: clima oceânico, sem estação seca (14,92%); Cfb, clima oceânico, sem estação seca - com verão temperado (10,47%); Cwa, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (0,83%) e Cwb, clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado (3,36%)(ALVARES et al., 2013).

#### 4.2 *Aquisição e pré-processamento das imagens orbitais de índices de vegetação, temperatura, precipitação e uso e ocupação da terra*

##### 4.2.1 Imagens de índices de vegetação

Para avaliar a cobertura vegetal da Mata Atlântica no estado do Espírito Santo, durante a ocorrência dos eventos *El Niño* e *La Niña*, foram utilizados os dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Realce de Vegetação (EVI), do satélite Terra, Sensor MODIS, produto MOD13Q1 gerados a cada 16 dias, a uma resolução espacial de 250 m (DIDAN, 2015).

As imagens de NDVI e EVI são disponibilizadas gratuitamente no sítio da NASA, com dados obtidos a partir de fevereiro de 2000. Neste estudo, os dados foram utilizados a partir do ano de 2002 até 2017.

Os dados do NDVI e EVI do sensor MODIS, que foram utilizados para estudar a cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica compreendeu os anos em que ocorreram o *El Niño* e *La Niña* e os anos sem ocorrência. Os dados foram utilizados para comparação com o mapa de uso e ocupação da terra fornecido pelo projeto MapBiomas e realizou-se uma correlação com temperatura de superfície da terra e precipitação pluvial de 2002 a 2017.

O produto MOD13Q1, é disponibilizado como arquivo compactado em formato .hdf (formato de dados hierárquicos), sendo composto por sete arquivos de imagens, a saber: NDVI, EVI, de qualidade *VI Quality*, de confiabilidade *Pixel Reliability* e de refletância referente às bandas utilizadas para geração de NDVI e EVI (Bandas 1, 2 e 3). Foram utilizados dois quadrantes, totalizando 2.208 imagens de NDVI, *VI Quality* e *Pixel Reliability* para o período compreendido entre 2002 a 2017. Como o produto

MOD13Q1 é gerado a cada 16 dias, foram utilizadas 23 imagens para cada quadrante e 46 imagens para cada ano para a área total do Estado.

As imagens *VI Quality* e *Pixel Reliability* foram utilizadas para extração dos *pixels* “espúrios” nas imagens NDVI e EVI. Os *pixels* “espúrios” são resultados de ruídos, presença de nuvens ou neve. Os valores e significados das imagens de confiabilidade *Pixel Reliability* variam conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de confiabilidade para o NDVI e EVI, obtidos a partir das imagens *pixel Reliability*

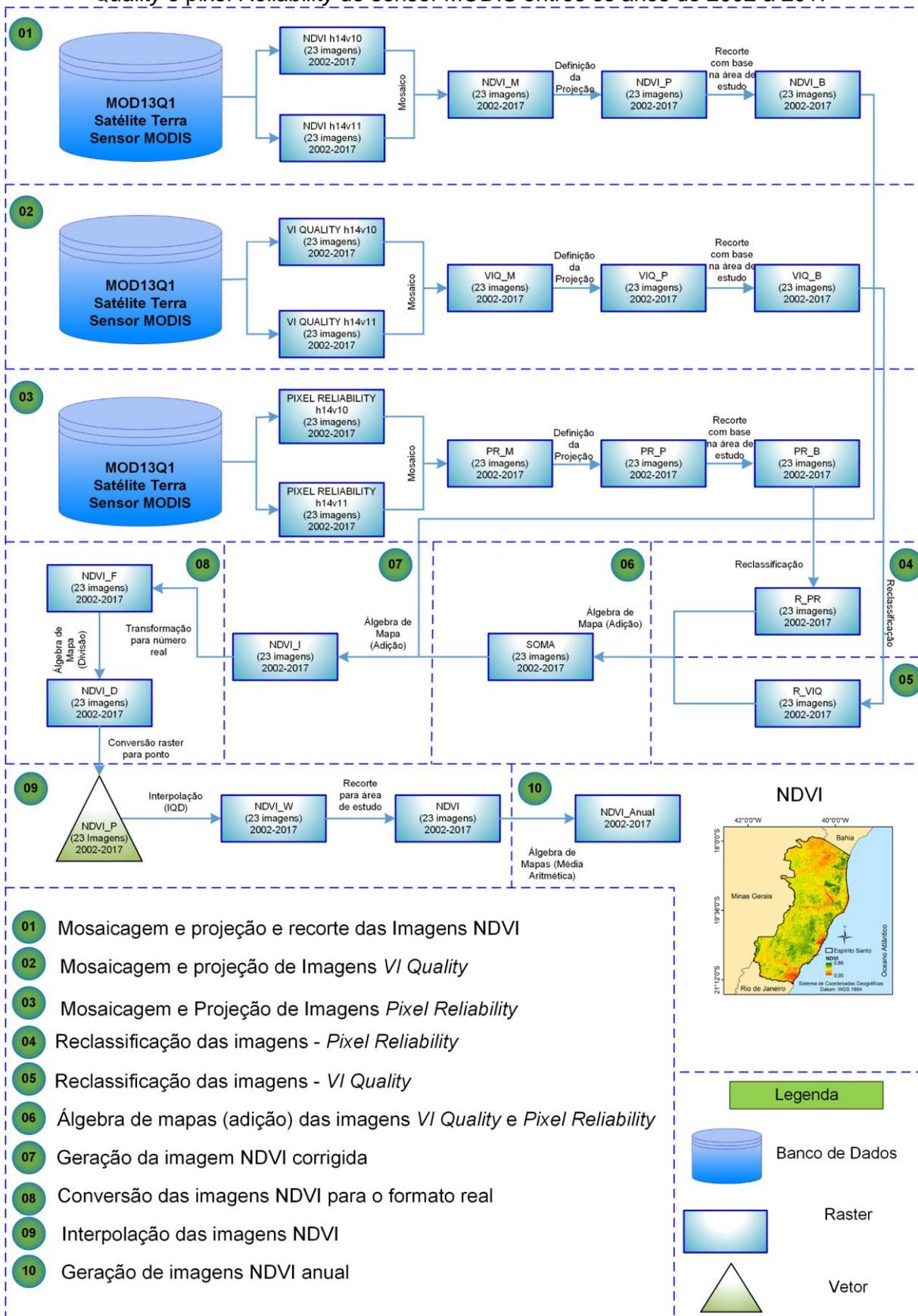
<b>Valor do <i>Pixel</i></b>	<b>Qualidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valores após reclassificação</b>
-1	Sem dado	Não processado	No Data
0	Dado bom	Pode ser usado com confiança	0
1	Dado marginal	Pode ser usado, mas é preciso olhar outra informação de qualidade	0
2	Neve/gelo	Alvo coberto de gelo ou nuvem	No Data
3	Nuvem	Não há visibilidade, cobertura com nuvens	No Data

Fonte: Didan; Munoz; Huete (2015), adaptado pela autora.

Os valores de qualidade das imagens *VI Quality* foram avaliados por Moraes; Rocha (2011), na qual encontraram o intervalo válido que pode ser considerado como *pixels* desejáveis que vai de 4 a 37.572.

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens NDVI, *VI Quality* e *pixel Reliability* do sensor MODIS entres os anos de 2002 a 2017 é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens NDVI, VI Quality e pixel Reliability do sensor MODIS entres os anos de 2002 a 2017



Fonte: a autora.

A seguir são descritos os procedimentos metodológicos representativos das 10 etapas necessárias para o pré-processamento das imagens NDVI.

- Etapas 01, 02 e 03: mosaicagem, projeção e recorte das imagens NDVI, *VI Quality* e *Pixel Reliability*

Nessas etapas, as imagens NDVI, *VI Quality* e *Pixel Reliability* foram mosaicadas, convertidas para o formato .grid, reprojctadas para o sistema de referência WGS84 Zona 24 S e recortadas para a área em estudo.

- Etapas 04 e 05: reclassificação das imagens *Pixel Reliability* e *VI Quality*

Nessas etapas, as imagens *Pixel Reliability* foram reclassificadas adotando para os *pixels* antigos -1, 2 e 3 (nuvem, neve e gelo), o valor *NoData*, e 0 e 1 (*pixels* válidos) o valor 0.

Esse mesmo procedimento foi aplicado às imagens *VI Quality*, adotando para os intervalos de *pixels* entre 0 e 4 e 37.572 e 99.999 (intervalos inválidos) o valor *NoData* e para o intervalo entre 4 e 37.572 (intervalo válido) o valor 0.

- Etapa 06: álgebra de mapas (adição) das imagens *VI Quality* e *Pixel Reliability*

Nessa etapa, as imagens *Pixel Reliability* e *VI Quality* reclassificadas nas etapas 04 e 05 foram somadas (álgebra de mapas) para a geração de uma máscara de correção de *pixels* “espúrios”.

- Etapa 07: geração da imagem NDVI corrigida

Nessa etapa, a máscara de correção de *pixels* “espúrios” (etapa 06) foi somada com as imagens de NDVI, para extração dos *pixels* “espúrios”, que receberam valor *NoData*, gerando a imagem de NDVI corrigida.

- Etapa 08: conversão das imagens NDVI para o formato real

Nessa etapa, as imagens NDVI corrigidas, que se encontravam em formato inteiro, foram convertidas para o formato real. Além disso, estas imagens, que

possuíam originalmente valores digitais variando entre -10000 a +10000, foram reescaladas para o intervalo de -1 a +1 por meio da divisão pelo seu fator de escala equivalente a 10000.

#### - Etapa 09: interpolação das imagens NDVI

Nessa etapa, as imagens NDVI pré-processadas na etapa anterior, foram convertidas para o formato de imagem vetorial de pontos que foram interpoladas pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD), e, posteriormente, foram recortadas para a área de estudo.

#### - Etapa 10: geração de imagens NDVI anual

Nessa etapa, foi aplicada a função da álgebra de mapas (média aritmética), com o objetivo de gerar imagens anuais de NDVI com *pixel* de 250 m.

A etapa de pré-processamento das imagens de EVI, foi realizada de forma semelhante ao processamento das imagens de NDVI.

Devido à dificuldade para realizar o pré-processamento das 2.944 imagens de NDVI, EVI, *VI Quality* e *Pixel Reliability*, foi implementada uma rotina com base em uma linguagem de programação *Python*, utilizada para automatizar e documentar os processos de gerenciamentos de dados (ABDELRAHMAN; TAHOUN, 2019).

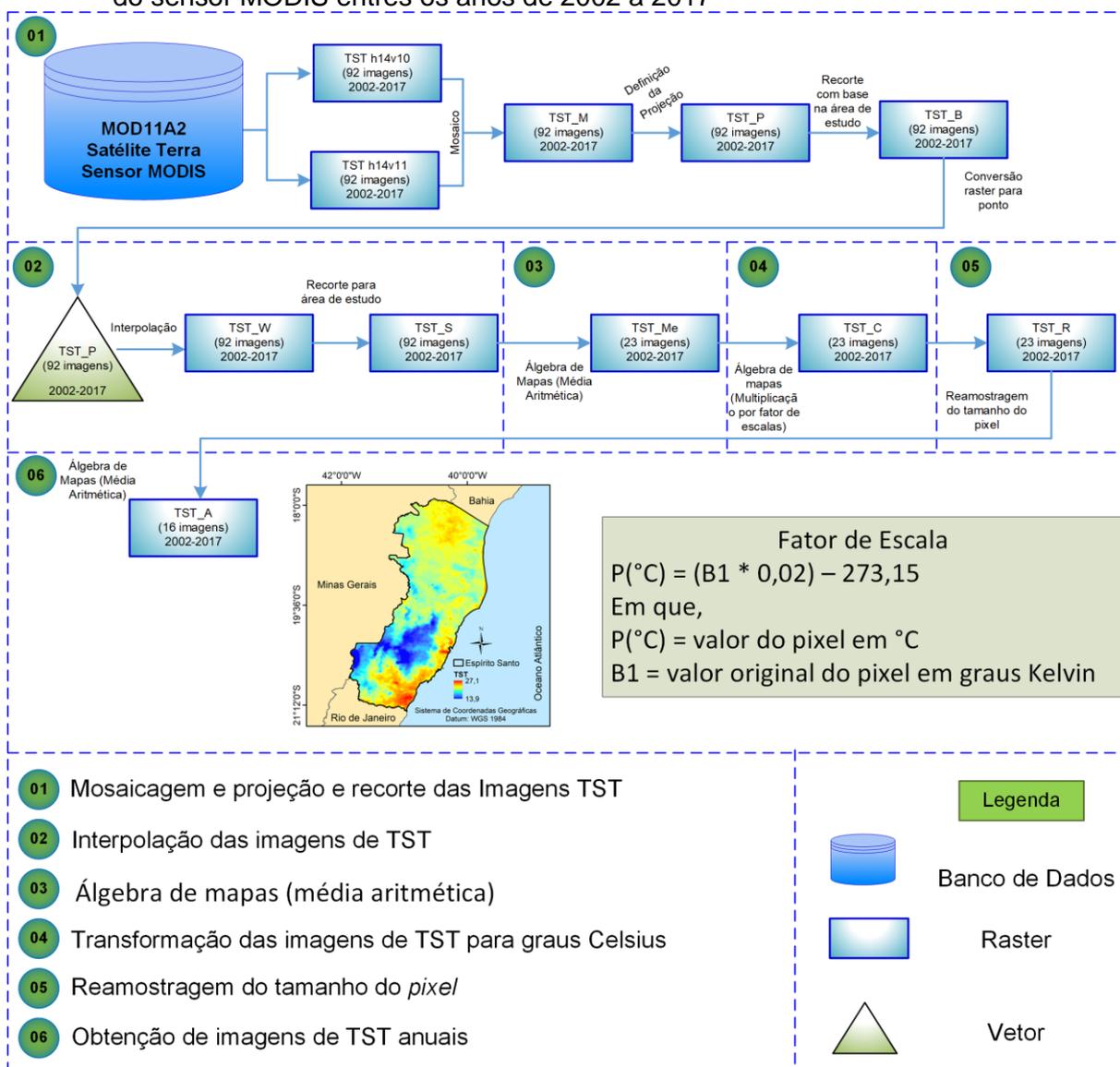
### 4.2.2 Imagens de temperatura

Para a temperatura, foi utilizado o produto MOD11A2, que contém imagens de Temperatura de Superfície da Terra (TST), com resolução temporal de 8 dias e resolução espacial de 1 km. Os dados originais do produto MOD11A2, são fornecidos em Kelvin, sendo necessário utilizar um fator de conversão para que os dados sejam transformados para graus Celsius.

De maneira análoga ao pré-processamento das imagens NDVI e EVI, as 2.944 imagens de TST, foram implementadas uma rotina com base em uma linguagem de programação *Python*, utilizada para automatizar e documentar os processos de gerenciamentos de dados.

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de TST do sensor MODIS entre os anos de 2002 a 2017 é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de TST do sensor MODIS entre os anos de 2002 a 2017



Fonte: a autora.

A seguir são descritos os procedimentos metodológicos representativos das 10 etapas necessárias para o pré-processamento das imagens NDVI.

- Etapa 01: mosaicagem, projeção e recorte das imagens

As imagens de TST foram mosaicadas, convertidas para o formato .grid, reprojatadas para o sistema de referência WGS84 Zona 24 S e recortadas para a área de estudo.

- Etapa 02: interpolação das imagens de TST

As imagens de TST pré-processadas na etapa anterior, foram convertidas para o formato de imagem vetorial de pontos que foram interpoladas pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) e, posteriormente, foram recortadas para a área de estudo.

- Etapa 03: álgebra de mapas média aritmética

Foram obtidas médias aritméticas das imagens de TST para 16 dias.

- Etapa 04: transformação das imagens de TST para graus Celsius

As imagens de TST foram convertidas de Kelvin para graus Celsius (função de álgebra de mapas) por meio da Equação 3:

$$P(^{\circ}C) = (B1 * 0,02) - 273,15 \quad (3)$$

Em que,

$P(^{\circ}C)$  : valor do *pixel*, em  $^{\circ}C$ ;

$B1$  : valor original do *pixel*, em Kelvin.

- Etapa 05: reamostragem do tamanho do *pixel*

Posteriormente, as imagens de TST em graus Celsius, com resolução espacial de 1 km, foram reamostradas para 250 m.

- Etapa 06: obtenção de imagens de TST anuais

Foi aplicada a função da álgebra de mapas (média aritmética), com o objetivo de gerar imagens anuais de TST.

#### 4.2.3 Imagens de precipitação pluvial

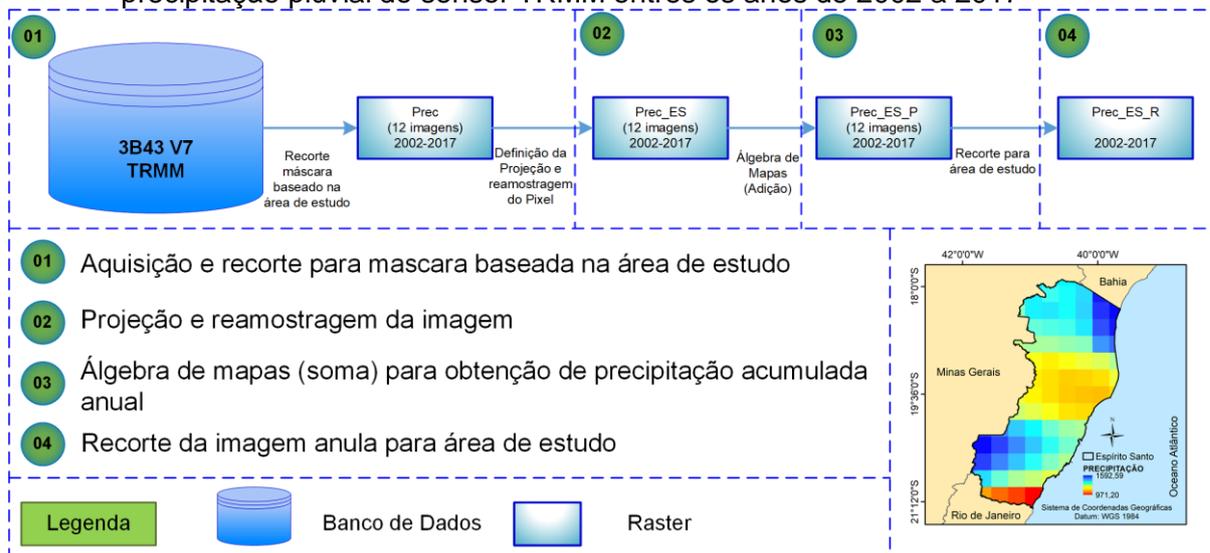
Os dados de precipitação pluvial foram obtidos do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), missão conjunta entre a NASA e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA), produto 3B43 versão 7. Os dados encontram-se disponíveis de forma gratuita no sítio da NASA, referentes ao período 2002 a 2017.

Conforme a NASA (2014), o algoritmo 3B43 disponibiliza imagens de precipitação pluvial mensal, no formato GEOTIFF, com resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  ( $\pm 25 \times 25$  km), se estendendo de  $50^\circ$  de latitude Sul a  $50^\circ$  de latitude Norte, e resolução temporal de 1 mês (JIA et al., 2011).

Após a aquisição das imagens, essas foram recortadas para máscara baseada na área de estudo (etapa 01), reprojctadas para o sistema de referência WGS 84 e reamostradas para 250 m (etapa 02), foi aplicada a função da álgebra de mapas (média aritmética), com o objetivo de gerar imagens anuais de precipitação pluvial (Etapa 03) e finalmente as imagens foram recortadas para área de estudo (Etapa 04).

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de precipitação pluvial do sensor TRMM entres os anos de 2002 a 2017 é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de precipitação pluvial do sensor TRMM entres os anos de 2002 a 2017



Fonte: a autora.

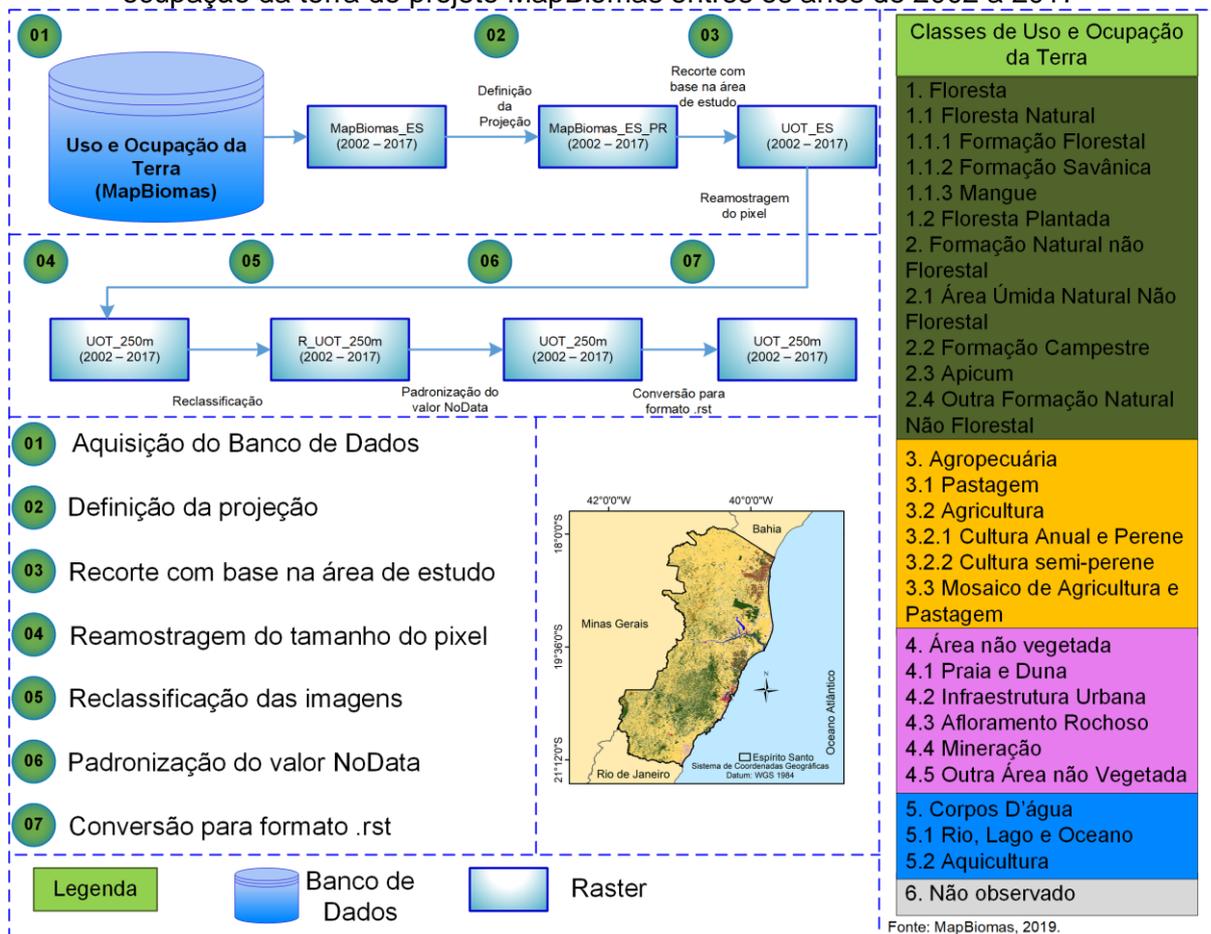
#### 4.2.4 Uso e ocupação da terra do projeto MapBiomias

Foram utilizadas imagens de uso e ocupação da terra (UOT), do bioma Mata Atlântica, para o estado do Espírito Santo, disponibilizadas gentilmente pelo Projeto MapBiomias (2019), coleção versão 3.1 para o período entre 2002 a 2017. As imagens de UOT são processadas por meio de técnicas de classificações de imagens do satélite Landsat.

Após a aquisição das imagens (etapa 01), essas foram reprojetaadas para o sistema de referência WGS 84 (etapa 02), recortadas para a área de estudo (etapa 03), realizou-se a reamostragem do *pixel* para 250 m (etapa 04), em seguidas as imagens foram reclassificadas (etapa 05), na sequência foi realizada a padronização do valor No Data para 255 (etapa 06), e finalmente as mesmas foram convertidas para o formato .rst com auxílio do *Software* SAGA GIS (etapa 7).

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de uso e ocupação da terra do projeto MapBiomias entres os anos de 2002 a 2017 é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Etapas necessárias para a aquisição e pré-processamento das imagens de uso e ocupação da terra do projeto MapBiomass entre os anos de 2002 a 2017



Fonte: a autora.

#### 4.3 Identificação e análise dos anos de ocorrência dos eventos climáticos *El Niño* e *La Niña*

Para identificar os anos de ocorrência de *El Niño* e *La Niña* foi utilizado o Índice Oceânico *Niño* (ION), disponibilizado na Tabela 2. Este índice é estimado com base na variação da temperatura média oceânica caracterizando os eventos *El Niño* e *La Niña* representados, respectivamente, por valores positivos e negativos sendo essa metodologia proposta por Trenberth (1997), análoga à utilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) nos últimos anos (Tabela 3).

Tabela 2 – Classificação das intensidades dos eventos de *El Niño* e *La Niña* de acordo com o Índice Oceânico Niño (ION)

<b>Evento</b>	<b>ION</b>	<b>Intensidade</b>
<i>El Niño</i>	0,5 a 0,9	Fraca
	1,0 a 1,4	Moderada
	≥1,5	Forte
<i>La Niña</i>	-0,5 a -0,9	Fraca
	-1,0 a -1,4	Moderada
	≤ -1,5	Forte

Fonte: TRENBERTH (1997), adaptado pela autora.

Tabela 3 – Anos de ocorrência e intensidade dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña*

<b>Períodos de Ocorrência</b>	<b>Fenômeno Climático</b>	<b>Intensidade</b>
2002	<i>El Niño</i>	Moderado
2003	<i>El Niño</i>	Moderado
2004	<i>El Niño</i>	Fraco
2005	Neutro	-
2006	Neutro	-
2007	<i>La Niña</i>	Moderado
2008	<i>La Niña</i>	Moderado
2009	<i>El Niño</i>	Moderado
2010	<i>La Niña</i>	Moderada
2011	<i>La Niña</i>	Moderada
2012	<i>La Niña</i>	Fraca
2013	Neutro	-
2014	<i>El Niño</i>	Fraco
2015	<i>El Niño</i>	Forte
2016	<i>El Niño</i>	Forte
2017	<i>La Niña</i>	Moderado

Fonte: NOAA (2019), adaptado pela autora.

#### 4.4 *Análise da evolução temática, espacial e temporal do uso e ocupação da terra*

Nessa etapa, foi realizado o estudo do comportamento individualizado do Uso e Ocupação da Terra. Foi avaliado ano a ano as imagens de uso e ocupação da terra, com o objetivo de analisar a perda e o ganho de vegetação, a mudança líquida da cobertura do solo e contribuição de cada classe em relação a formação florestal durante a ocorrência dos eventos climáticos.

A análise de ganho e perda de vegetação foi realizada com base nas imagens de uso e ocupação da terra do projeto MapBiomias, pré-processadas na etapa 3.2.4. As imagens foram reclassificadas e padronizadas de acordo com a sua classificação, disponível da legenda do MapBiomias (Tabela 4).

Tabela 4 – Reclassificação das imagens de uso e ocupação da terra e Códigos da legenda para os valores de pixel da Coleção 3.1 do MapBiomias

<b>Classe de Uso e ocupação da Terra</b>	<b>ID</b>	<b>Novo ID</b>
Sem Classificação	0	1
Formação Florestal	3	2
Mangue	5	3
Floresta Plantada	9	4
Formação Campestre	12	5
Pastagem	15	6
Cultura Anual e Perene	19	7
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21	8
Praia e Duna	23	9
Infraestrutura Urbana	24	10
Outra Área não vegetada	25	11
Não Observado	27	12
Afloramento Rochoso	29	13
Mineração	30	14
Apicum	32	15
Rio, Lago e Oceano	33	16

Fonte: MapBiomias (2019), adaptado pela autora.

A etapa de elaboração dos gráficos de ganho e perda, mudança líquida e Contribuição de Cada Classe em relação a Formação Florestal foram realizadas com auxílio do *Land Change Modeler*, no *Software TerrSet*.

#### 4.5 *Análise de agrupamento dos índices de vegetação e sua relação com o uso e ocupação da terra*

Nessa etapa, as imagens de NDVI e EVI pré-processadas na etapa 1, foram convertidas para arquivo vetorial ponto. Em seguida, realizou-se a análise de agrupamento por meio da ferramenta *Grouping Analysis*. A análise de agrupamento, utiliza o método da distância Euclidiana, como medida de proximidade, na qual utiliza a distância do vizinho mais próximo para agrupar regiões homogêneas (CORDEIRO et al., 2017; GURGEL; FERREIRA; LUIZ, 2003).

Os pontos foram agrupados em dois grupos, foi convertido para o formato matricial e finalmente em arquivo vetorial, para cálculo das áreas classificadas como vegetadas e não vegetadas. Essa etapa foi realizada para toda a série dos índices de vegetação, de 2002 a 2017 no *Software ArcGIS 10.3*.

#### 4.6 Correlação entre os índices de vegetação, precipitação pluvial e temperatura de superfície da terra

Nessa etapa, a classe formação florestal foi extraída do uso e ocupação da terra, com a finalidade de gerar uma rede de pontos para análise estatística. Por meio do arquivo vetorial de pontos, foram obtidos múltiplos valores, com as informações das variáveis NDVI, EVI, temperatura de superfície da terra e precipitação pluvial acumulada.

No *Software R studio* foi realizado a correlação de Pearson (Equação 4), que mede o grau de correlação linear entre variáveis, para analisar as tendências e variações interanuais da vegetação e sua relação com a temperatura e precipitação pluvial (CHUAI et al., 2013; MURADYAN et al., 2019).

$$r = \frac{\sum (x_1 - \bar{x})(y_1 - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_1 - \bar{x})^2)(\sum (y_1 - \bar{y})^2)}} \quad (4)$$

Em que,

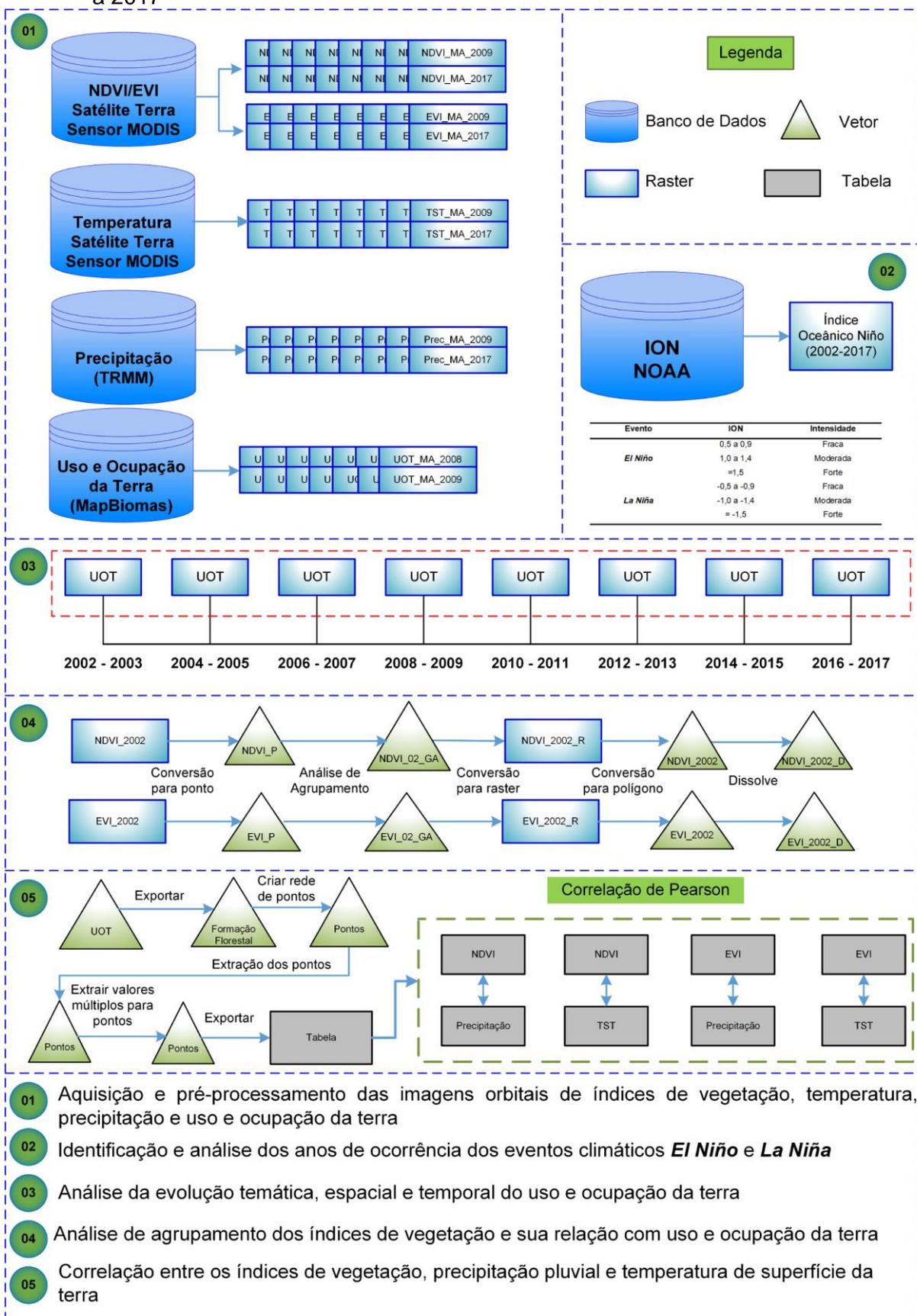
$r$  : coeficiente de correlação de Pearson;

$x$  e  $y$  : são os valores da série temporal e da série linear gerada.

Foram realizadas análises de correlação entre os índices de vegetação com as variáveis temperatura de superfície da terra e precipitação pluvial acumulada. A correlação objetiva estimar a intensidade da associação da variação da vegetação a partir da variação climática.

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a processamento e análise estatística das imagens de NDVI, EVI, temperatura de superfície da terra, precipitação pluvial e uso e ocupação da terra entre os anos de 2002 a 2017 é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Etapas necessárias para a processamento das imagens de NDVI, EVI, temperatura, precipitação pluvial e uso e ocupação da terra, entre os anos de 2002 a 2017



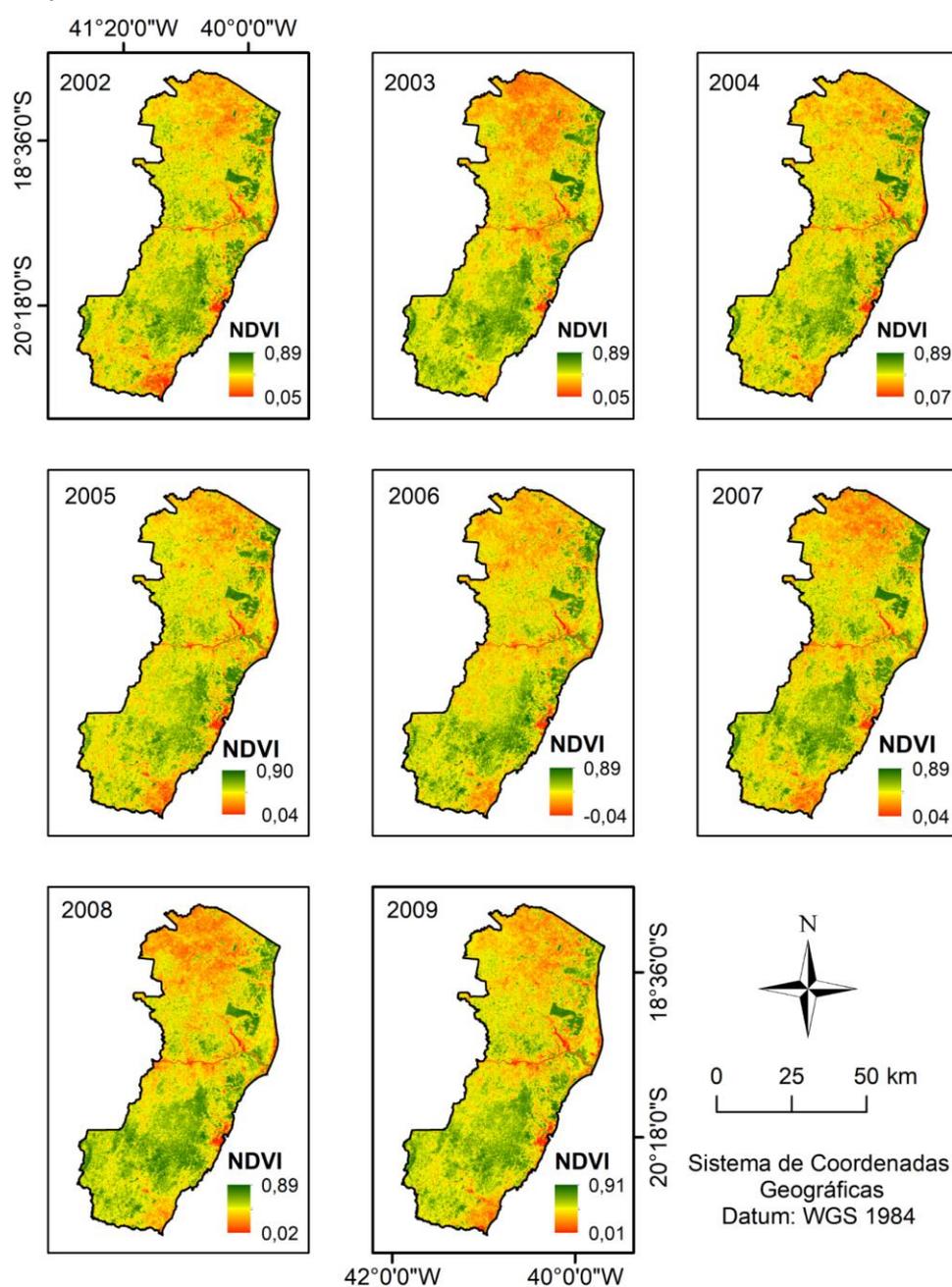
Fonte: a autora

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Índices de vegetação

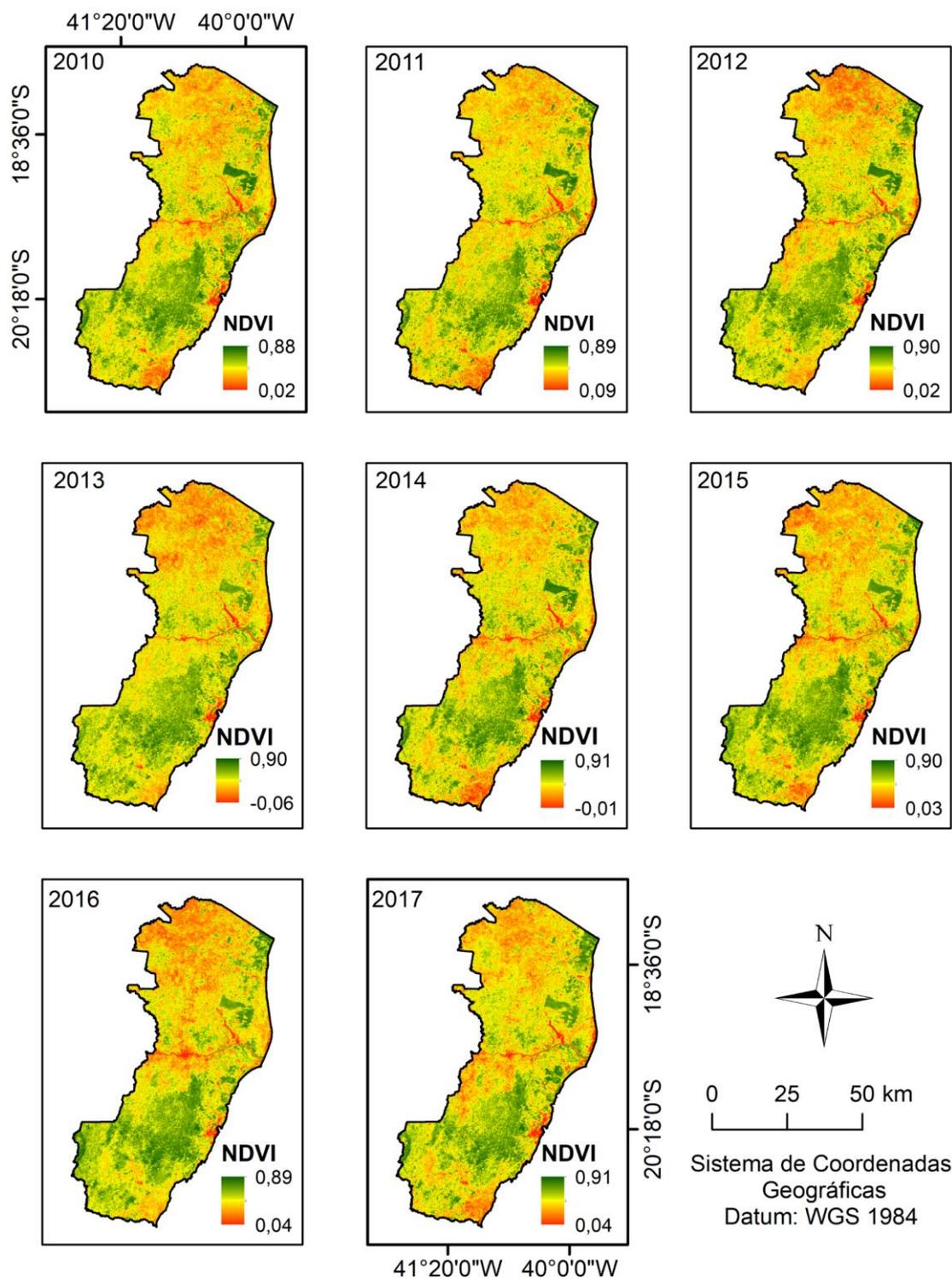
As imagens do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Realce de Vegetação (EVI) do período de 2002 a 2017, para o Espírito Santo são apresentados nas Figuras 7, 8, 9 e 10.

Figura 7 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do produto MOD13Q1 para o período de 2002 a 2009



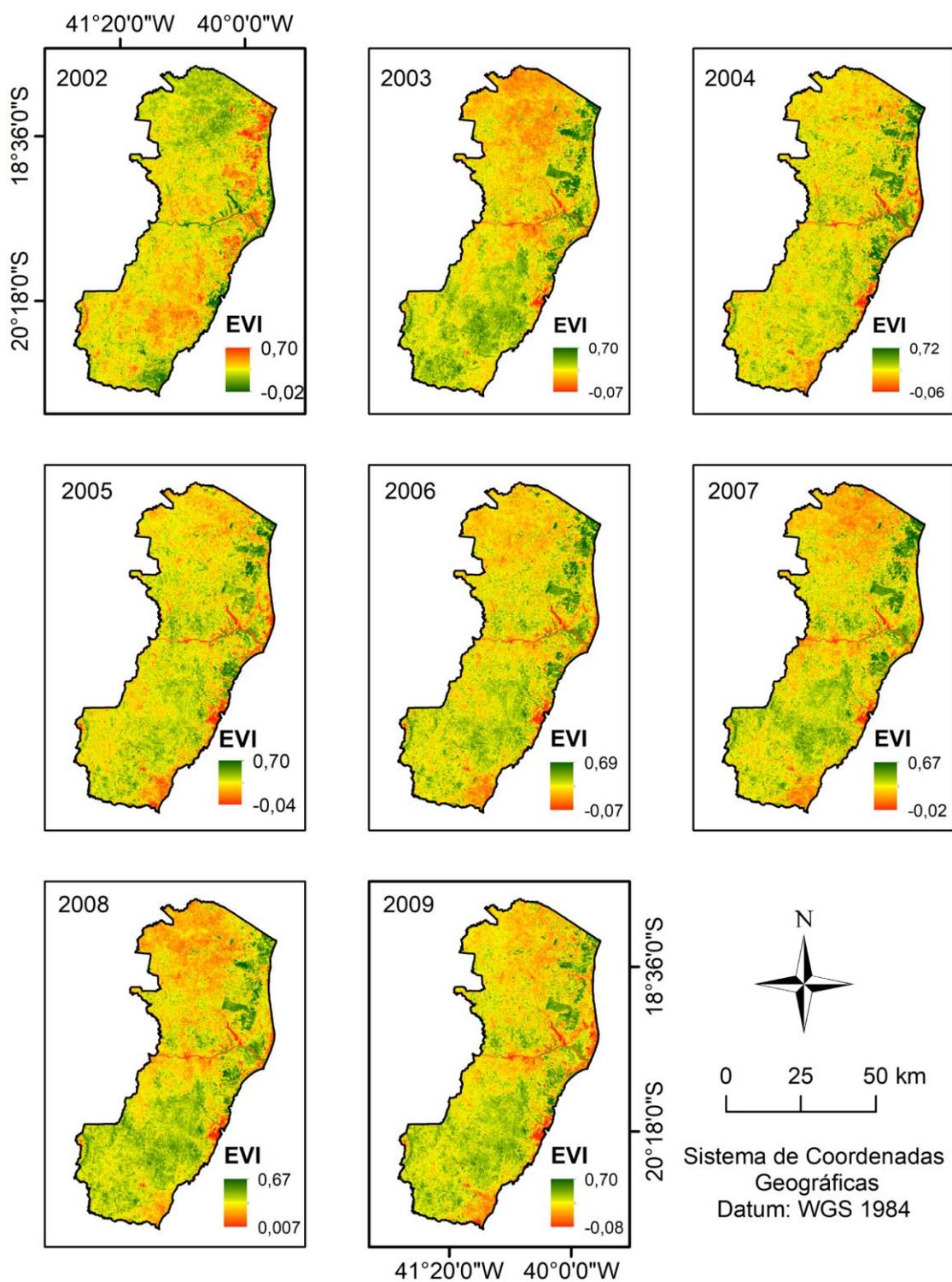
Fonte: a autora.

Figura 8 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do produto MOD13Q1 para o período de 2010 a 2017



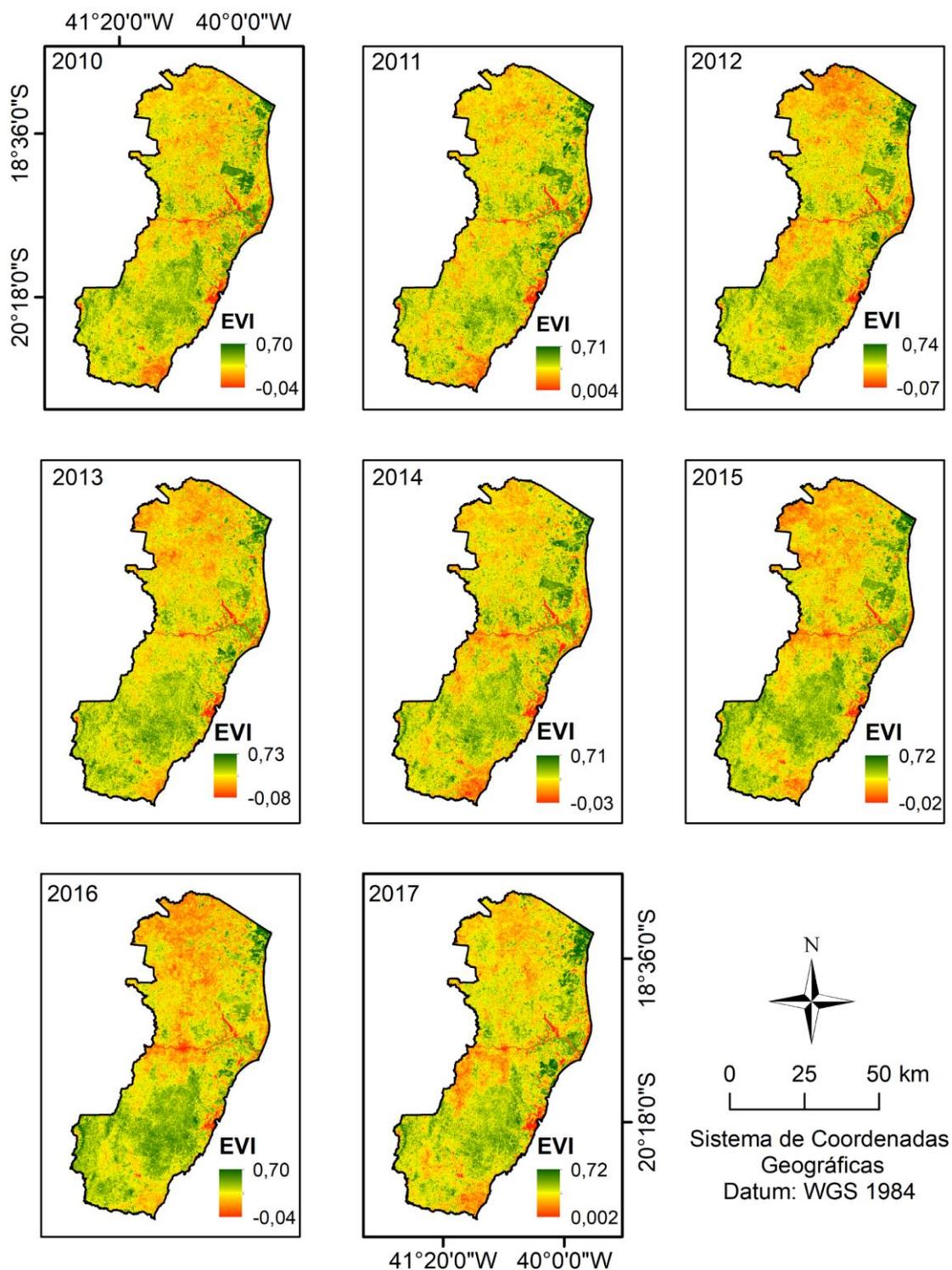
Fonte: a autora.

Figura 9 – Índice de Realce de Vegetação (EVI) do produto MOD13Q1 para o período de 2002 a 2009



Fonte: a autora.

Figura 10 – Índice de Realce de Vegetação do produto MOD13Q1 para o período de 2010 a 2017

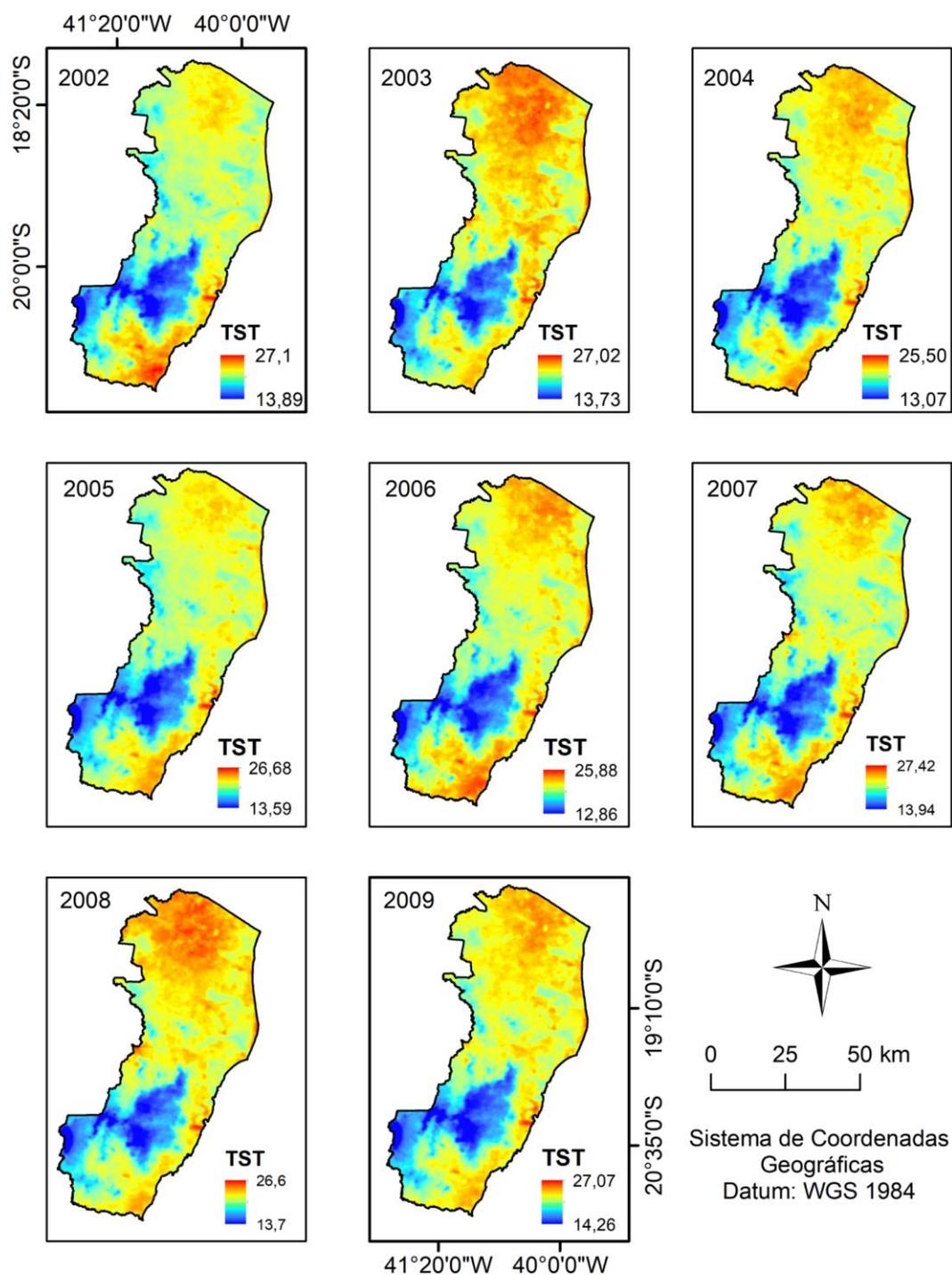


Fonte: a autora.

## 5.2 Temperatura de superfície da terra

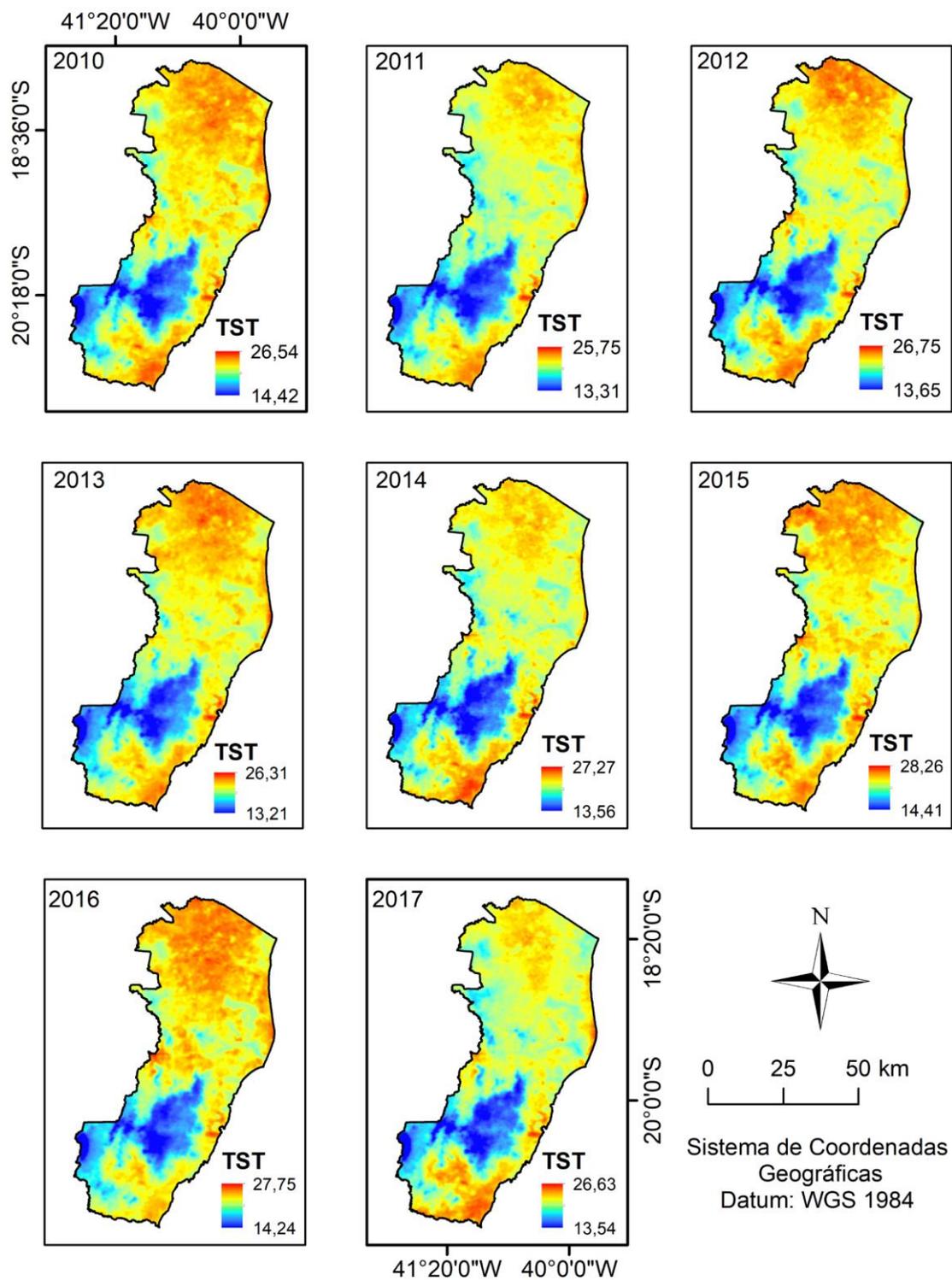
As imagens de temperatura de superfície da terra (TST), do período de 2002 a 2017, para o Espírito Santo, são apresentados nas Figuras 11 e 12. As médias de temperatura de superfície da terra são apresentadas na Figura 13.

Figura 11 – Temperatura de Superfície da Terra °C (TST) para o período de 2002 a 2009



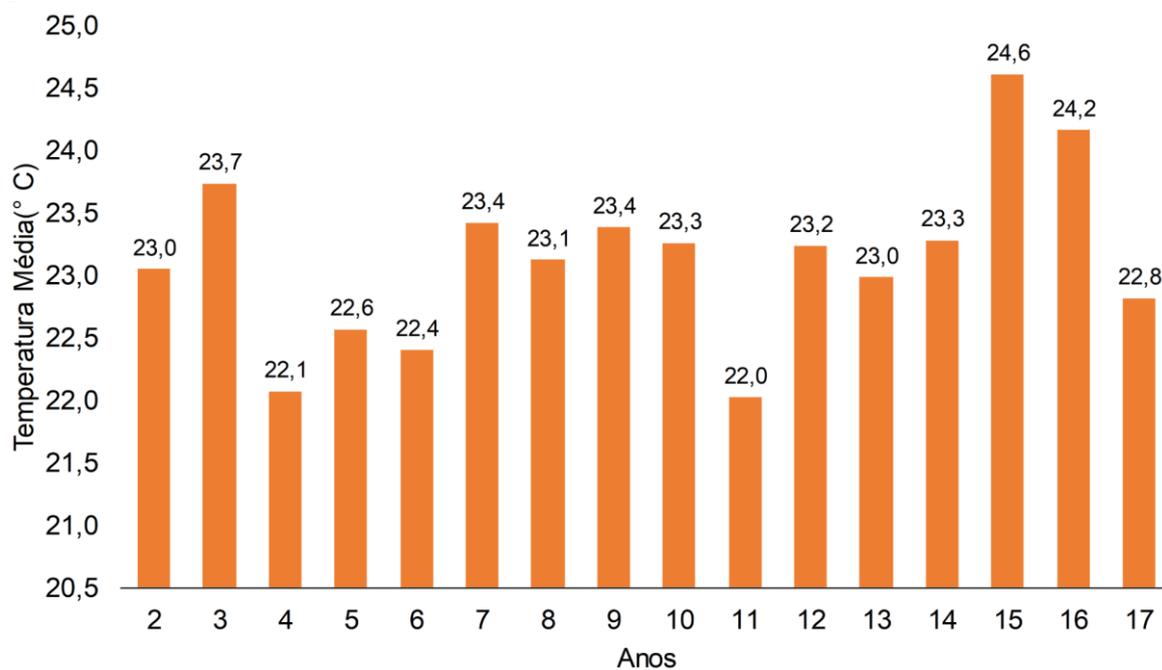
Fonte: a autora.

Figura 12 – Temperatura de Superfície da Terra °C (TST) para o período de 2010 a 2017



Fonte: a autora.

Figura 13– Temperatura média anual para o período 2002 a 2017



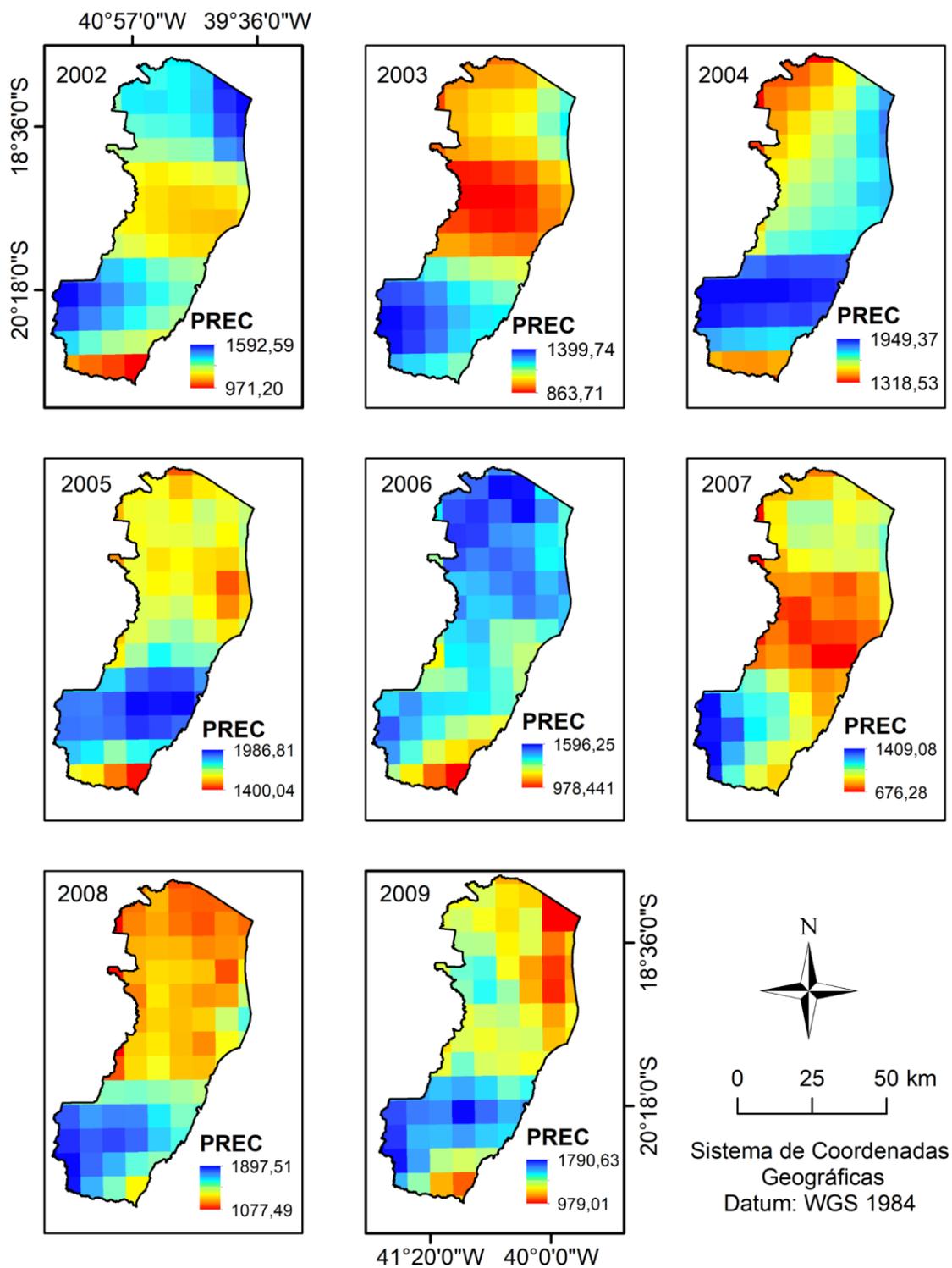
Fonte: a autora.

O ano de 2015 apresentou-se como ano mais quente da série estudada.

### 5.3 Precipitação pluvial acumulada

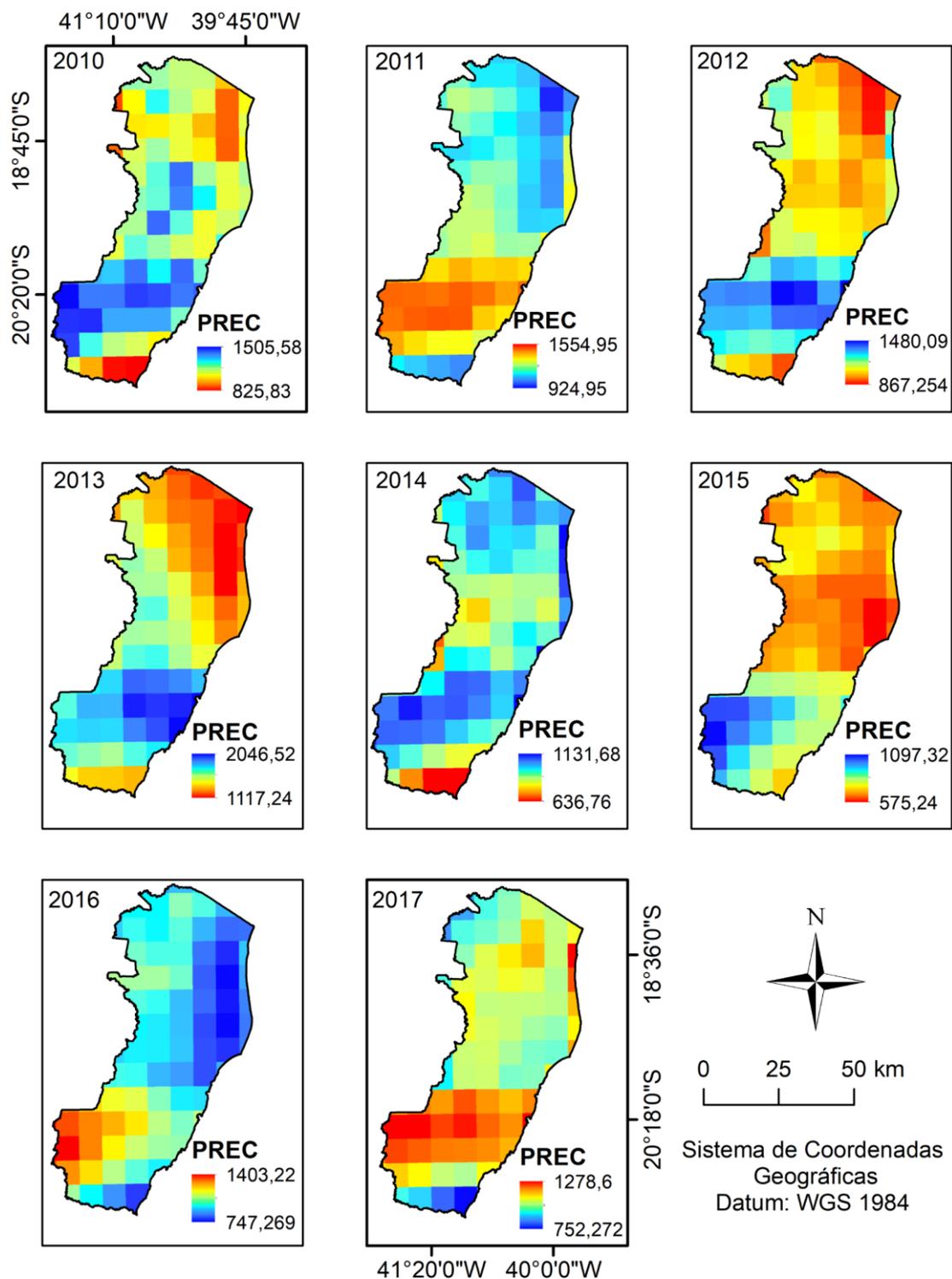
As imagens de precipitação pluvial acumulada, do período de 2002 a 2017, para o Espírito Santo, são apresentados nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Precipitação Pluvial Acumulada em mm para o período de 2002 a 2009



Fonte: a autora.

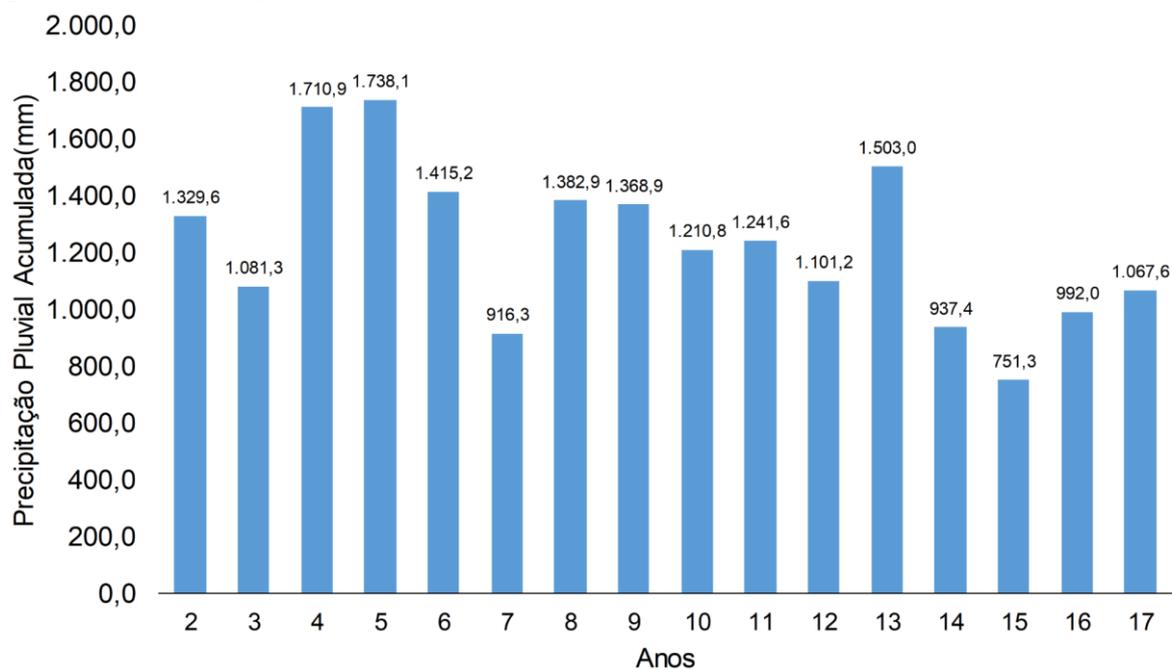
Figura 15 – Precipitação Pluvial Acumulada em mm para o período de 2010 a 2017



Fonte: a autora.

As médias de precipitação pluvial acumulada são apresentadas na Figura 16. Os anos que apresentaram os maiores valores de precipitação foram 2004 e 2005.

Figura 16 – Precipitação pluvial acumulada para o período 2002 a 2017

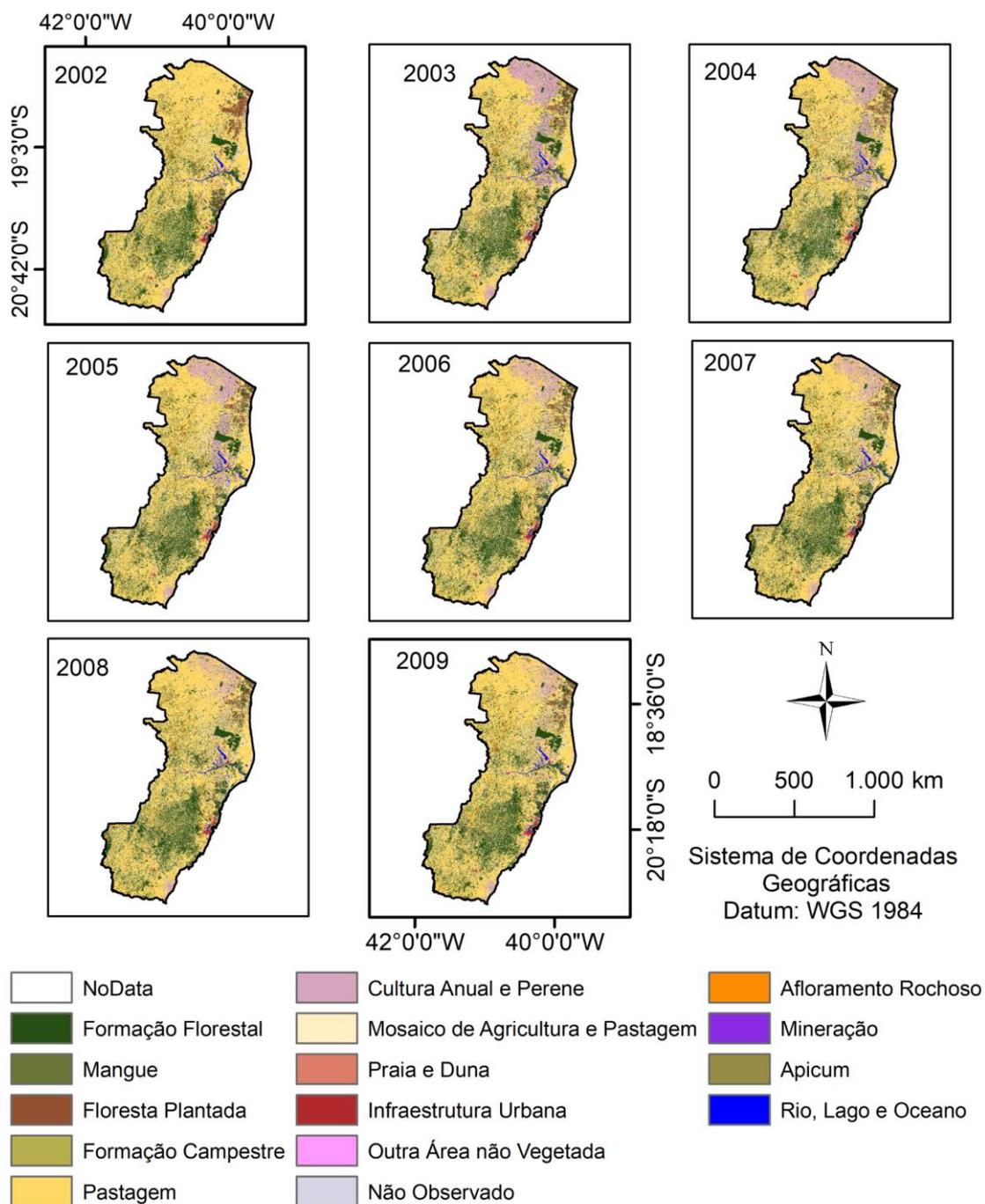


Fonte: a autora.

#### 5.4 *Uso e ocupação da Terra*

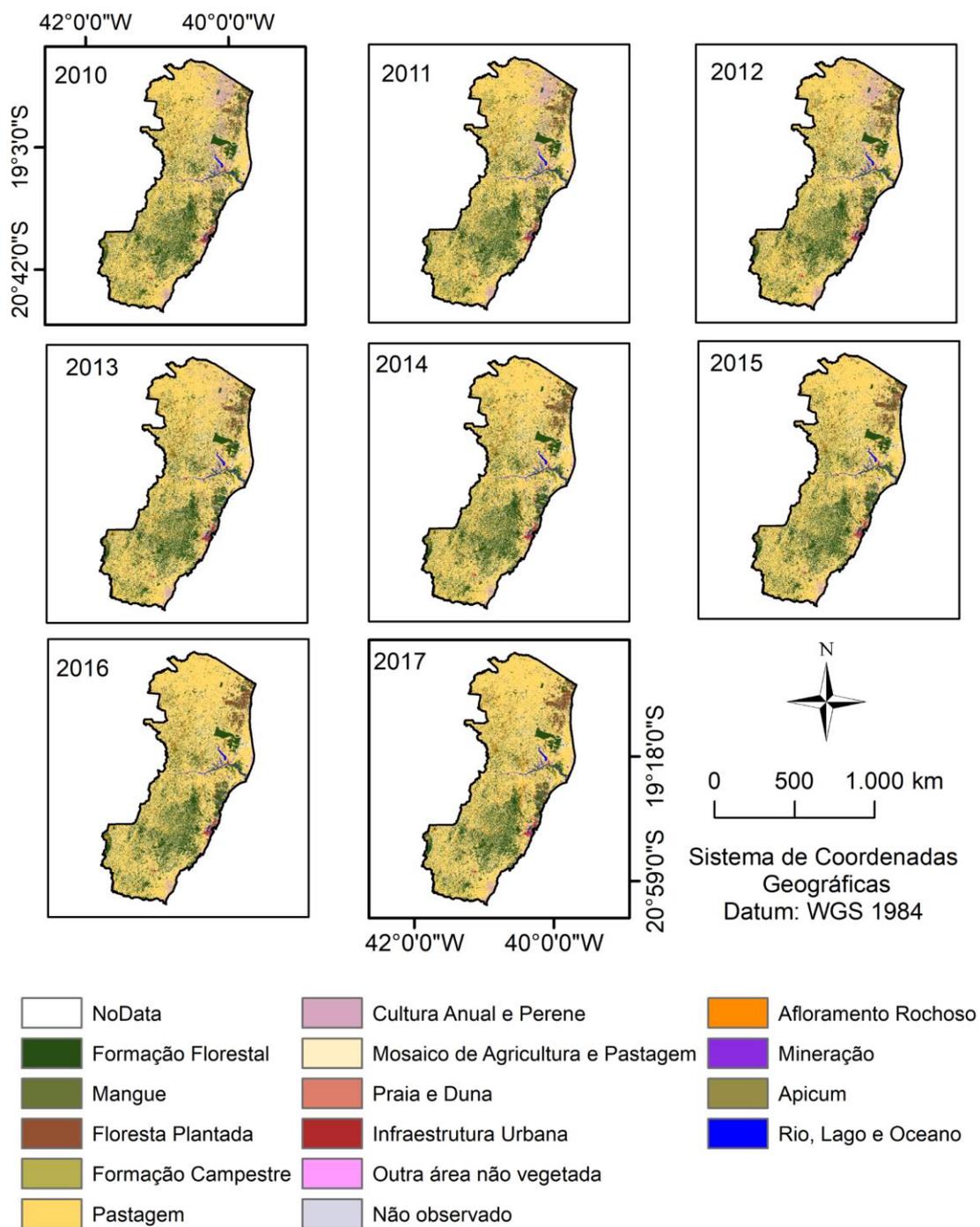
As imagens de uso e ocupação da terra, do período de 2002 a 2017, permitem inferir sobre a dinâmica no território do estado do Espírito Santo, e são apresentadas nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Uso e ocupação da terra do estado do Espírito Santo para o período de 2002 a 2009



Fonte: a autora.

Figura 18 – Uso e ocupação da terra do estado do Espírito Santo para o período 2010 a 2017

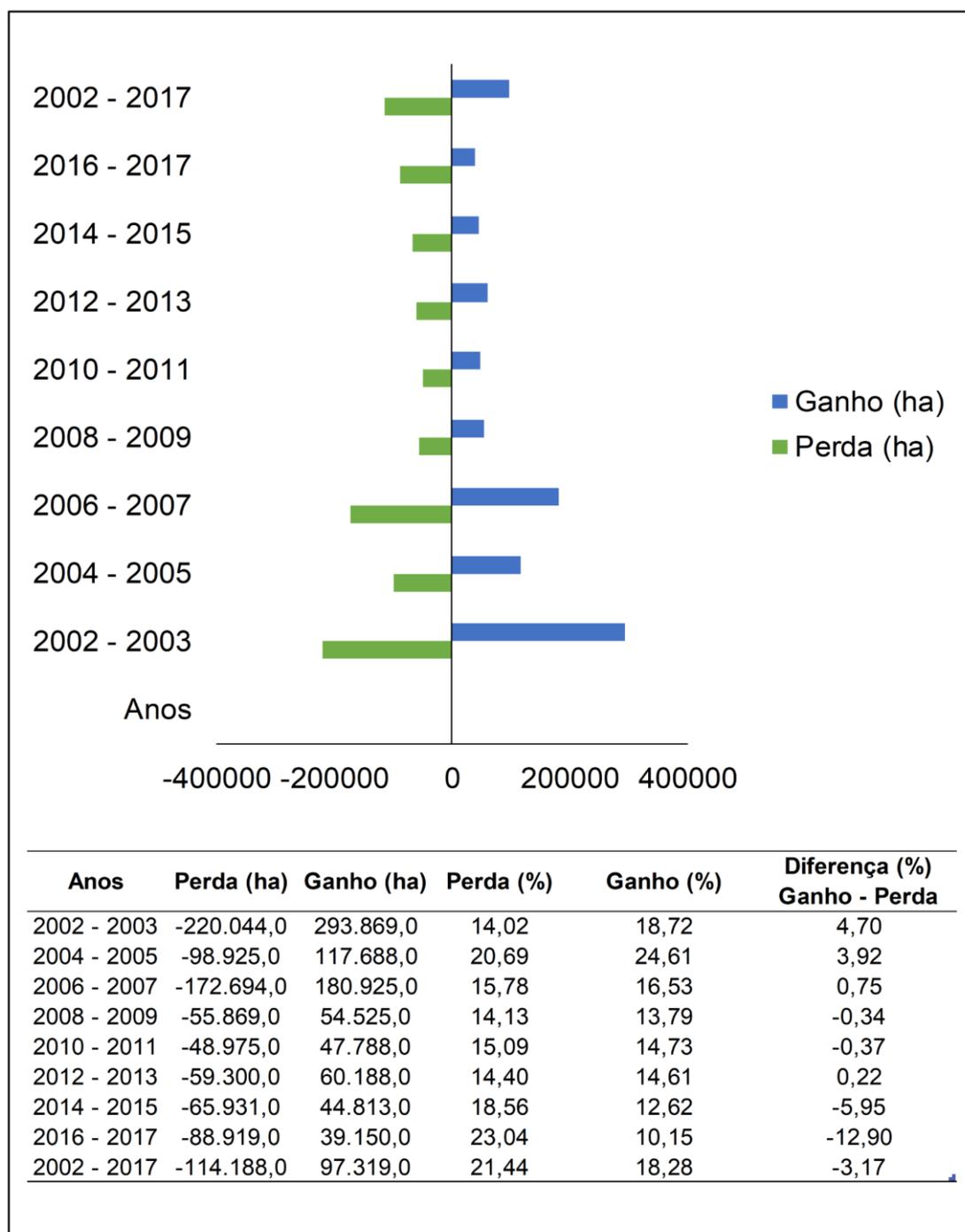


Fonte: a autora.

## 5.5 Análise das mudanças no uso e ocupação da terra

O intervalo que mais teve ganho de vegetação da classe formação florestal, de acordo o uso e ocupação da terra foi o biênio 2004-2005 (24,61 %) (Figura 16).

Figura 19 – Ganho e Perda da classe formação florestal durante o período de 2002 a 2017 através do UOT



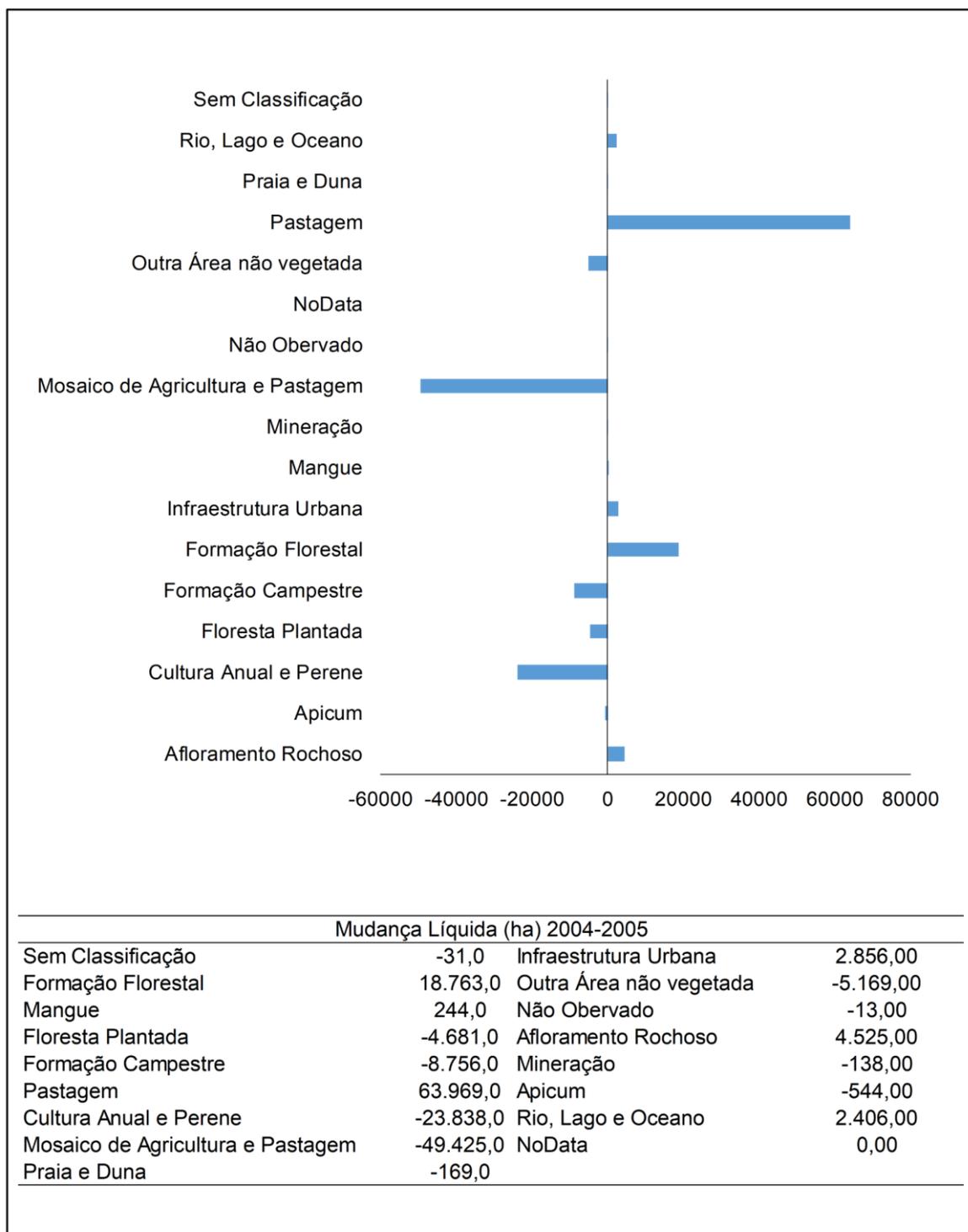
Fonte: a autora.

O ano de 2004 apresentou média de precipitação pluvial acumulada de 1.710,9 mm (Figura 16) e média de temperatura de superfície da terra de 22,1°C (Figura 13). O ano de 2004 apresentou um *El Niño* de intensidade fraca (Tabela 3).

O ano de 2005 apresentou uma média de precipitação pluvial acumulada de 1.738,1 mm (Figura 16) e temperatura média de 22,6°C (Figura 13), esse foi um ano neutro em relação a ocorrência de eventos climáticos *El Niño/La Niña*.

No biênio 2004-2005, os eventos climáticos pouco influenciaram na perda de vegetação, pois nesse biênio não teve ocorrência dos eventos climáticos. Nesse período, a classe que teve mais variação foi pastagem com aproximadamente 63.969,0 ha em seguida formação florestal com ganho de 18.763,0 ha e afloramento rochoso com 4.525,0 ha (Figura 20). Mosaico de agricultura e pastagem perdeu 49.425,0 ha, seguido de cultura anual e perene com perdas de 23.838,0 ha e floresta plantada de 4.681,0 ha.

Figura 20 – Mudança líquida de cobertura da terra para o biênio 2004-2005

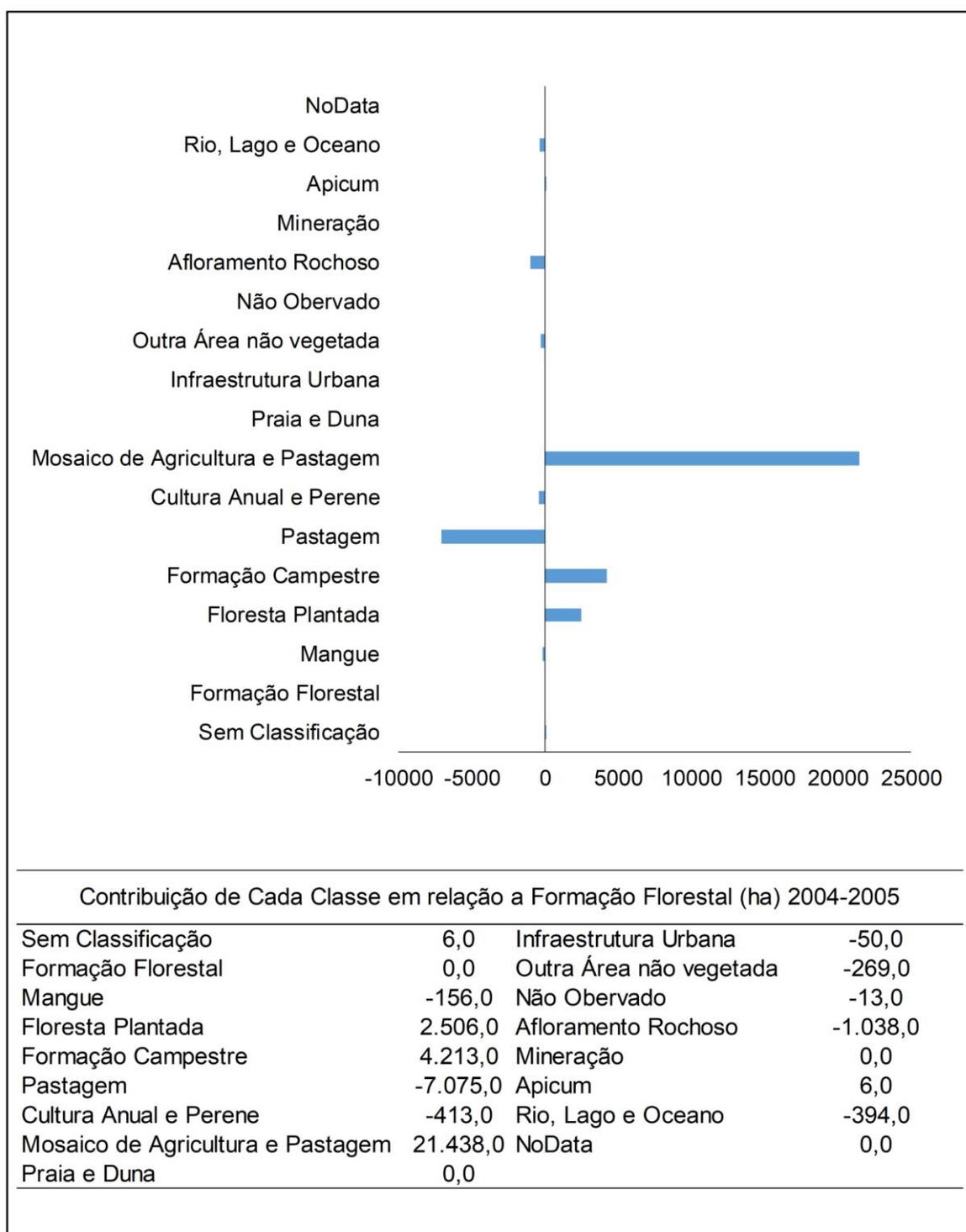


Fonte: a autora.

No que diz respeito a contribuição de cada classe em relação a formação florestal (Figura 21) a classe mosaico de agricultura e pastagem foi a que mais contribuiu para aumento de formação florestal com 21.438,0 ha, ao mesmo tempo que formação florestal perdeu área para a classe pastagem 7.075,0 ha. Outras classes

como formação campestre contribuiu para formação florestal com 4.213,0 ha e floresta plantada com 2.506,0 ha.

Figura 21 – Contribuição de cada classe de uso e ocupação da terra em relação a formação florestal para o biênio 2004-2005



Fonte: a autora.

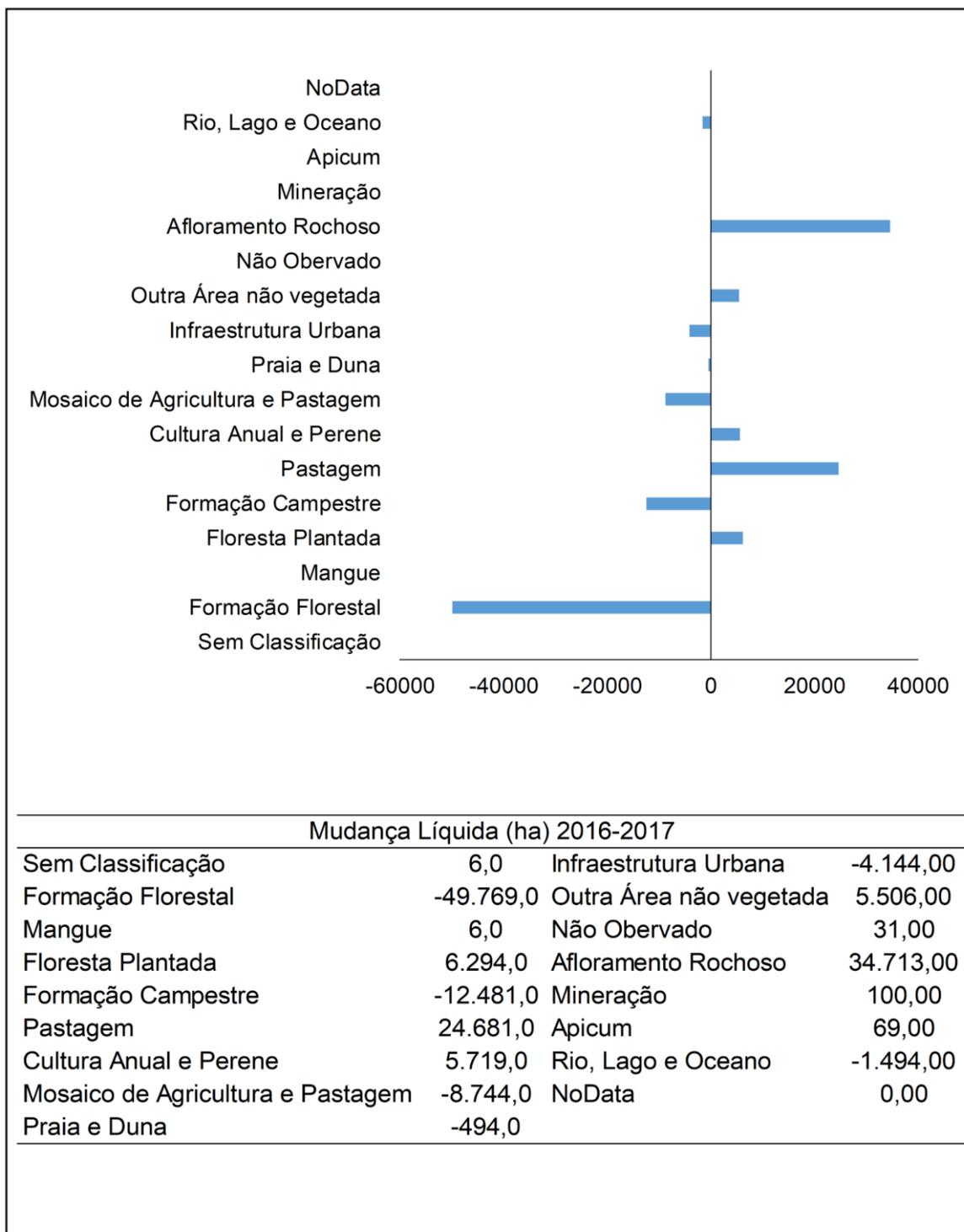
O biênio 2016-2017 apresentou o maior percentual de perda ao longo do tempo, como aproximadamente 23,04 % (Figura 19). Os anos 2016 e 2017 tiveram fortes ocorrências de *El Niño* e *La Niña*, respectivamente (Tabela 3). O ano de 2016 teve uma precipitação pluvial acumulada média de 992,0 mm (Figura 16) e temperatura anual média de 24,2°C (Figura 13). Esse foi um ano com baixo valor de precipitação pluvial acumulado, logo após o ano de 2015 que também apresentou baixo valor de precipitação, que foi de 751,3 mm (Figura 16) evidenciando anos muito secos, o que pode ter influenciado na diminuição de vegetação. O aumento da temperatura nos anos de 2015 e 2016 pode ser influenciado pela ocorrência de *El Niño* nesses anos, provocando inverno quente e diminuindo a quantidade de chuvas nesse período.

O ano de 2017 apresentou valor médio de precipitação pluviométrica acumulada de 1.067,6 mm (Figura 16) uma média de temperatura mais baixas de 22,8°C (Figura 13). Esse foi um ano mais chuvoso e menos quente em relação aos dois anos anteriores.

Os anos de 2014, 2015 e 2016 foram anos de ocorrência de *El Niño* fraco e forte, respectivamente, e pode ter influenciado na perda de vegetação no último biênio de estudo. Nesse período, a classe que teve mais variação foi formação florestal (Figura 22), com uma perda de 49.769,0 hectares, aproximadamente. As variações ambientais, como aumento de temperatura e diminuição das chuvas podem afetar os índices de vegetação de uma determinada área, ocasionando perda de vegetação (LOBATO et al., 2010).

Além da classe formação florestal, houveram ganhos expressivos na classe afloramento rochoso 34.713,0 ha, pastagem 24.681,0 ha, floresta plantada 6.294,0 ha e cultura anual e perene 5.719,0 ha (Figura 22). Nesse período, as classes que mais perderam depois de formação florestal, foram formação campestre 12.481,0 ha e mosaico de agricultura e pastagem 8.744,0 ha (Figura 22).

Figura 22– Mudança líquida de cobertura da terra para o biênio 2016-2017

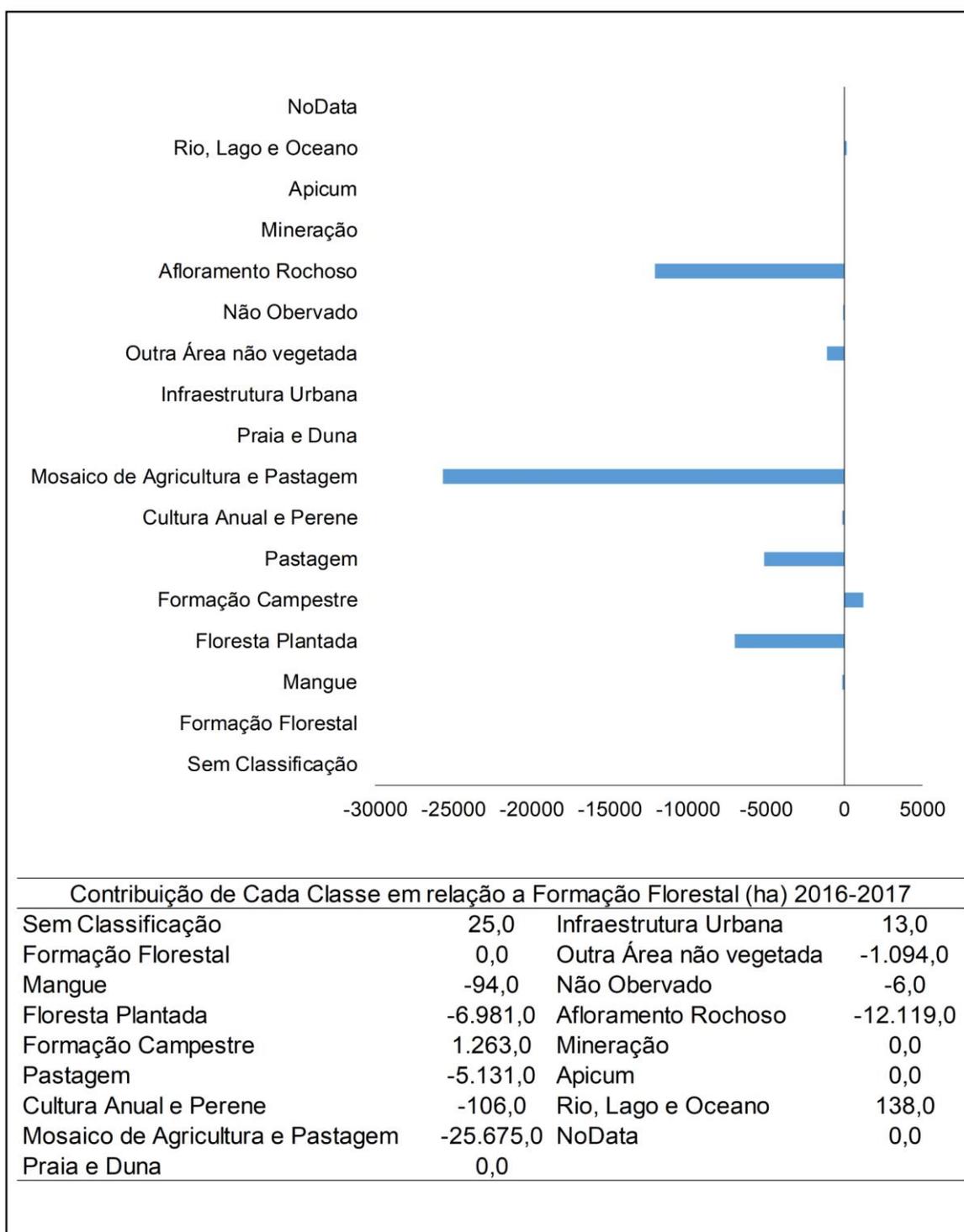


Fonte: a autora.

A contribuição de cada classe em relação a formação florestal para 2016-2017 (Figura 23), mostra que a classe formação florestal perdeu área para mosaico de agricultura e pastagem, aproximadamente, 25.675,0 ha, afloramento rochoso 12.119,0 ha, floresta plantada 6.981,0 ha e pastagem 5.131,0 ha. Nesse período,

formação florestal ganhou área da classe formação campestre 1.263,0 ha, rio, lago e oceano, 138 ha e infraestrutura urbana 13 ha.

Figura 23 – Contribuição de cada classe de uso e ocupação da terra em relação a formação florestal para o biênio 2016-2017



Fonte: a autora.

A Tabela 5 apresenta o percentual de perda e ganho de vegetação e os anos de ocorrência dos eventos climáticos. Os anos de 2014, 2015 e 2016 foram períodos de ocorrência de *El Niño*. Além disso, eles apresentaram os menores valores de precipitação pluvial acumulada e maiores valores de temperatura. Nesse contexto, a redução da vegetação pode ter sido influenciada pelos eventos climáticos, resultando em 2016-2017 o biênio que mais houve diminuição da classe formação florestal no Espírito Santo.

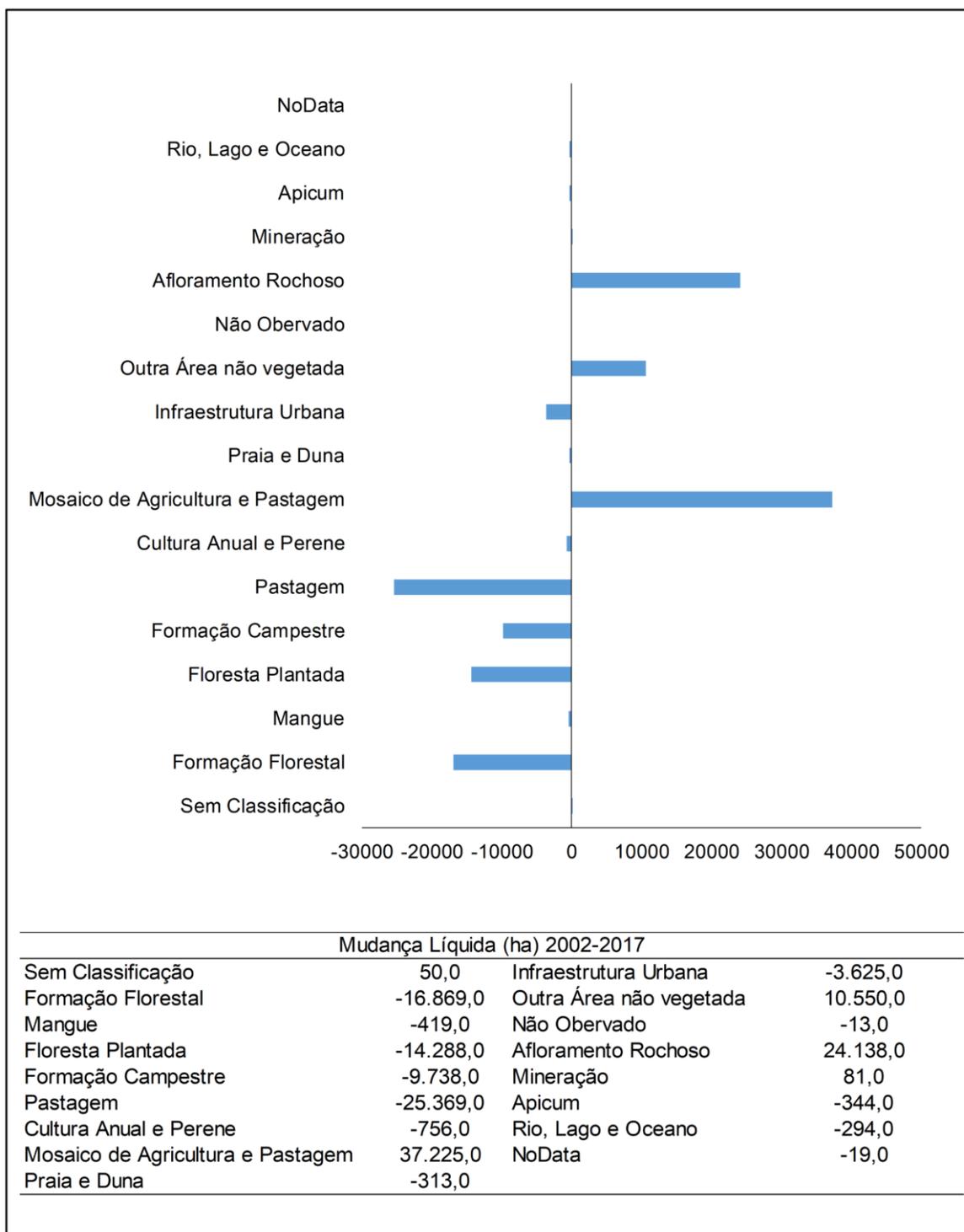
Tabela 5 – Ganho e perda de vegetação associado aos eventos climáticos

<b>Anos</b>	<b>Perdas (%)</b>	<b>Ganho (%)</b>	<b>Evento Climático</b>	<b>Intensidade</b>
2002 - 2003	14,02	18,72	<i>El Niño</i>	Moderado
2004 - 2005	20,69	24,61	<i>El Niño / Neutro</i>	Fraco
2006 - 2007	15,78	16,53	Neutro / <i>La Niña</i>	Moderado
2008 - 2009	14,13	13,79	<i>La Niña / El Niño</i>	Moderado
2010 - 2011	15,09	14,73	<i>La Niña</i>	Moderado
2012 - 2013	14,40	14,61	<i>La Niña / Neutro</i>	Fraco
2014 - 2015	18,56	12,62	<i>El Niño</i>	Fraco / Forte
2016 - 2017	23,04	10,15	<i>El Niño / La Niña</i>	Forte / Moderado

Fonte: a autora.

Além da análise por biênio, foi avaliado também o ganho e perda entre os anos de 2002 e 2017. A análise mostrou que houve aproximadamente 21,44% de perda de vegetação ao longo os 15 anos e 18,28% de ganho de vegetação (Figura 19). A classe que apresentou maior mudança foi mosaico de agricultura e pastagem que ganhou 37.225,0 hectares, seguido de afloramento rochoso 24.138,0 ha e outra área não vegetada (Figura 24). As classes que apresentaram as maiores perdas foram pastagem com 25.269,0 ha, formação florestal com 16.869,0 ha e floresta plantada 14.288,0 ha (Figura 24).

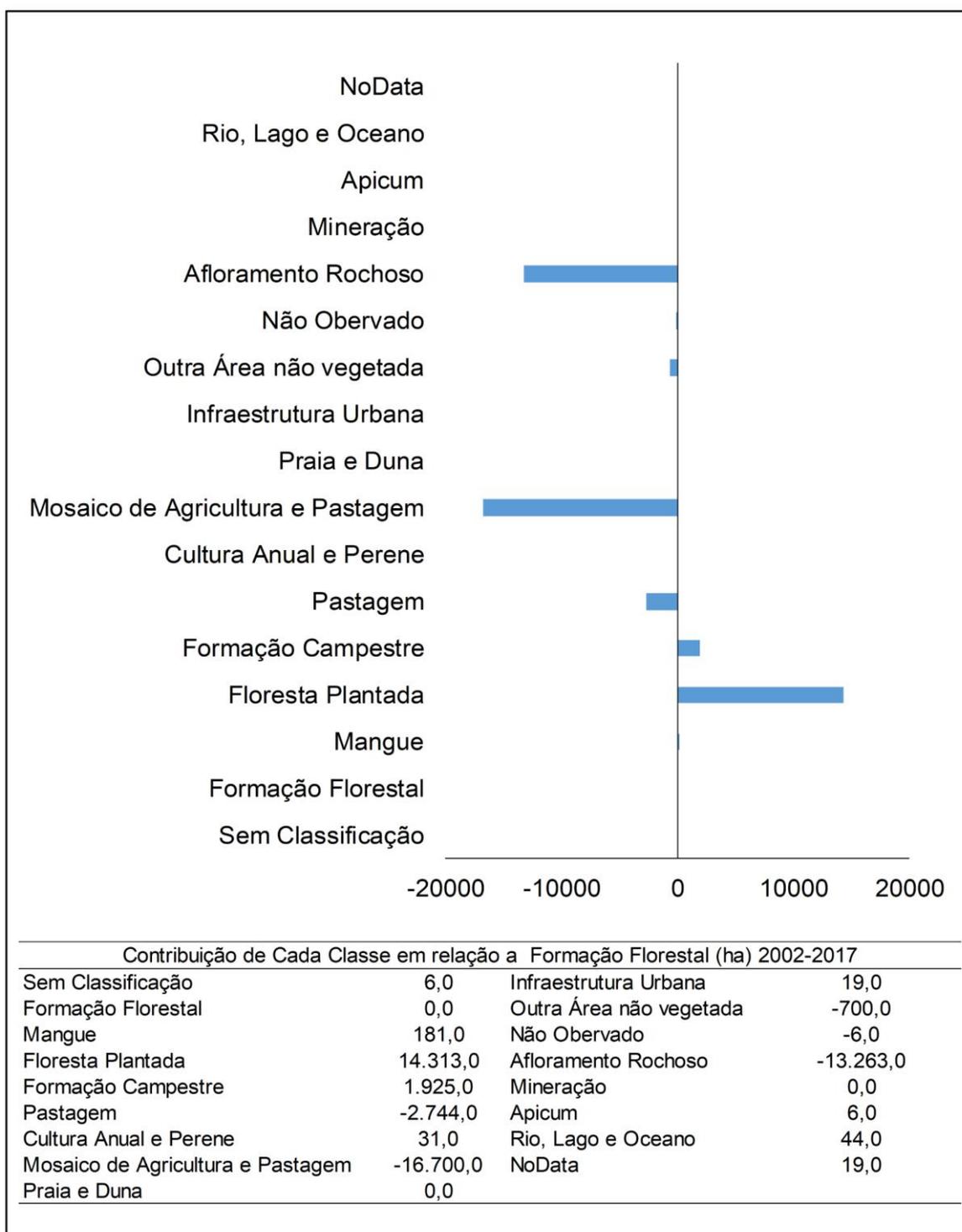
Figura 24 – Mudança líquida de cobertura da terra para o período 2002 a 2017



Fonte: a autora.

A classe formação florestal perdeu área para mosaico de agricultura e pastagem, aproximadamente, 16.700,0 hectares, afloramento rochoso 13.262,0 ha e pastagem 2.744,0 ha. Nesse período, formação florestal ganhou área da classe floresta plantada, 14.313,0 ha e formação campestre 1.925,0 ha (Figura 25).

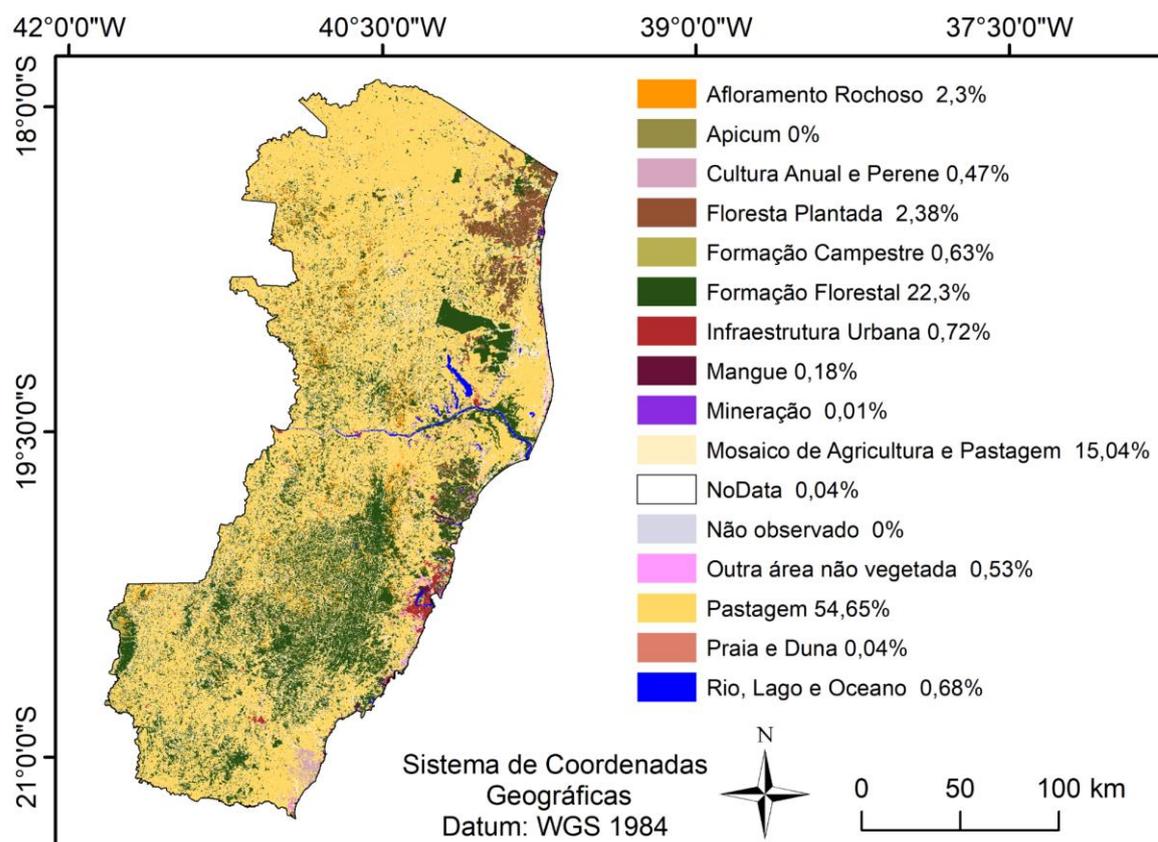
Figura 25 – Contribuição de cada classe de uso e ocupação da terra em relação a formação florestal para o biênio 2002-2017



Fonte: a autora.

O cenário para o ano de 2017 de uso e ocupação da terra para o Estado é apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Uso e ocupação da terra para 2017



Fonte: a autora.

Em 2017 a classe predominante é pastagem com aproximadamente 54,65%, seguido de formação florestal com 22,3% e mosaico de agricultura e pastagem 15,04%.

## 5.6 *Análise de agrupamento dos índices de vegetação*

O resultado da análise de agrupamento do NDVI confirma com a análise de ganho e perda com base no uso e ocupação da terra. O biênio 2004-2005 foi aquele que mais teve ganho de vegetação e 2016-2017 o que mais teve perda (Tabela 6).

Tabela 6 – Ganho / Perda de vegetação com base na análise de agrupamento do NDVI

<b>Anos</b>	<b>Ganho/Perda (ha)</b>
2002-2003	27.287,50
2004-2005	281.081,25
2006-2007	162.456,25
2008-2009	2.925,00
2010-2011	-12.237,50
2012-2013	109.350,00
2014-2015	107.718,75
2016-2017	-66.437,50

Fonte: a autora.

A análise com base no EVI coincide com os anos de maiores ganhos, da análise anterior, 2004-2005 foi o biênio de maior ganho de vegetação (Tabela 7). Em contrapartida, diverge com o biênio que mais perde, o EVI mostrou como resultado o biênio 2002-2003 aquele que apresentou maiores perdas. Essa diferença pode estar relacionada com o fator de ajuste do solo e coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera que o EVI leva em consideração.

Tabela 7 – Ganho / Perda de vegetação com base na análise de agrupamento do EVI

<b>Anos</b>	<b>Ganho/Perda (ha)</b>
2002-2003	-21.706,25
2004-2005	435.250,00
2006-2007	60.275,00
2008-2009	69.256,25
2010-2011	-13.087,50
2012-2013	34.568,75
2014-2015	44.762,50
2016-2017	5.112,50

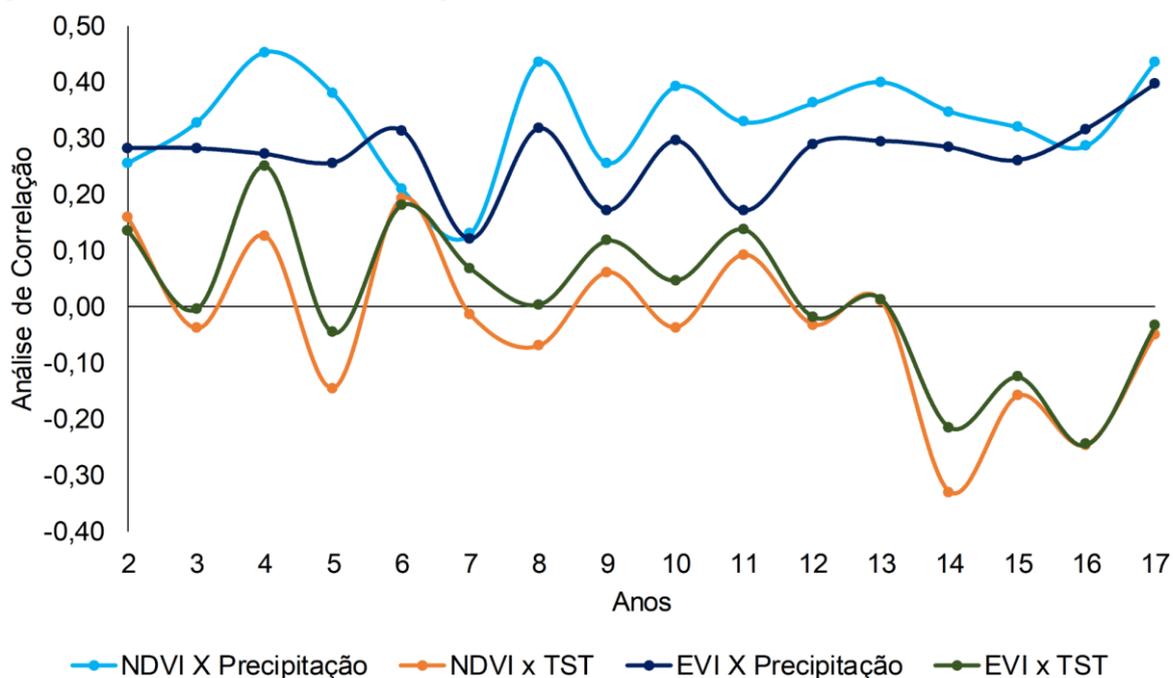
Fonte: a autora.

## 5.7 *Análise da correlação entre os índices de vegetação e as variáveis climáticas*

O Coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a +1, o sinal indica se a relação é positiva ou negativa e o valor refere-se a força da relação entre as variáveis

envolvidas (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009). A Figura 27 apresenta os valores dos coeficientes de correlação linear de Person entre os índices de vegetação e as variáveis climáticas precipitação pluvial e temperatura de superfície da terra.

Figura 27 – Coeficientes de correlação linear de Pearson



Fonte: a autora.

Os índices de vegetação apresentam uma correlação positiva com a precipitação. Uma correlação positiva indica que, quando há um aumento na precipitação, há um aumento no índice de vegetação. Segundo Li; Kafatos (2000), o *El Niño* pode ter efeitos significativos sobre a temperatura e precipitação, influenciando assim a variabilidade do NDVI e conseqüentemente na variabilidade da vegetação. Ainda segundo os autores, a relação entre NDVI, precipitação e temperatura é muito complexa.

## 6. DISCUSSÃO

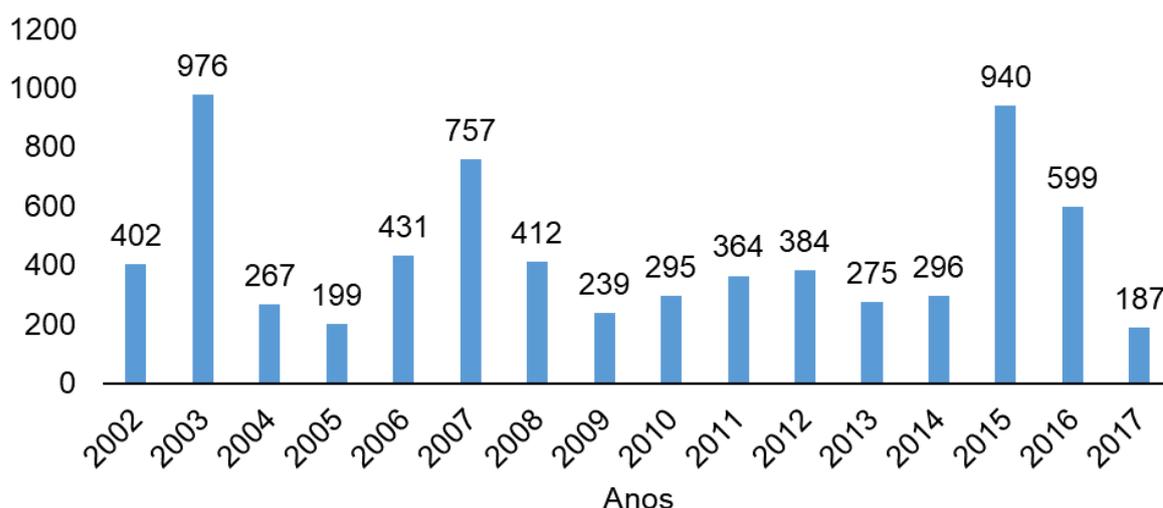
Os valores de NDVI e EVI apresentaram uma variação entre -1 e +1. Os valores negativos ou valores próximos de zero representam solo exposto ou sem vegetação, valores maiores que zero representam a cobertura vegetal (LIU, 2006). No Espírito Santo os valores mais próximos de +1 (Figuras 7,8,9 e 10) são as áreas com maior predominância de cobertura vegetal, como exemplo os fragmentos florestais e as unidades de conservação. A partir da análise das imagens de uso e ocupação da terra, percebe-se que a maior parte do estado é representada pela classe pastagem, seguida da classe formação florestal e mosaico de agricultura e pastagem (Figuras 17 e 18).

As análises de mudanças no uso e ocupação da terra, revelaram que o biênio de 2004-2005, apresentou mudanças significativas na classe formação florestal, apresentando os maiores ganhos. Os anos de 2004 e 2005 foram os que apresentaram maiores valores de precipitação pluvial acumulada. Além disso, foi o período em que a correlação entre os índices de vegetação com a precipitação mostrou-se com valores positivos. Correlação positiva, indica que o aumento da precipitação, eleva os índices de vegetação. Assim, valores altos de precipitação, podem ter influenciado no aumento da vegetação nesse período.

O biênio 2016-2017, que apresentou as maiores perdas de área em relação a classe formação florestal, foi o período que apresentou os maiores valores de temperatura. Além disso, a correlação entre temperatura e índices de vegetação apresentou valores com sinal negativo. Com isso, infere-se que pode existir uma faixa de temperatura aceitável, na qual aumenta o índice de vegetação. Temperaturas muito altas, não favorece o aumento da vegetação.

Outro fator que atinge a vegetação e biomas importantes, e que pode ter influenciado na perda de vegetação nos anos de 2016 e 2017, são os incêndios florestais. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza o monitoramento das queimadas e dos focos de incêndio ocorridos no território brasileiro nos últimos anos. Na Figura 28, percebe-se que 2015 e 2016, foi um período com grande quantidade de focos de incêndios florestais (INPE, 2020), coincidindo com o período de maiores temperaturas e menores valores de precipitação registrados no estado (Figuras 13 e 16).

Figura 28 – Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 2002 até 2017



Fonte: Banco de dados do Programa Queimadas – Inpe (2020).

Na Figura 28 percebe-se que o ano de 2003, apresentou a maior quantidade de focos de incêndios da série estudada, embora não tenha sido um ano de maior perda ou maior ganho de vegetação, o biênio 2002-2003 apresentou a maior diferença entre ganho e perda (4,7%) (Figura 19). A forte presença de focos de incêndio nesse período pode ter contribuído para essa maior variação líquida. O ano de 2003 foi de ocorrência de *El Niño*, consequentemente de altas temperaturas, o que provoca distúrbios na vegetação.

O Espírito Santo possui uma economia diversificada, e movimenta diversas cadeias produtivas, o estado possui uma das maiores reservas de mármore e granito do País. Com uma enorme variedade de cores, é o maior exportador do mundo de pelotas de minério de ferro e grande produtor de aço (GOVERNO ES, 2020). A perda da classe formação florestal e aumento da classe afloramento rochoso no biênio 2016-2017, pode estar relacionado com a forte extração de rochas e mármore no estado.

O Produto Interno Bruto (PIB) do Espírito Santo em 2017 foi de R\$ 113.352 mi (IBGE, 2020). Na agricultura, o estado é o maior produtor de café conilon do Brasil, responsável por aproximadamente 75% da produção nacional e 20% da produção de robusta do mundo, sendo referência brasileira e mundial no desenvolvimento da cafeicultura (INCAPER, 2020)

Além da forte presença da agricultura, o Estado apresenta programas de recuperação e manutenção dos fragmentos florestais ainda presentes. O projeto de recuperação de áreas, começou com o pagamento por serviços ambientais, e

atualmente o Estado conta com o Programa Reflorestar – Programa Estadual de Ampliação da Cobertura Florestal, na qual objetiva apoiar produtores rurais a recuperar suas matas (SEAMA; REFLORESTAR, 2018). O Programa permite que o Estado seja referência em políticas públicas para recuperação de florestas nativas.

O Estado conta com remanescentes florestais, em área contínua, protegidos sob a forma de unidades de conservação, as que merecem destaque são áreas formadas pelo Parque Nacional do Caparaó e a Reserva Biológica de Sooretama (IPEMA, 2005) além das unidades estaduais e municipais.

Segundo Fundação SOS Mata Atlântica (2017), em 2016 e 2017 foi observado aumento no desmatamento na Mata Atlântica em todos os estados brasileiros. Apesar de ser o período que mais perdeu vegetação, o Espírito Santo ainda é um dos estados que menos desmatam. Os estados que mais desmataram nesse último período foram, Bahia, Minas Gerais, Paraná e Piauí.

O ano de 2016 foi de forte ocorrência de *El Niño*. Na China, o *El Niño* de 2015-2016 provocou alteração nas concentrações de materiais particulados fino na atmosfera, influenciando nos dias de neblina (WANG, XIAOHONG et al., 2019). Além disso, o forte *El Niño* de 2015 resultou em anomalias significativas na qualidade do ar, aumentando a precipitação, alterando a velocidade do vento e consequentemente aumentando a poluição atmosférica em grandes cidades como Pequim (CHANG et al., 2016). Na África do Sul, o *El Niño* de 2016 foi o mais grave já registrado, e foi associado a seca e estresse térmico, o que influenciou na agricultura e produtividade do milho (SETIMELA et al., 2018).

O ano de 2015, ano de ocorrência de *El Niño*, bateu o recorde de temperatura no Espírito Santo e em outras regiões brasileiras. Na Amazônia, as anomalias de temperatura, apresentaram neste mesmo ano com 1,5°C mais quente em comparação com o *El Niño* de 1997, e 2°C mais quente que o observado no evento de 1983, anos de fortes ocorrências de anomalias climáticas (JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016).

Gonçalves et al. (2020), confirma que os anos de 2015-2016 foram anos mais secos e de altas temperaturas, também em outras regiões do país, como na Amazônia, provocando mudanças na fenologia da vegetação. O *El Niño* de 2015-2016 foi um dos três mais fortes registrados na história, influenciando nas altas temperaturas e baixas precipitações nesse período (BARNARD et al., 2017; HUANG et al., 2016; ZHAI et al., 2016).

Num mesmo país, a distribuição sazonal da chuva pode apresentar anormalidade em diferentes regiões. Na China, o estudo de Heng et al. (2020), revela

a análise da influência do *El Niño* nos padrões sazonais da chuva. Segundo o autor, há mudanças nos índices de precipitação impulsionadas pela variação de temperatura de superfície.

Na agricultura, também é perceptível a influência do aumento de temperatura de superfície da terra. Nos Estados Unidos, o superaquecimento as águas do oceano pacífico pode apresentar uma influência positiva na produtividade e fenologia da vegetação (DANNENBERG et al., 2015). O *El Niño* tende a reduzir o preço do café, enquanto que a *La Niña* tende a aumentar, são os efeitos dos fenômenos climáticos na agricultura, é o que destaca Sephton, (2019), exercendo papel de destaque na evolução dos preços de café, com dados da Organização Internacional do Café.

O *El Niño* e *La Niña* tende a influenciar de forma diferentes todas as regiões do planeta. De maneira geral, os estudos mostram anomalias no padrão de distribuição das chuvas, normalmente provocando excesso ou escassez de precipitação (VIEGAS et al., 2019). Segundo dados do CPTEC; INPE (2016), os principais impactos do *El Niño* no Brasil são precipitações em todo país na primavera/verão, secas severas na região Nordeste e além da diminuição da precipitação e aumento do risco de incêndios florestais na região Norte da Amazônia. Na região Sudeste do Brasil, o *El Niño* provoca aumento da temperatura média.

Os índices de vegetação e as imagens de uso e ocupação da terra, permitiram comparar a cobertura vegetal do ano de 2002 com a vegetação de 2017, proporcionando a análise da dinâmica temporal ao longo dos 15 anos de estudo, além de proporcionar a correlação com os fatores climáticos (ALVES et al., 2018; VALLADARES; ESPINDOLA, 2016). A análise de correlação entre os índices de vegetação, a temperatura e precipitação permitem uma melhor avaliação das condições da vegetação (ECKERT et al., 2015).

## 7. CONCLUSÕES

O biênio que mais apresentou aumento de vegetação foi 2004-2005, anos sem ocorrência de *El Niño/La Niña*. O biênio que mais apresentou diminuição de vegetação foi 2016-2017, anos que apresentaram os valores mais baixos de precipitação e maiores de temperatura.

A precipitação apresenta uma correlação positiva com os índices de vegetação. As anomalias climáticas podem influenciar a perda de vegetação.

A utilização de índices de vegetação se mostrou eficiente para avaliar ganho e perda de vegetação e correlacionar com as variáveis climáticas. Mapas temáticos de índices de vegetação e uso e ocupação da terra são eficientes para monitoramento da vegetação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELRAHMAN, M. A. E.; TAHOUN, S. GIS model-builder based on comprehensive geostatistical approach to assess soil quality. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 13, p. 204–214, 2019.
- ALEXANDER, M. A. et al. The Atmospheric Bridge: The Influence of ENSO Teleconnections on Air–Sea Interaction over the Global Oceans. **Journal of Climate**, v. 15, n. 16, p. 2205–2231, ago. 2002.
- ALMEIDA, D. N. de O. et al. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 04, p. 58–68, 2018.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARAUJO, L. S.; KOMONEN, A.; LOPES-ANDRADE, C. Influences of landscape structure on diversity of beetles associated with bracket fungi in Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 191, p. 659–666, 2015.
- AS-SYAKUR, A. R. et al. Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 21, p. 7723–7738, 2013.
- ASNER, G. P. Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 64, n. 3, p. 234–253, 1998.
- BARNARD, P. L. et al. Extreme oceanographic forcing and coastal response due to the 2015–2016 El Niño. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 14365, 2017.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. . Diário Oficial da União. Brasília, DF, Brasília, 5 de outubro de 1988.: [s.n.] , 1988
- \_\_\_\_\_. **Lei Nº 9.985, de 18 de Julho de 2000**. . Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 jul. 2000: [s.n.] , 2000
- \_\_\_\_\_. **Lei Nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006**. . Diário Oficial da União. Brasília, DF, 22 dez. 2002: [s.n.] , 2006
- \_\_\_\_\_. **Lei Nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006**. . Diário Oficial da União. Brasília, DF, 22 dez. 2002: [s.n.] , 2006b
- CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F.; FILHO, O. A. Capítulo 25 – Sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia ambiental. **Eng. Ambient. conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2013. p. 643–667.
- CAMPANILI, M.; SCHAFFER, W. B. Mata Atlântica: Manual de Adequação Ambiental. **Biodiversidade**, n. 35, p. 96, 2010.
- CHANG, L. et al. Impact of the 2015 El Niño event on winter air quality in China. **Scientific Reports**, v. 6, n. September, p. 3–8, 2016.
- CHUAI, X. W. et al. NDVI, temperature and precipitation changes and their relationships with different vegetation types during 1998-2007 in Inner Mongolia, China. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 7, p. 1696–1706, 2013.

- CORDEIRO, A. P. A. et al. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciencia Florestal**, v. 27, n. 3, p. 883–896, 2017.
- CPTEC; INPE. **El Niño e La Niña - CPTEC / INPE**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/artigos/pt#1>>. Acesso em: 31 jan. 2020.
- DANNENBERG, M. P. et al. Empirical evidence of El Niño-Southern Oscillation influence on land surface phenology and productivity in the western United States. **Remote Sensing of Environment**, v. 159, p. 167–180, 2015.
- DIDAN, K. **MOD13Q1 MODIS / Índices de Vegetação Terra 16 dias L3 Global 250m Rede SIN V006 [Conjunto de dados]**. NASA EOSDIS LP: DAAC, 2015.
- DIDAN, K.; MUNOZ, A. B.; HUETE, A. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series) version 3.00. p. 35, 2015.
- DINKU, T. et al. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 7, p. 1503–1526, 2007.
- DUAN, Z.; BASTIAANSEN, W. G. M. First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling–calibration procedure. **Remote Sensing of Environment**, v. 131, p. 1–13, 2013.
- FANG, J. et al. Spatial downscaling of TRMM precipitation data based on the orographical effect and meteorological conditions in a mountainous area. **Advances in Water Resources**, v. 61, p. 42–50, 2013.
- FEIDAS, H. Validation of satellite rainfall products over Greece. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, n. 1–2, p. 193–216, 2010.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115–146, 2009.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA. **Relatório Anual de Atividades 2017**. São Paulo: SOS Mata Atlântica, 2017.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica ; período 1995-200**. São José dos Campos: Fundação SOS Mata Atlântica INPE, 2002.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Dos Remanescentes Florestais Da Mata Atlântica Período 2016-2017 Relatório Técnico Patrocínio Execução Técnica**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica INPE, 2018.
- GONÇALVES, N. B. et al. Both near-surface and satellite remote sensing confirm drought legacy effect on tropical forest leaf phenology after 2015/2016 ENSO drought. **Remote Sensing of Environment**, v. 237, p. 111489, 2020.
- GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Governo ES - Economia diversificada**. Disponível em: <<https://www.es.gov.br/economia-diversificada-2>>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- GURGEL, H. da C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do

NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 85–90, 2003.

HENG, C. et al. **Influence analysis of central and Eastern Pacific El Niños to seasonal rainfall patterns over China using the intentional statistical simulations**. **Atmospheric Research**. [S.l.: s.n.], 2020

HUANG, B. et al. Ranking the strongest ENSO events while incorporating SST uncertainty. **Geophysical Research Letters**, v. 43, n. 17, p. 9165–9172, 2016.

HUETE, A. R. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440–451, 1997.

HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38–55, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto (Euro)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomás Brasileiros**. Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/en/component/content/94-7a12/7a12-vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/1465-ecossistemas.html?Itemid=101>>. Acesso em: 3 out. 2020.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, A. T. e A. do E. S. **Incaper - Cafeicultura - Café Conilon**. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **El Niño e La Niña - CPTEC/INPE**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>>. Acesso em: 12 maio 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento dos Focos Ativos por Estado, Região ou Bioma - Programa Queimadas - INPE**. Disponível em: <[http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas\\_estados/](http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/)>. Acesso em: 10 mar. 2020.

JIA, S. et al. A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3069–3079, 2011.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. et al. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 33130, 2016.

JÚNIOR, H. D. M. Diagnóstico multitemporal do uso e cobertura da terra e qualidade das águas na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais como subsídio à gestão dos recursos hídricos superficiais. v. 8, n. 2, p. 47–57, 2019.

JUSTICE, C. O. et al. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228–1249, 1998.

KOGAN, F. N. Satellite-Observed Sensitivity of World Land Ecosystems to El Niño/La Niña. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 3, p. 445–462, 2000.

- KUMMEROW, C. et al. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 12, p. 1965–1982, 2000.
- LI, Z.; KAFATOS, M. Interannual variability of vegetation in the United States and its relation to El Niño/Southern Oscillation. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, n. 3, p. 239–247, 2000.
- LINARES, A. H. **Análise multitemporal de imagens MODIS dos Parques Nacionais do Cerrado: EVI como uma das ferramentas para seleção de áreas de conservação**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006.
- LOBATO, R. et al. Normalization Vegetation Index for analysis from Atlantic Forest reduction in the coastal region of Tamoios - Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v. 01, n. 01, p. 14–22, 2010.
- LOUZADA, F. L. R. O. **Balanço hídrico climatológico com dados estimados pelo Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para a bacia hidrográfica do rio Doce**. 2016. 107 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016.
- MAPBIOMAS. **O QUE É O MAPBIOMAS**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/about/about>>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- MORAES, R. A.; ROCHA, J. V. Imagens de coeficiente de qualidade (Quality) e de confiabilidade (Reliability) para seleção de pixels em imagens de NDVI do sensor MODIS para monitoramento da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR (Org.). . **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. v. 5. p. 0548.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011.
- MURADYAN, V. et al. Relationships between NDVI and climatic factors in mountain ecosystems: A case study of Armenia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 158–169, 2019.
- NASA. **MODIS Web**. Disponível em: <<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>. Acesso em: 2 maio 2019.
- NOAA. **El Niño related global temperature & precipitation patterns**. Disponível em: <[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensocycle/elminosfc.shtml](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/elminosfc.shtml)>. Acesso em: 8 jul. 2019a.
- \_\_\_\_\_. **Frequently Asked Questions About El Niño and La Niña**. Disponível em: <[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#NINO](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#NINO)>. Acesso em: 8 jul. 2019.
- \_\_\_\_\_. **La Niña - Related Rainfall Patterns Over The Tropical Pacific**. Disponível em: <[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensocycle/laninarain.shtml](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/laninarain.shtml)>. Acesso em: 8 jul. 2019b.

NÓBREGA, R. S. **Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM**. 2008. 213 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

OLIVEIRA, G. S. de. **El Niño e La Niña - CPTEC/INPE**. Disponível em: <[http://enos.cptec.inpe.br/el\\_nino/pt](http://enos.cptec.inpe.br/el_nino/pt)>. Acesso em: 5 fev. 2019.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensorimento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

POVEDA, G.; SALAZAR, L. F. Annual and interannual (ENSO) variability of spatial scaling properties of a vegetation index (NDVI) in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 3, p. 391–401, 2004.

PROJETO MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass - Coleção [versão 3.1] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org>>. Acesso em: 29 maio 2019.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In **3rd ERTS Symposium**. NASA SP-351: In 3rd ERTS Symposium, 1973.

SANTOS, J. S. et al. Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecological Indicators**, v. 88, n. February, p. 414–424, 2018.

SEAMA; REFLORESTAR, P. **Atlas da Mata Atlântica do Estado do Espírito Santo: 2007-2008/2012-2015**. Cariacica-ES: IEMA, 2018.

SEPHTON, P. S. El Niño, La Niña, and a cup of Joe. **Energy Economics**, p. 104503, 2019.

SETIMELA, P. et al. When the going gets tough: Performance of stress tolerant maize during the 2015/16 (El Niño) and 2016/17 (La Niña) season in southern Africa. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 268, n. December 2017, p. 79–89, 2018.

SILVA, J. M. C. da; CASTELETI, C. H. Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. de G. (Org.). **Mata Atlântica biodiversidade, ameaças e Perspect**. Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica Conservação Internacional, 2005. p. 472.

SOUSA, R. G. De; MARTINS, L.; SILVA, F. B. Análise da precipitação, vazão, uso e cobertura da terra na bacia do rio São João / MG. p. 146–154, 2020.

STEHMANN, J. R. et al. **Plantas da Floresta Atlântica**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2009.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771–2777, 1997.

VIEGAS, J. et al. Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 43–67, 2019.

WAN, Z.; HOOK, S.; HULLEY, G. **MOD11A2 MODIS/ Terra Temperatura da Terra/**

**Emissividade 8 dias L3 Global 1 km SIN Grid V006 [Data set].** [S.l: s.n.], 2015.

WANG, Xiaohong et al. Impact of 2015–2016 El Niño and 2017–2018 La Niña on PM2.5 concentrations across China. **Atmospheric Environment**, v. 208, n. March, p. 61–73, 2019.

WANG, Xiaoming et al. The correlation between GNSS-derived precipitable water vapor and sea surface temperature and its responses to El Niño–Southern Oscillation. **Remote Sensing of Environment**, v. 216, p. 1–12, 2018.

ZHAI, P. et al. The strong El Niño of 2015/16 and its dominant impacts on global and China's climate. **Journal of Meteorological Research**, v. 30, n. 3, p. 283–297, 2016.