

**Suzana Maria Inácio de Carvalho**

**Influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação  
na região da Mata Atlântica Paulista**

Sorocaba  
2018

**Suzana Maria Inácio de Carvalho**

**Influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação  
na região da Mata Atlântica Paulista**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jonas Teixeira Nery

Sorocaba  
2018

A minha família, com amor.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me proporcionar a força e a coragem necessária para seguir sempre em frente.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos a qual deu suporte a esta pesquisa.

Ao professor Dr. Jonas Teixeira Nery pela confiança, ensinamentos e compreensão ao longo desta caminhada.

A todos os professores em que tive a honra de receber os ensinamentos neste período e aos funcionários da UNESP pelo acolhimento e suporte (e como precisei!).

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e aos amigos que lá deixei, poder contar com vocês foi fundamental para o avanço e desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que embarcaram junto comigo e me ajudaram a remar nesta pequena e intensa jornada, meu sincero agradecimento (aponta pra Fé e rema!).

A minha família, obrigada por ensinarem a linha tênue entre a fé, a esperança e o amor.

“Um dia, quando olhares para trás, verás que os dias mais belos foram aqueles em que lutaste” (S.Freud)

“Tudo posso Naquele que me fortalece” (Filipenses)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp  
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Carvalho, Suzana Maria Inácio de.

Influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação  
na região da Mata Atlântica Paulista / Suzana Maria Inácio de  
Carvalho, 2018.

137 f.: il.

Orientador: Jonas Teixeira Nery.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio  
de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de  
Sorocaba), 2018.

1. Mata Atlântica. 2. Vegetação e clima. 3. Mudanças  
climáticas. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita  
Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba).  
II. Título.

Bibliotecário responsável: Bruna B. Guimarães – CRB 8/8855



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

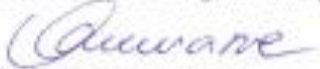
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação na região da Mata Atlântica Paulista

AUTORA: SUZANA MARIA INÁCIO DE CARVALHO

ORIENTADOR: JONAS TEIXEIRA NERY

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. JONAS TEIXEIRA NERY  
Coordenação de Curso - Geografia / Unesp - Ourinhos

  
D<sup>a</sup>. VIVIANE REGINA ALGARVE  
Centro de Ciência do Sistema Terrestre / INPE

  
D<sup>a</sup>. IRIS AMATH MARTINS  
Departamento de Ecologia / Universidade de São Paulo (USP)

Sorocaba, 04 de junho de 2018

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA: Agência Nacional das Águas  
APASMA: Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira  
ASAS: Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul  
CCST: Centro de Ciência do Sistema Terrestre  
EN: El Niño  
ENOS: El Niño/Oscilação Sul  
EVI: Índice de Vegetação Melhorado  
FPAR: Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa  
IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
ICMBio: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade  
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas  
LAI: Índice de Área Foliar  
LN: La Niña  
LSWI: Índice de Umidade da Vegetação  
Mata Atlântica: (MA)  
MODIS: *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*  
NASA: Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço  
NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada  
PESM: Parque Estadual Serra do Mar  
PET: Parque Nacional do Turvo  
PNA: Parque Nacional das Araucárias  
PNSB: Parque Nacional Serra da Bocaina  
RAI: Índice de Anomalia de Chuva  
SE: Sudeste  
SPI: Índice de Precipitação Padronizado  
SR: Sensoriamento Remoto  
SW: Sudoeste  
UC: Unidades de Conservação  
UGRHI: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura  
ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul



**CARVALHO, S.M.I. Influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação na região da Mata Atlântica Paulista. 2018. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2017.**

## **RESUMO**

Alterações no clima causam impactos significativos sobre a estrutura e distribuição dos ecossistemas afetando a biodiversidade terrestre. O objetivo da pesquisa foi descrever os padrões da dinâmica da vegetação natural da Mata Atlântica Paulista na região da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (UGRHI 2) e identificar a relação que se estabelece entre a variabilidade climática e a vegetação. Dados de imagens de séries temporais de índices de vegetação como o EVI (Índice de Vegetação Melhorado), LSWI (Índice de umidade da vegetação) e LAI (Índice de Área Foliar) derivados de produtos de Sensoriamento Remoto (SR), foram adquiridos do sensor MODIS, pois são poderosas ferramentas indicadoras do desenvolvimento da vegetação. Dados de precipitação pluvial adquiridas por estações pluviométricas disponibilizadas pela ANA foram aplicados para cálculo dos índices climáticos como o SPI (Índice de Precipitação Padronizado) e RAI (Índice de Anomalia de chuva). Os índices conseguiram detectar a variação entre anos extremamente úmidos e anos extremamente secos. Destacaram-se os anos 2009 e 2014, sendo que o ano de 2009 representou um ano de anomalia positiva, com precipitação acima da média climatológica. Já em 2014, foi possível detectar uma condição de anomalia negativa, com condições mais severas com precipitação pluvial abaixo da média climatológica. Com a finalidade de avaliar como essa dinâmica climática influencia na dinâmica da vegetação, os índices EVI, LSWI e LAI foram analisados e mostraram que o comportamento da dinâmica da vegetação natural das regiões da Mata Atlântica Paulista acompanha a variabilidade do clima, já que foram observados padrões de maior produtividade no período da estação chuvosa, época em que a condição hídrica é mais intensa e favorece o verdejamento das folhas, o oposto foi observado quando há o déficit hídrico, que ocorre principalmente na estação seca onde nota-se o declínio dos valores dos índices, ou seja, indicando a queda foliar. Os índices capturaram o padrão esperado, vale destacar que o índice LSWI apresentou maior sensibilidade à condição hídrica, o que era esperado devido às bandas que compõe este índice, sendo possível verificar o potencial das imagens do sensor MODIS em capturar a resposta da floresta e consequentemente contribuir de forma significativa para estudos de mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Clima, índices de vegetação, índices climáticos, ecossistema.

**CARVALHO, S.M.I. Influence of climatic variability on vegetation dynamics in the Atlantic Forest region of São Paulo. 2018. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2017.**

### **ABSTRACT**

Climate change causes significant impacts on the structure and distribution of ecosystems affecting terrestrial biodiversity. The objective of the research was to describe the patterns of the dynamics of the natural vegetation of the Atlantic forest in the region of the watershed of Rio Paraíba do Sul (UGRHI 2) and to identify the relationship that is established between climatic variability and vegetation. Image data from temporal series of vegetation indices as the improved Vegetation Index (EVI), Vegetation Humidity Index (LSWI) and foliar area index (LAI) derived from remote sensing products (SR), were acquired from the MODIS sensor, as they are Powerful tools indicating the development of vegetation. Rainfall precipitation data acquired by precipitation stations provided by the National Water Agency (ANA) were applied for calculating climatic indexes such as the Standardized Precipitation Index (SPI) and Rain Anomaly Index (RAI). The indexes were able to detect the variation between extremely humid years and extremely dry years. The years 2009 and 2014 were highlighted, and the year 2009 represented a year of positive anomaly, with precipitation above the average climatological. In 2014, it was possible to detect a negative anomaly condition, with harsher conditions with rainfall precipitation below the climatological average. For the purpose of evaluating how this climate dynamics influences the dynamics of vegetation, the indices EVI, LSWI and LAI were analyzed and showed that the behavior of the dynamics of the natural vegetation of the Regions of Atlantic Forest Paulista accompanies the Climate variability, since there were observed higher productivity patterns during the rainy season, when the water condition is more intense and favors the greenishing of the leaves, the opposite was observed when there is the water deficit, which occurs Mainly in the dry season where it is noted the decline of the values of the indices, that is, indicating the foliage fall. The indexes captured the expected pattern, it is worth noting that the LSWI index presented greater sensitivity to the water condition, which was expected due to the bands that make up this index, it is possible to verify the potential of the images of the MODIS sensor in capturing the Forest response and consequently contribute significantly to climate change studies.

**Key words:** Climate, vegetation indexes, climate indices, ecosystem.

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>4</b>
4.1	BIOMA MATA ATLÂNTICA.....	4
4.2	MATA ATLÂNTICA PAULISTA .....	7
4.3	VARIABILIDADE CLIMÁTICA.....	10
4.4	EL NIÑO E LA NIÑA .....	12
4.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CLIMA NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL .....	14
4.6	APLICAÇÃO DE ÍNDICES CLIMATOLÓGICOS .....	16
4.7	SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO .....	18
4.8	SENSOR MODIS .....	22
4.9	APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO SENSOR MODIS NOS ESTUDOS SOBRE A DINÂMICA DA VEGETAÇÃO .....	25
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
5.1	ÁREA DE ESTUDO .....	27
5.2	INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	29
5.3	MEDIDAS FÍSICAS: IMAGEM MODIS .....	38
5.4	VALIDAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATURAL .....	47
5.4.1	<i>Trabalho de Campo</i> .....	49
5.5	RELAÇÕES CLIMA E VEGETAÇÃO .....	51
5.5.1	<i>Análises Estatísticas</i> .....	52
5.5.2	<i>Box Plot</i> .....	54
5.5.3	<i>Desvio padrão</i> .....	55
5.5.4	<i>Regressão linear</i> .....	55
5.5.5	<i>Correlação de Spearman</i> .....	58
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>59</b>
6.1.1	<i>Análise da variabilidade da precipitação através de índices climatológicos</i> .....	59

6.1.2	<i>Análise da variabilidade das variáveis climáticas e vegetação nas regiões do PNSB, PESM e APASMA.....</i>	72
6.1.3	<i>Análise da variabilidade da vegetação através de variáveis biofísicas: EVI, LSWI e LAI</i>	83
6.1.4	<i>Análise das relações entre variáveis climáticas e variáveis biofísicas da vegetação.....</i>	88
6.1.5	<i>Trabalho de Campo.....</i>	101
6.2	CONSIDERAÇÕES .....	109
Anexo 1.....		118
Anexo 2.....		124

## 1 INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais, como a Mata Atlântica (MA), a sazonalidade climática, especialmente da precipitação, influencia a sazonalidade da vegetação. Nimer (1979) considera que nenhum fenômeno da natureza pode ser avaliado isoladamente e que a vegetação, por exemplo, não pode ser compreendida nem explicada se não for considerado o meio atmosférico no qual se insere, ou seja, o clima dominante. Estudos corroboram que a resposta de diferentes tipos de vegetação é modulada pela variação climática (LIU et al., 1991; BATISTA et al., 1997; BARBOSA, 1998; DESSAY et al., 2001; WANG et al., 2003).

A variabilidade climática interanual deve propiciar variabilidade interanual na dinâmica da vegetação. Assim, durante a avaliação das variabilidades climáticas e vegetacionais em um determinado período, observa-se a ocorrência de ciclos de maior ou menor produtividade primária, o que denota em ciclos com maior ou menor absorção e fixação de carbono atmosférico, influenciando diretamente no clima regional. Segundo Prentice et al. (1992), mudanças na vegetação implicam em alterações das propriedades físicas da superfície, incluindo o índice de área foliar, a profundidade das raízes, a disponibilidade de umidade do solo, o albedo superficial e a rugosidade da superfície. Na Climatologia, a utilização de índices de vegetação também é essencial, tendo em vista que possibilitam conhecer a repartição e a densidade de ocupação do solo pela vegetação, a qual tem grande influência no ciclo hidrológico, e do carbono. Tais índices podem ser utilizados, dentre outros fins, para se verificar as consequências da variabilidade climática interanual sobre a vegetação, bem como auxiliar no entendimento e análise da variação sazonal da vegetação (TEIXEIRA 2003).

Assim, a realização do monitoramento preciso da variabilidade interanual e as tendências de longo prazo na estrutura dos ecossistemas tem se tornado muito importante, pois permite indicações essenciais de mudanças na biosfera terrestre que, do contrário, passariam despercebidas até o início de uma mudança de estado de equilíbrio do ecossistema.

Uma área de grande interesse, ainda pouco investigada, é a Mata Atlântica Paulista, inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, cujo bioma original Mata Atlântica, tem sido substituído por pastagens, cultivos agrícolas como também práticas silviculturais. Nesta região, a Mata Atlântica mantém aproximadamente 30,5 % da sua vegetação original, localizada na subdivisão da Serra da Mantiqueira e Serra do Mar. Este bioma apresenta peculiaridades quanto ao funcionamento ecofisiológico imposta pela variação do clima regional, bem como relacionadas às variações na latitude, longitude e altitude.

Poucos estudos abordam a influência da variabilidade climática na vegetação natural desta região. Os remanescentes florestais na região do Vale do rio Paraíba do Sul e Serras da Mantiqueira e do Mar apresentam alto grau de endemismo e variabilidade de fisionomias como os tipos encontrados sobre as encostas da Serra do Mar, que predominantemente apresentam características de floresta ombrófila sempre úmida ao nível do mar, floresta ombrófila altimontana entre 1.000 a 1.400 m, floresta ombrófila mista de 1.400 a 2.000 m e de campos de altitude acima de 2.000 m.

A fitofisionomia da Serra da Mantiqueira apresenta uma única diferença em relação à Serra do Mar relativa às encostas localizadas nas porções abaixo de 1.000 m, com predominância floresta estacional semi-decidual. Entretanto, na região do Vale do Paraíba, a vegetação apresenta várias características morfológicas distintas. Em regiões próximas ao domínio das Serras do Mar e da Mantiqueira, encontra-se floresta ombrófila estacional. Próximo às cidades de Taubaté e São José dos Campos é possível encontrar enclaves de vegetação de Cerrado, por ser uma área de transição entre os biomas. Por fim, às margens do rio Paraíba do Sul, a vegetação predominantemente é de campos sujos (ALGARVE, 2013).

A atual situação em que a MA se encontra, em que cada vez mais áreas são fragmentadas, havendo uma constante perda de informações sobre a dinâmica do seu sistema natural, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto tem proporcionado uma alternativa promissora para aprimorar a compreensão da dinâmica da vegetação e sua relação com fatores climáticos.

Considerando a fragilidade e importância da preservação dos remanescentes naturais da Mata Atlântica Paulista, este estudo levanta a seguinte questão: Qual influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação na região da Mata Atlântica Paulista?

Para investigar esta questão, este trabalho irá utilizar dados climáticos como precipitação pluvial e a aplicação de índices climáticos como SPI (Índice de Precipitação Padronizado) e RAI (Índice de Anomalia de Chuva) e anomalias pluviais para avaliar a dinâmica pluvial através da variabilidade das chuvas e dados de sensoriamento remoto tais como EVI (Índice de Vegetação Melhorado), LSWI (Índice de Umidade da Vegetação) e LAI (Índice de Área Foliar), uma vez que o uso de imagens orbitais caracteriza-se como uma opção a ser explorada dada a sua característica multiespectral, o que possibilita uma análise temporal e espacial da vegetação a fatores ambientais na região da Mata Atlântica Paulista.

## **2 OBJETIVO GERAL**

O presente estudo tem como objetivo geral identificar as relações de causa e efeito entre o comportamento temporal dos índices de vegetação e a variabilidade das variáveis climáticas como precipitação pluvial e temperatura em áreas de vegetação nativa da Mata Atlântica Paulista.

## **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral do presente estudo é apresentado os objetivos específicos:

- i) Analisar a variabilidade pluvial da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul através de índices climatológicos: SPI e RAI;
- ii) Realizar análise da dinâmica sazonal e interanual da vegetação através de importantes variáveis biofísicas: EVI, LSWI e LAI;
- iii) Avaliar a influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação em três importantes áreas naturais da Mata Atlântica Paulista;
- iv) Contribuir com o conhecimento dos principais impactos relacionados a variabilidade climática na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e identificar riscos e oportunidades para tomadores de decisão.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Bioma Mata Atlântica

O bioma Mata Atlântica é a formação florestal mais antiga do Brasil, estabelecida há cerca de 70 milhões de anos (LEITÃO-FILHO et al.,1999) e cobre em torno de 12,0 % do território nacional (CÂMARA, 1996). Está distribuída por 17 estados brasileiros, nas regiões costeiras desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul e estendendo-se aos interiores de Goiás, Ceará, Piauí, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Formada por um extenso *continuum* vegetacional costeiro e interiorano, sua distribuição tem extrema influência pela distância do oceano seguido do regime de distribuição de chuvas, da altitude e da duração da estação seca (OLIVEIRA-FILHO & FONTES 1993).

A MA é composta por um mosaico diverso de fitofisionomias, determinadas por sua ampla distribuição latitudinal, longitudinal e altitudinal o que proporcionou a este bioma uma complexa e elevada biodiversidade faunística e florística nesta região (GALINDO & CÂMARA 2005). Segundo Câmara (2003), no gradiente latitudinal, existe uma grande variação de energia solar incidente e de precipitação pluviométrica. No gradiente longitudinal, a proximidade com o oceano Atlântico favorece a precipitação mais abundante, ocasionada pelo transporte de umidade do oceano. Concernente à altitude, existe um gradiente na distribuição do perfil vertical de temperatura. As distribuições destes gradientes formam a existência de áreas com diferentes condições climáticas, fazendo com que a vegetação nestas regiões apresente características morfológicas e fisiológicas distintas.

Ao longo de sua descoberta, diversos autores procuraram encontrar definições ao bioma. Para Pelzeln (1871) a Floresta Atlântica era o ambiente do qual provinham as espécies de aves que classificava através das coleções do zoólogo Natterer, pesquisador que fez estudos entre os anos de 1817 e 1835 nesta região brasileira. Segundo Rizzini (1963), a Floresta Atlântica é constituída pela Floresta Pluvial Baixo Montana e Montana, a primeira ocorrendo nas porções mais baixas das serras e a segunda nas partes de altitude mediana.

Ab'Saber (1966) propôs uma série de domínios morfoclimáticos para América do Sul baseando-se em critérios climáticos, geomorfológicos e ecológicos e inseriu a Mata Atlântica no Domínio Morfoclimático Tropical Úmido, conhecido como Domínio dos Mares de Morros, o qual fora denominado anteriormente por Romariz (1964) como Floresta Latifoliada Hidrófila Costeira. Outra denominação para este ecossistema foi dada por Eiten (1970), cuja



denominação foi Floresta Costeira Atlântica, subdividida em Floresta Alta do Litoral, Floresta da Encosta da Serra do Mar, Floresta de Crista da Serra do Mar, Floresta Sempre Verde do Planalto, Floresta Semidecídua do Planalto e Floresta Mista Latifoliada de Araucária.

Já em 1993, o Decreto nº750 dispõe sobre o uso do bioma Mata Atlântica e cria a definição deste bioma como “as formações florestais e ecossistemas associados inseridos no domínio Mata Atlântica, com as respectivas delimitações estabelecidas pelo Mapa de Vegetação do Brasil: Floresta Ombrófila Densa Atlântica, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Manguezais, Restingas, Campos de Altitude, Brejos Interioranos e Encraves Florestais do Nordeste” (IBGE, 1988).

A descaracterização da Mata Atlântica é uma questão crítica que acompanha a longa história deste bioma, desde o século XVI até os dias atuais. O bioma tem sido devastado devido a exploração e uso de forma insustentável de seus recursos, o que promove um processo de redução de sua área, desencadeando diversos prejuízos em escalas local, regional e global. Restando atualmente cerca de 7,0 % de sua cobertura original (SOS Mata Atlântica – INPE, 2002), a degradação da Mata Atlântica ainda permanece, embora existam mecanismos, desde planos municipais a projetos de leis a nível federal (Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, a qual dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e regulamenta diversas providências, que atuam na causa de promover e garantir a preservação deste ecossistema.

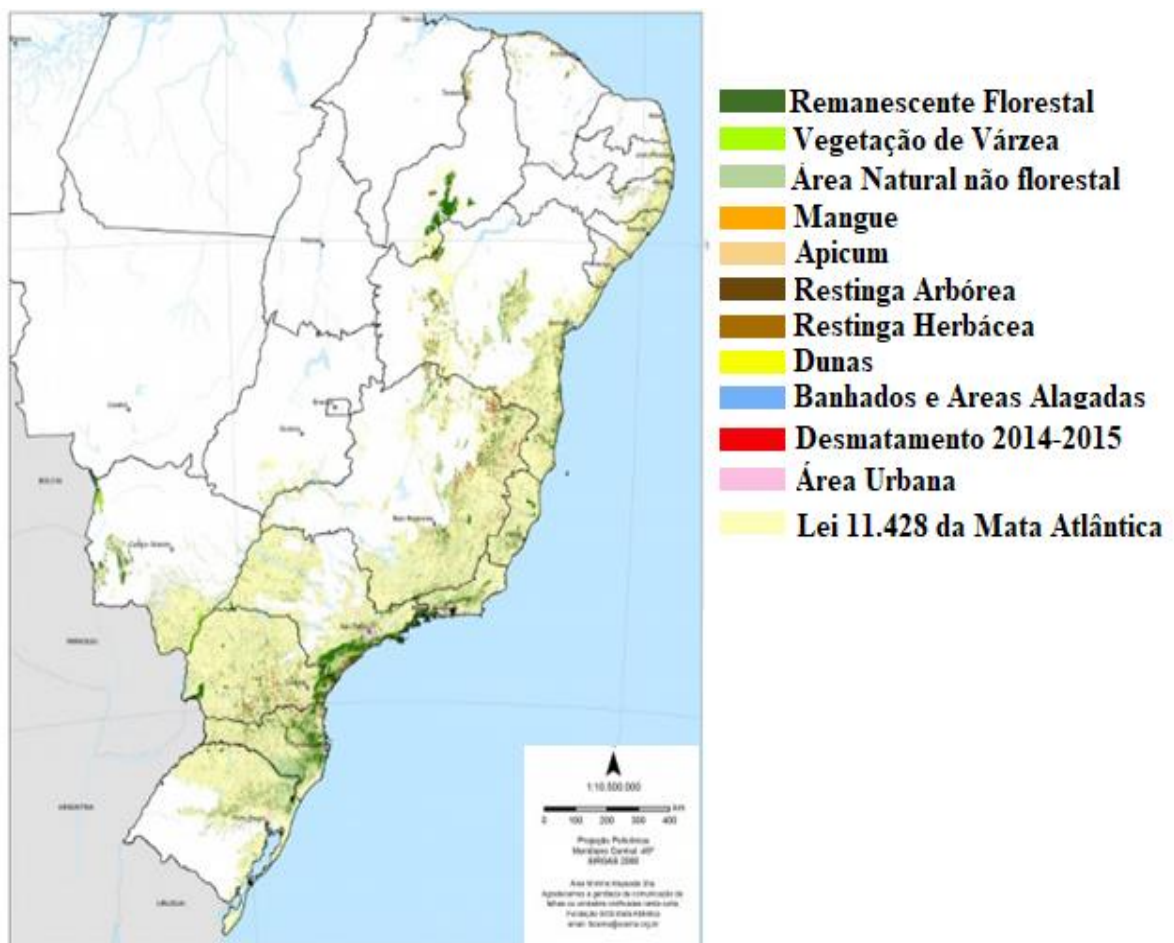
A busca pela conservação dos ecossistemas abrange uma série de desafios e neste sentido, vem crescendo no Brasil a criação de Unidades de Conservação (UC) com o incentivo do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), baseado no Decreto nº 1.922 de 6 de junho de 1996, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) – Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 e mais recentemente a Instrução Normativa n.º 24 de 14 de abril de 2004, posteriormente administrado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – (ICMBio), autarquia em regime especial. Atualmente, cabe ao ICMBio executar as ações do SNUC, podendo implantar, gerir, fiscalizar monitorar, propor, proteger, as UCs instituídas pela União.

O avanço da degradação da Mata Atlântica ameaça a manutenção da biodiversidade a longo prazo, sendo necessário que as medidas criadas garantam, em sua efetividade, a conservação deste rico Patrimônio Nacional, como foi decretada pela Constituição Federal de 1988 e segundo a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e

Cultura) considerada como reserva da biosfera, por se tratar de um *hotspot* mundial, ou seja, uma das áreas mais ricas em biodiversidade e mais ameaçadas do planeta.

A Figura 1 representa o mapeamento dos remanescentes florestais realizado pela Fundação SOS Mata Atlântica e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para um período recente (2014 a 2015). Esse levantamento demonstrou que o desmatamento no bioma atingiu 18.433 hectares (ha), ou 184 km<sup>2</sup>.

**Figura 1** - Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica 2014-2015.

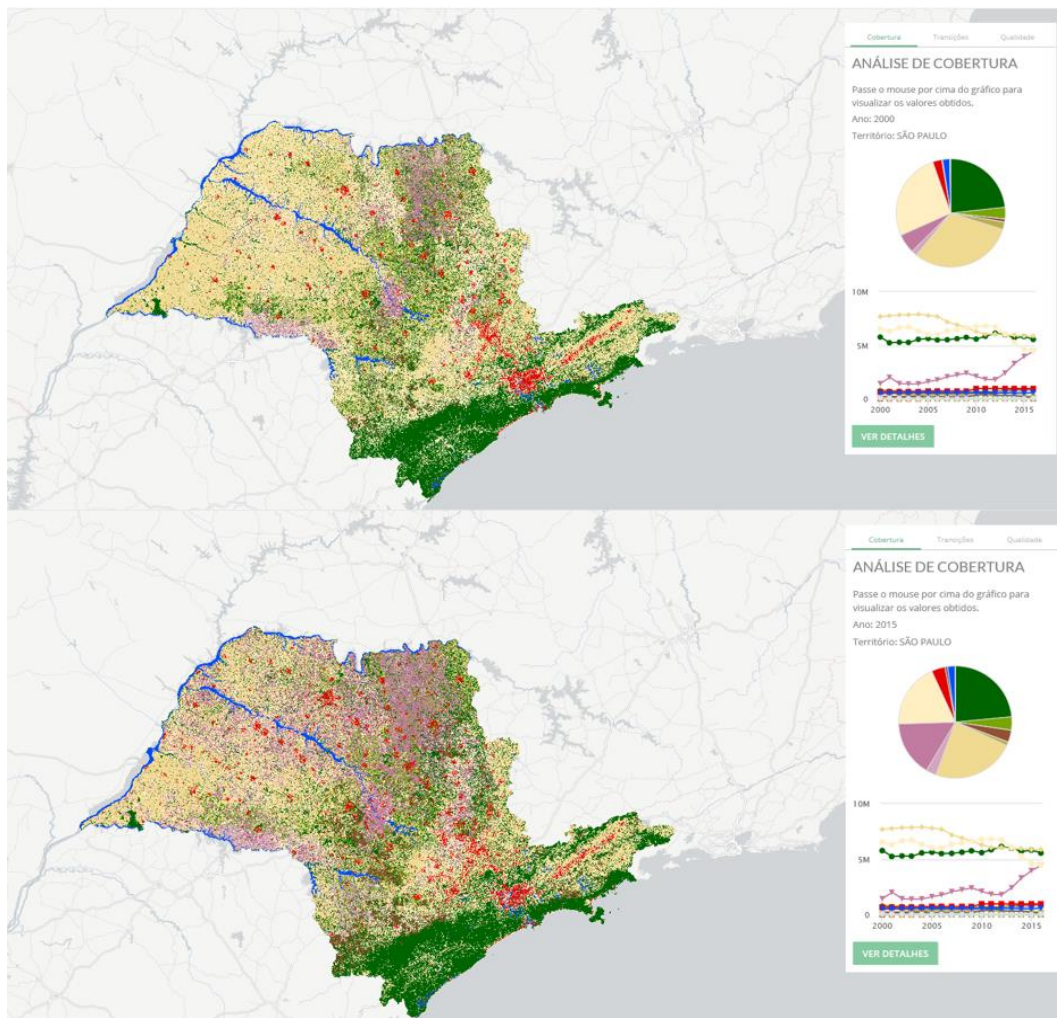


Fonte: SOS Mata Atlântica 2014.

## 4.2 Mata Atlântica Paulista

Historicamente, o Estado de São Paulo possuía aproximadamente 81,8% (20.450.000 ha) de seu território, coberto pela Floresta Atlântica e seus ecossistemas associados representados pelas formações florestais ombrófila densa, ombrófila mista, ombrófila aberta, estacional semidecidual, estacional decidual, manguezais, restingas e ainda campos de altitude e banhados interioranos. Em grande parte, a devastação atingiu severamente, durante os diversos ciclos econômicos, todas essas formações florestais. A Figura 2 mostra o resultado de um projeto recente (MapBiomias) referente ao mapeamento do uso e ocupação do solo para o estado de São Paulo.

**Figura 2** - Histórico do uso e cobertura da terra para o Estado de São Paulo para os anos 2000 e 2015.



Fonte: MapBiomias (2017).

Na região da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul Paulista, a devastação teve início com os ciclos econômicos da cana-de-açúcar, do café e do ouro. No campo da agricultura, entre os anos de 1830 e 1880, a produção do café atingiu o seu ápice, sendo exportado para a Europa, proporcionou a estabilização da balança comercial a ponto de se dizer que o “Brasil é o Vale” (KOSHIBA, 1979). O desflorestamento generalizado neste ciclo perdurou por 100 anos (1780-1880) e foi considerada a principal atividade antrópica morfodinâmica. Já a partir do ano de 1920, a rizicultura expandiu-se nas várzeas e se tornou o principal produto agrícola.

Desde o início da colonização do Brasil, a região tem sido desmatada devido aos vários ciclos de exploração dos usos da terra, desde a exploração do Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*) até os ciclos da cana-de-açúcar, café e criação de animais (YOUNG, 2003).

Os principais produtores de arroz até os dias atuais são os municípios de São José dos Campos, Caçapava, Pindamonhangaba, Roseira, Guaratinguetá e Lorena (DEVIDE, 2013). Segundo o mesmo autor, as transformações da paisagem, sobretudo da condição inóspita das terras baixas do Vale do Paraíba, proporcionaram condições para o crescimento demográfico, a urbanização, industrialização e a implantação de ferrovias, porém, procederam em danos ambientais irreversíveis, descrita por DEAN (2007) como uma paisagem antropomorfizada.

No campo da industrialização, a região do Vale do Paraíba passou por três fases: iniciou nas duas últimas décadas do século XIX; a segunda, entre as duas grandes guerras (Jacareí, São José dos Campos, Taubaté e Guaratinguetá); e a fase atual, mais dinâmica, iniciada com a Usina Siderúrgica de Volta Redonda e a construção da Rodovia Presidente Dutra, se destacando os centros tecnológicos em São José dos Campos, Jacareí, Caçapava, Cruzeiro, Lorena e Pindamonhangaba, levando à concentração dos empregos e da renda nessas cidades.

Nessa região, em que o PIB estadual concentra 82,7% e, aproximadamente 27,7% do nacional, os setores automobilístico, aeronáutico, aeroespacial e bélico constituem os mais importantes setores da produção industrial nos municípios localizados no eixo da Rodovia Presidente Dutra, pelas atividades portuárias e petroleiras no Litoral Norte e pelo turismo na Serra da Mantiqueira, litoral e cidades históricas.

É notório que os avanços das fronteiras agrícolas dos centros urbanos e industriais exerceram e continuam exercendo elevada pressão sobre os recursos naturais, desencadeando implicações negativas econômicas, sociais e ambientais. Por outro lado, é no sudeste do Brasil que se situam os mais preservados remanescentes da Mata Atlântica, particularmente nos Estados de São Paulo e Paraná, localizados em escarpas de montanhas onde o acesso é dificultado pela topografia (LEITÃO-FILHO, 1993). No Vale do Paraíba do Sul, é nas

subdivisões das florestas da Serra do Mar e Serra da Mantiqueira que se encontram áreas preservadas, como podem ser observadas na Figura 3, as quais representam elevada importância no âmbito da conservação da biodiversidade, pois constituem tamanho suficiente para a manutenção do ecossistema (AGUIAR et al., 2003).

**Figura 3** - Distribuição espacial dos remanescentes de Floresta Atlântica localizados na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.



Fonte: COHIDRO 2014.

### 4.3 Variabilidade Climática

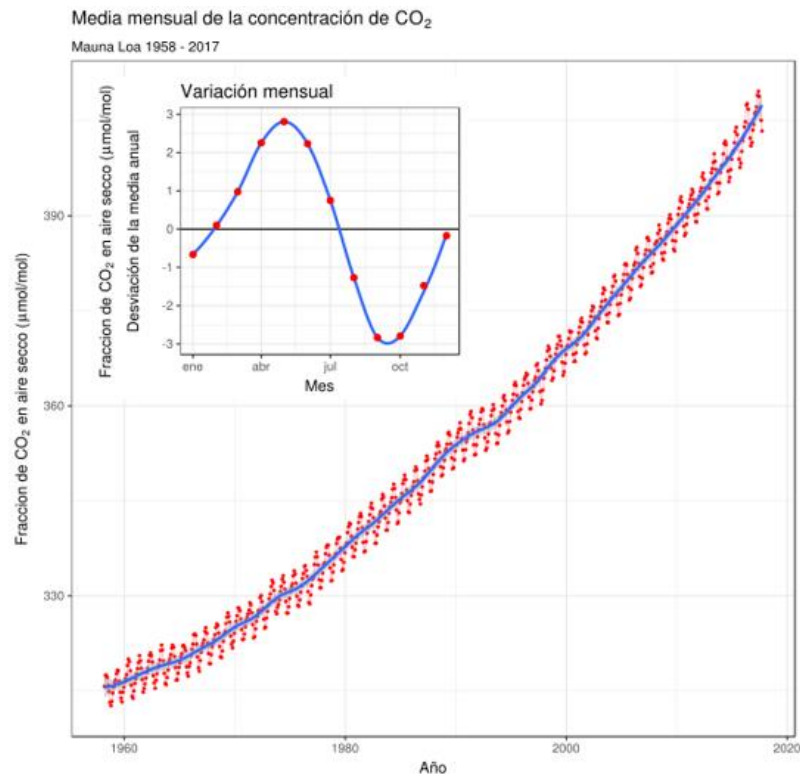
A literatura apresenta diversas definições a respeito da variabilidade climática, as quais se diferenciam de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade. O IPCC (2001b) define Mudança Climática (*Climate Change*) como as mudanças de clima no tempo devido a variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas (ações antrópicas). Por outro lado, autores ou grupos como *Framework Convention on Climate Change* adota para o mesmo termo a definição de mudanças associadas direta ou indiretamente a atividade humana que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período. A variabilidade climática pode ser definida como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica (ANGELOCCI et al, 2007).

O clima terrestre é uma importante variável do sistema natural. A variabilidade, embora seja uma componente da dinâmica climática, desencadeia a capacidade do clima influenciar a vida no planeta, a distribuição espacial das florestas úmidas, tropicais, temperadas e áreas desérticas, além de contribuir com papéis essenciais na organização do espaço geográfico, como em atividades desenvolvidas nos espaços agrários, vinculadas à geração de energia elétrica, associadas ao desenvolvimento industrial, aos meios de transportes e na qualidade dos ambientes e processos de ocupação social (MONTEIRO, 1976).

As causas da variabilidade do clima podem ser reunidas em três grandes grupos, as terrestres, astronômicas e extra-terrestres, das quais destaca-se a causa terrestre:

a) Terrestres: modificação da composição atmosférica, principalmente dos gases de “efeito estufa”, por causas naturais ou antropogênicas. Outra causa natural pode ser o vulcanismo, que libera cinzas e poluentes (sulfetos, por exemplo), afetando o balanço de energia, normalmente com tendência de resfriamento pela atenuação da radiação solar. A modificação da concentração dos gases de efeito estufa, por ação antropogênica atual, ou por motivos naturais, é um grande determinante de variação climática. O CO<sub>2</sub>, por exemplo, é um dos gases mais ponderáveis nesse caso e a variação da sua concentração na atmosfera tem sido muito grande ao longo do tempo. A Figura 4 mostra a série história das concentrações de dióxido de carbono atmosféricos medida diretamente em Mauna Loa, Havaí desde 1958 (Figura 4).

**Figura 4** - Variação estimada da concentração CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre.



Fonte: NOAA, 2007.

De acordo com Angelocci 2007, outra causa de origem terrestre é a modificação do tipo de nuvens formadas com o aquecimento.

Nuvens mais espessas, que poderiam se originar do aquecimento, têm efeito de absorção e reflexão de ondas curtas, diminuindo a incidência de radiação e tendo ação de retroalimentação (“feedback”) negativa sobre o aquecimento global. Diz-se que há um efeito de retroalimentação porque uma consequência original do aquecimento, nesse caso específico o aumento da nebulosidade, contribui a seguir para um efeito também sobre o balanço de energia radiante, sendo positivo se reforça o efeito de aquecimento, ou negativo se contribui para o resfriamento. No caso das nuvens espessas, a retroalimentação é negativa porque elas contribuem para a diminuição da irradiância solar e, conseqüentemente, em certo grau, com um efeito contrário ao aquecimento. Nesse mesmo sentido, pode se falar na modificação das condições da cobertura da superfície terrestre, como por exemplo o derretimento do gelo. O albedo (poder refletor da superfície para ondas curtas) da neve é bem maior do que da água, e o derretimento do gelo tem efeito alimentador positivo sobre o aquecimento global, pois causa maior absorção de radiação. Modificações na superfície de origem antrópica (exemplo, desmatamento, urbanização, substituição de um tipo de cobertura por outra, etc.) podem causar retroalimentação positiva ou negativa, dependendo do tipo de modificação (ANGELOCCI,2007).

#### 4.4 El Niño e La Niña

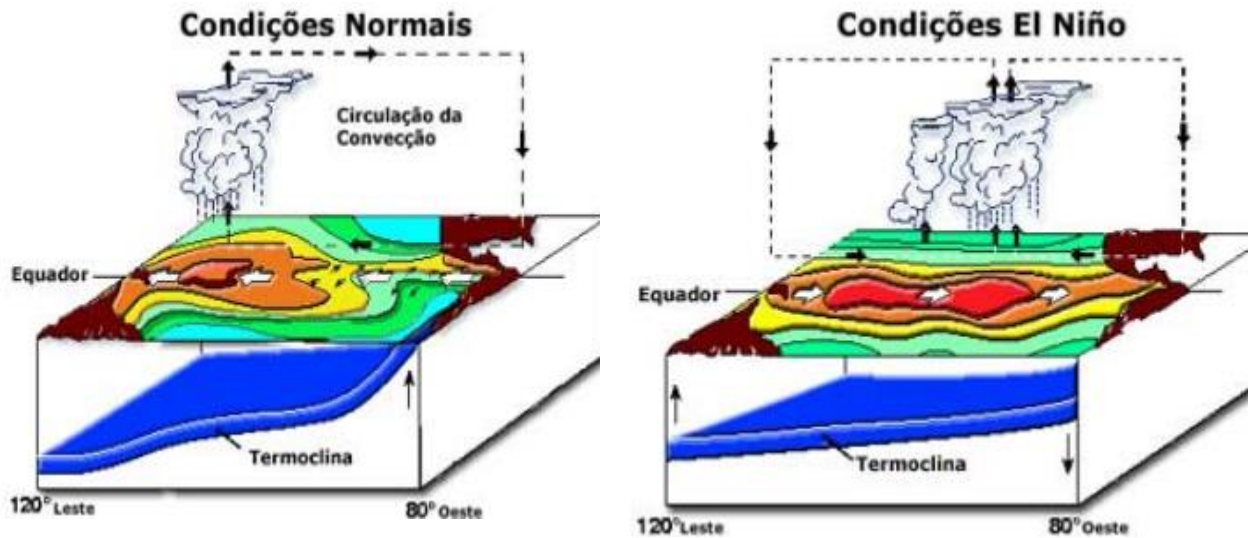
A palavra El Niño originou-se devido a ocorrência, em alguns anos, de condições que desfavoreceram a atividade dos pescadores, como a presença de águas quentes e que geralmente ocorria com maior intensidade no mês de dezembro, o que levou a associação do fenômeno com o nascimento do menino Jesus, denominando-o como El Niño (EN). O fenômeno EN é conhecido como o maior causador de condições meteorológicas anômalas (secas e chuvas extremas) afetando a circulação atmosférica em escala global (KATZ, 2002).

Entre 1868-1958, Sir Gilbert Walker realizou um estudo para compreender as possíveis causas das variações das monções na Índia. Em seu estudo, observou uma associação entre a pressão atmosférica em Taiti (Pacífico Central) e a que ocorre em Darwin (norte da Austrália). Quando a pressão aumenta em Taiti há um decréscimo na pressão em Darwin, e vice-versa, sendo denominada essa oscilação em 1928, de Oscilação Sul (OS) por Walker. Walker observou que, quando a pressão é muito alta em Taiti e baixa em Darwin, as chuvas são intensas na Austrália, sudeste Asiático e Índia, e quase inexistente na costa oeste da América do Sul. A situação das chuvas inverte quando a pressão diminui em Taiti e aumenta em Darwin e esse fenômeno inverso do EN é denominado La Niña (LN). O EN e LN representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical, e que tem consequências no tempo e no clima em todo o planeta (OLIVEIRA 2001).

A Figura 5 mostra a circulação no Oceano Pacífico Equatorial em anos sem a presença do EN ou LN, ou seja, anos normais e em condições de EN. Segundo Oliveira 2001, a célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície (ventos alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera é a chamada célula de Walker. No Oceano Pacífico, pode-se ver a região com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. Pode-se ver também a inclinação da termoclina, mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental. A termoclina é uma região onde há uma rápida mudança na temperatura do oceano. Esta região separa as águas mais quentes (acima desta região) das águas mais frias (abaixo desta região). Os ventos alísios "empurrando" as águas mais quentes para oeste faz com que a termoclina fique mais rasa do lado leste, expondo as águas mais frias.



**Figura 5** – Ilustração da Circulação no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais e em condições de El Niño.

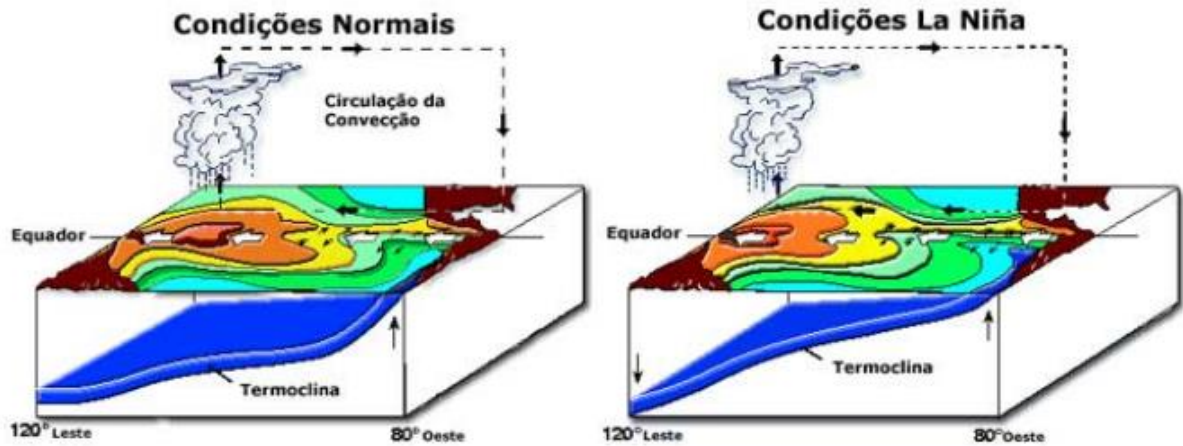


Fonte: O El Niño e Você – o fenômeno climático (OLIVEIRA 2001).

Ainda de acordo com Oliveira (2001), a LN representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EN, e que se caracteriza por um resfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical, devido ao aumento do gradiente horizontal de pressão o qual intensifica os ventos alísios de sudeste, intensificando o transporte de águas em direção ao Pacífico oeste, provocando o fenômeno da ressurgência, isto é, o afloramento de águas mais frias, desde a costa oeste da América do Sul até o Pacífico Central (NERY e MARTINS, 1998).

A Figura 6 mostra as condições normais e as condições de ocorrência do fenômeno LN. A termoclina se torna mais rasa a leste do Pacífico, ao mesmo tempo em que as águas quentes são represadas mais a oeste que o normal, alongando a Célula de Walker. Alguns dos impactos de LN tendem a ser opostos aos de EN, mas nem sempre uma região afetada pelo EN apresenta impactos significativos no tempo e clima devido à LN.

**Figura 6** - Ilustração da Circulação no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais e em condições de La Niña.



Fonte: O El Niño e Você – o fenômeno climático (OLIVEIRA 2001).

#### 4.5 Considerações sobre o clima na região da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul

A região da Mata Atlântica Paulista apresenta um regime de precipitação particular devido às suas características topográficas. O clima é caracterizado como subtropical quente, com temperatura média anual oscilando entre 18°C e 24°C e apresenta os máximos de precipitação nos pontos mais altos das serras do Mar e Mantiqueira, com precipitação de 2250 mm/ano (MARENGO e ALVES 2005). Segundo Carneiro (2013), os sistemas que atuam nessa região são as circulações de brisa vale-montanha e brisa marítima, os sistemas convectivos e os sistemas sinóticos. Satyamatury et al., (1998) observou os sistemas meteorológicos de escala sinótica (~1.000 Km) que atuam sobre a região da Serra do Mar do Estado de São Paulo, onde estes sistemas podem intensificar ou inibir nuvens convectivas, elevar ou diminuir a temperatura e causar diversos fenômenos meteorológicos que afetam a região. As condições oceânicas, principalmente a temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Sul Oeste, ditam a intensidade e a duração dos sistemas sinóticos. Os fenômenos meteorológicos associados à ocorrência de chuva são importantes para a região com dois tipos de precipitação, como a chuva intensa e prolongada que frequentemente está associada à ZCAS ocorrendo no verão e o segundo é a chuva de duração mais curta e de alta intensidade.

Os sistemas de escala sinótica como os sistemas frontais e a ZCAS são os principais responsáveis pela precipitação na região Sudeste.

**Figura 7** – Padrão da Zona de Convergência do Atlântico Sul.



Fonte: Climatempo, 2017.

A ZCAS é definida como uma região de alta variabilidade convectiva posicionada a leste da Cordilheira dos Andes com orientação noroeste-sudeste estendida desde o sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, centro sul da Bahia e prolonga-se até o Atlântico Sudoeste (KODAMA, 1992; CARVALHO et al., 2004). A variabilidade espacial e temporal da ZCAS tem papel fundamental para a distribuição dos extremos de chuvas na região Sudeste (CARVALHO et al., 2004). A frequência e a intensidade desses eventos são fatores importantes no total de precipitação em determinada estação do ano, fazendo com que ela seja considerada mais seca ou mais chuvosa que a normal climatológica.

Com a destruição da vegetação natural da Mata Atlântica, estudos mostram que desencadeou modificações no clima, até então, com uma baixa amplitude térmica característica; o clima sempre úmido, baseado em chuvas convectivas originadas da evapotranspiração da floresta pluvial, limitava o impacto dos sistemas frontais (DANTAS & COELHO NETTO, 1996).

O regime dos ventos do Vale do Paraíba mostra uma predominância de calmarias e, secundariamente, ventos de sentido NE. Eventualmente registram-se ventos de Sudeste (SE) ou Sudoeste (SW).

O Sudeste é uma região úmida no verão, devido ao sistema de monção da América do Sul (Vera et al., 2006b), e seca no inverno. Por exemplo, nos meses de maio a agosto, predominam os sistemas frontais e são meses mais frios e secos, caracterizando um período de déficit de chuva. Os baixos totais pluviométricos no inverno estão associados a atuação do ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul), pois nesta estação tal sistema alcança sua posição mais oeste, se estendendo até a região sudeste do Brasil. Já nos meses de setembro a abril, há influência de outros sistemas, além das frentes frias que atuam na região, sendo os meses de dezembro a março os mais chuvosos. Eventos de chuva ocorrem quando os sistemas frontais e ciclones subtropicais e extratropicais conseguem se sobrepor ao ASAS (Revista Climanálise [http:// www.cptec.inpe.br/revclima/revista/](http://www.cptec.inpe.br/revclima/revista/) e Relatório Climático do GrEC/USP <http://www.grec.iag.usp.br>). Sistemas como linhas de instabilidade pré-frontais, CCMs, bloqueios atmosféricos e brisas também atuam nessa região. No município de São Paulo a brisa marítima contribui para instabilizar o ar e, muitas vezes, propicia chuviscos. Porém, quando interage com outros sistemas atmosféricos pode favorecer eventos com chuvas intensas.

#### **4.6 Aplicação de Índices Climatológicos**

Na região tropical como a Mata Atlântica, a sazonalidade climática, especialmente precipitação, tem fortes influências no meio e variações sazonais significativas. Na década de 70, episódios de secas como consequência das alterações climáticas, em várias regiões do globo terrestre, evidenciou a vulnerabilidade do homem a esse risco climático, demonstrando a necessidade de melhor entendimento, previsão de ocorrência e uso correto de medidas mitigatórias. Alguns eventos meteorológicos, como a seca, e o excesso de chuva, são de extrema importância devido a seus impactos no sistema hidrológico, ecológico e socioeconômico.

Muitos estudos sobre mudanças climáticas têm demonstrado certa polarização da ocorrência das chuvas para diferentes regiões do planeta, tendendo ao aumento da ocorrência de chuvas intensas e da severidade das secas meteorológicas (MARENGO et al., 2010).

Na Climatologia, o uso de índices é de grande importância, possibilitando conhecer a distribuição dos eventos nas diferentes regiões de estudo, na qual a influência do ciclo hidrológico tem papel fundamental.

O Índice de Precipitação Padronizado (SPI) foi proposto para quantificar o déficit e excesso de precipitação nas diversas escalas de tempo, e comparar regiões com diferentes características climáticas. O SPI, para um dado período de tempo é a diferença entre a precipitação observada e a média climatológica, dividida pelo desvio padrão. Este índice pode ser calculado para diferentes escalas de tempo, por exemplo, meses, trimestres, semestres, anos e vários anos, permitindo a análise da pluviosidade de estações do ano, períodos secos e úmidos, e anos hidrológicos (MCKEE et al. 1993).

Através de estudos de dados históricos de 1960 a 2006 e da aplicação do SPI na bacia do rio Minjiang na China, foi possível identificar cinco das seis maiores inundações ocorridas, comprovando uma correlação alta entre os resultados da SPI e os fatos históricos (WANG et al., 2015). Estudos realizados por Tadesse et al. (2005), utilizando o SPI na caracterização dos episódios de seca ocorridos na região de Nebraska, EUA, entre 1950 e 1999, indicam que a maioria dos casos dessa adversidade meteorológica foi precedida por valores negativos do Índice de Oscilação Sul (IOS).

Li (2008), através de seu estudo na região sul da Amazônia, entre os anos de 1970 e 1999, identificou uma tendência de queda nos valores do SPI, enquanto para o estado de São Paulo, apesar de existirem trabalhos como os desenvolvidos por Sansigolo (2004), que demonstrou através de análise comparativa entre o desempenho do índice de seca de Palmer (Palmer, 1965) e o SPI na localidade de Piracicaba entre os anos 1917 a 2001; e o de Blain (2005), o qual avalia a aplicação do SPI nas condições climáticas do estado, relacionando-o a parâmetros do balanço hídrico climatológico de Thorntwaite e Mather (1955); a investigação de tendências climáticas bem como de possíveis relações entre a variabilidade temporal desse índice e fenômenos de grande escala, tais como o El Niño/Oscilação Sul (ENOS), parecem ser ainda pouco exploradas.

O trabalho desenvolvido por Nery 2004, o qual aborda a distribuição da precipitação pluvial no estado de São Paulo, explica que a região Sudeste é caracterizada pela atuação de sistemas que associam características de sistemas tropicais com sistemas típicos de latitudes médias e que durante os meses de maior atividade convectiva, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que influenciam o regime de chuvas dessas regiões (QUADRO e ABREU, 1994).

Outro índice climatológico é o Índice de Anomalia de Chuva (*RAI*), o qual foi desenvolvido por Rooy (1965), e consiste em um método capaz de classificar e ordenar as anomalias de precipitação em relação à condição normal, podendo essas anomalias serem negativas ou positivas. Estes índices têm sido amplamente utilizados para avaliação de anomalia de chuva, estudos desenvolvidos por Marcuzzo (2010) no estado de Tocantins, concluíram que o *RAI* é um método recomendado para acompanhar a variabilidade da precipitação interanual do estado, o que possibilitou verificar as mudanças no regime de chuvas. Para Gonçalves (2006) o índice mostrou-se eficaz, pois possibilitou a determinação de secas em regiões que apresentam vulnerabilidade a eventos extremos máximos e mínimos no estado de Pernambuco.

Análise da variabilidade climática se reveste de importância quando se analisa os impactos do clima em áreas de interesse socioeconômico e ambiental, como, por exemplo, a prática inadequada de utilização do solo em bacias rurais, a partir da remoção da cobertura vegetal nativa para inserção de pastagens ou outras culturas exóticas. É através destes tipos de análises que se torna possível conhecer os problemas e processos de ordem climática atuantes na região e ao mesmo tempo buscas de soluções ou a minimização destes por meio de planejamento de ações (SILVA et al., 2010; SOUZA et al., 2013).

Os índices *SPI* e *RAI* são componentes de estudo neste trabalho com objetivo de avaliar a variabilidade da precipitação na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul Paulista, e são mais detalhados no item 5.2.

#### **4.7 Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**

O uso de produtos e técnicas derivados de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas análises ambientais tem se tornado uma prática cada vez mais frequente entre as diversas áreas de pesquisa. Em relação a observação da cobertura vegetal, estas abordagens contribuem substancialmente devido a agilidade, eficiência e confiabilidade que proporcionam (JENSEN, 2009; PONZONI et al., 2012).

Há uma diversidade de sensores a bordo de plataformas orbitais (satélites) que disponibilizam informações sobre a superfície terrestre, fornecendo dados com diferentes resoluções espaciais e temporais. A resolução espacial define o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem, representando a capacidade que o sensor possui para discriminar os alvos em função do seu tamanho. A resolução temporal, definida como a

frequência com que a superfície terrestre é observada, possibilita uma grande vantagem para estudos ambientais devido a capacidade de se realizar um monitoramento a longo prazo (MENEZES e ALMEIDA, 2012).

A Tabela 1 mostra de forma comparativa as características de alguns satélites, como o LANDSAT, o qual apresenta resolução espacial de 30 m, ou seja, distingue alvos que apresentam, no mínimo, essa extensão, já o *QUICK BIRD* apresenta resolução espacial de até 0,61 m, uma excelente resolução, principalmente para análises urbanas. A resolução temporal do LANDSAT, por exemplo, possui repetitividade de 16 dias; dessa maneira, a cada 16 dias uma mesma região na superfície terrestre é recoberta pela passagem do mesmo, enquanto que o satélite *QUICK BIRD* apresenta repetitividade de 1 a 3 dias (ROSA, 2003).

O sensor MODIS, utilizado neste estudo, encontra-se a bordo das Plataformas Espaciais TERRA e AQUA e possui diversas vantagens em relação aos satélites e sensores convencionais. Dentre as vantagens pode-se citar o fato dos produtos e imagens serem distribuídos já corrigidos geograficamente e radiometricamente, minimizando a influência de nuvens e aerossóis que muitas vezes interferem na utilização dos produtos orbitais. A disponibilidade desses produtos apresentarem várias opções de resolução espacial (moderada a global); e talvez a mais importante, seja a distribuição gratuita desses produtos ou imagens pela internet. Além de bandas individuais, os usuários podem ter acesso a vários tipos de produtos provenientes do sensor MODIS, que possibilitam pesquisas sobre o balanço energético, cobertura terrestre, e produtos destinados à vegetação.

**Tabela 1** - Comparação de sensores diversos.

<b>SATÉLITE/SENSOR</b>	<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>	<b>RESOLUÇÃO TEMPORAL</b>
<b>TERRA/MODIS</b>	500 m e 1 km	16 dias
<b>LANDSAT/TM, ETM E OLI</b>	30 m	16 dias
<b>IKONOS-II/PAN E MS</b>	1 m a 4 m	3 dias
<b>QUICK BIRD/PAN E MS</b>	até 0,61 m	3 a 10 dias

Fonte: Adaptada de Rosendo 2005.

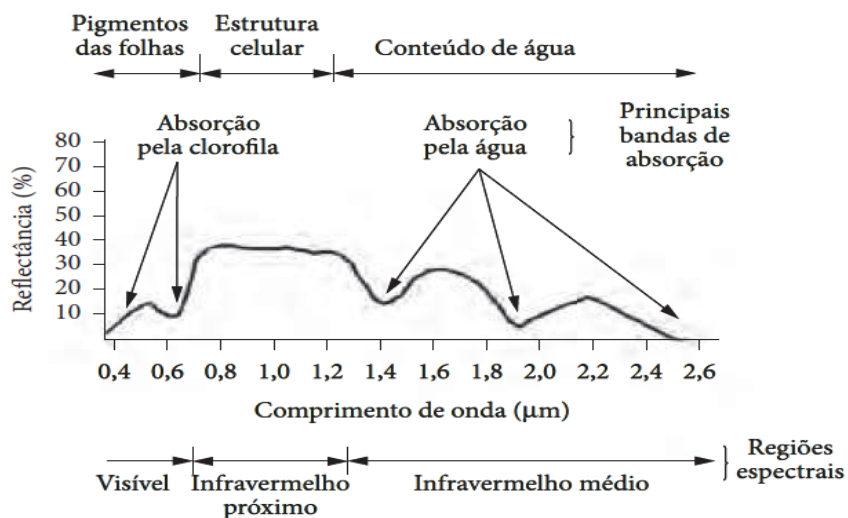
Ao utilizar dados de sensoriamento remoto para o estudo de determinado alvo, deve-se ter em mente a existência de uma série de variações na energia eletromagnética ocasionadas pela fonte de energia, pelo meio em que a energia é propagada, pelos alvos imageados, pelo sistema sensor que capta a energia proveniente do alvo (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

As folhas são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado por sensores ópticos (COLWELL, 1974), no qual as propriedades espectrais de uma única folha dependem de sua composição química, morfologia e da estrutura interna (distribuição, quantidade de tecidos e espaços intercelulares).

Em relação a outros alvos naturais, o padrão espectral da vegetação é exclusivo e dinâmico, pois apresenta, além do seu padrão de resposta espectral, também a característica temporal destes alvos, associada à fenologia das espécies. Desta forma, o sensoriamento remoto permite estender as análises da vegetação em diferentes escalas temporais, desenvolvendo estudos sobre o comportamento sazonal e mudanças da composição biofísica e bioquímica de dosséis (STONE et al., 1994; MORA & IVERSON, 1997; JIN & SADER, 2005).

A Figura 8, apresenta o comportamento espectral de uma folha, onde é possível observar a divisão em três áreas do espectro eletromagnético de 0,3 a 2,5  $\mu\text{m}$ : região do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio.

**Figura 8** - Ilustração do comportamento espectral da vegetação.



Fonte: Rudorff (2008).



A faixa do visível (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) é a região onde os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral. Esses pigmentos (clorofilas, carotenos e xantofilas), geralmente encontrados nos cloroplastos variam de espécie e segundo a maturidade da folha.

A faixa do infravermelho próximo (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) é a região onde existe uma pequena absorção da Radiação Eletromagnética (REM) e um considerável espalhamento interno na folha. A absorção da água é geralmente baixa nessa região e a reflectância espectral é quase constante.

A faixa do infravermelho médio (1,3 a 2,6  $\mu\text{m}$ ) é onde existe o predomínio da absorção pela água líquida. A absorção da radiação nesta região é proporcional a quantidade de água presente na folha.

Para Ponzoni (2001), a “aparência” da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. De acordo com Rosendo (2005), o que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, de um determinado tipo de vegetação, não pode ser explicado somente pelas características intrínsecas dessa vegetação, inclui também a interferência de vários outros parâmetros e fatores tais como:

- A atmosfera, caracterizada por uma série de propriedades e parâmetros, incluindo as concentrações espacialmente dependentes e as propriedades seletivas de absorção e de espalhamento dos diversos comprimentos de onda por parte dos constituintes da atmosfera, como vapor d' água, ozônio, aerossóis etc.;
- A fonte de radiação, que inclui a irradiância espectral, a localização do ângulo zenital e azimutal solar;
- As características do dossel se dão por várias propriedades e parâmetros ópticos (reflectância e transmitância), estruturais (formas geométricas e posicionamento dos componentes da vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores etc.), geometria da planta e parâmetros ambientais (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação);
- O solo, que também é caracterizado por uma série de propriedades e parâmetros tais como reflectância, absorvância, rugosidade superficial, textura e umidade.

Ainda segundo Rosendo (2005), a reflectância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação, os mais comumente empregados utilizam a informação contida nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, as quais são combinadas sob a forma de divisões, para minimizar a variabilidade causada pelos diferentes fatores externos.

De acordo com Rosa (2007), as faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, por conter mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação; portanto, estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma. Os índices de vegetação são transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al., 1986). Ainda de acordo com o referido autor, tais índices realçam, em geral, o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, Índice de Área Foliar, percentagem de cobertura vegetal. Incluem também elevados graus de correlação com o vigor da vegetação verde, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade. As técnicas de realce de imagem por meio de índices de vegetação aumentam o brilho das áreas vegetadas, possibilitando a melhoria da aparência da distribuição espacial de informações das imagens, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional.

#### **4.8 Sensor MODIS**

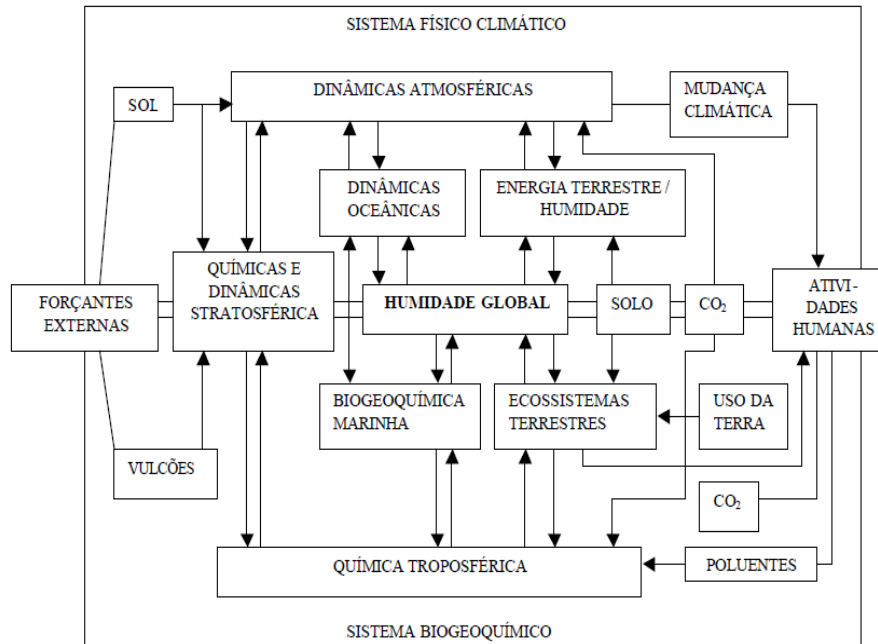
A comunidade científica liderada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), conserva um programa de longa duração de pesquisas de observação da superfície terrestre, oceanos e atmosfera, e suas interações, contidas nas medições do “*Earth Observing System*” (EOS), financiado pelo programa “*Earth Science Enterprises*” (ESE), que tem como objetivo principal, determinar como a Terra está mudando e quais as conseqüências para a vida neste planeta, ampliando um entendimento de seu funcionamento como um sistema único e interligado (Figura 9).

No âmbito da modelagem das dinâmicas globais, é necessário um grande gama de informações devendo ser coletadas diariamente por um longo período de tempo, de maneira a representar cada região da superfície terrestre, oceanos e atmosfera. Para avançar na melhoria e aquisição de dados, diversos instrumentos têm sido desenvolvidos, como por exemplo, o sensor MODIS (NASA, 2002).

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA, formalmente conhecido como EOS-AM. Este sensor foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos

e uma cobertura global para cada 1-2 dias, conforme apresentado na Tabela 2 (JUSTICE et al., 2002).

**Figura 9** - Ilustração das diferentes inter-relações entre os sistemas.



Fonte: Adaptada de Aguiar 2013.

O satélite Terra possui órbita circular do Norte para o Sul, tem seu horário de passagem pela linha do Equador às 10h30min, sendo por isso denominado EOS-AM, enquanto que o satélite Aqua possui órbita do Sul ao Norte passando pela linha do Equador às 13:30 sendo chamado de EOS-PM. Desse modo, Terra e Aqua monitoram toda a superfície da Terra em um período de um a dois dias, adquirindo dados em 36 faixas espectrais, ou grupos de comprimentos de onda.

O MODIS imagea, simultaneamente, em cada banda, 10 fileiras de pixels para os detectores de 1 km; 20 para os detectores de 500 m e 40 para os detectores de 250 m de resolução espacial. Cada fileira por sua vez, corresponde a uma simples linha imageada dos dados MODIS, a qual é nominalmente composta de 1354, 2708 e 5416 observações dos dados de 1 km, 500 m e 250 m, respectivamente (WOLFE et al., 2002).

**Tabela 2** - Especificações técnicas do sensor MODIS.

<b>Órbita</b>	705 Km, síncrona com o Sol, polar. 10:30 a.m descendente; 1:30 p.m ascendente
<b>Alcance Espectral</b>	0.4-14.4 $\mu\text{m}$
<b>Cobertura Espectral</b>	$\pm 55^\circ$ , 2330 km em fileira (“scans” contínuos em nadir no equador)
<b>Resolução Espacial</b>	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir
<b>Precisão Radiométrica</b>	5% Absoluto, $<3\mu\text{m}$ ; 1% Absoluto, $>3\mu\text{m}$ ; 2% de reflectância
<b>Cobertura de repetição</b>	Diária, a norte da latitude $30^\circ$ e a cada dois dias, para latitudes inferiores a $30^\circ$
<b>Quantização</b>	12 bits
<b>Taxa de Dados</b>	6.2 Mbps (média), 10.8 Mbps (dia), 2.5 Mbps (noite)
<b>Força</b>	6.2 Mbps (média), 10.8 Mbps (dia), 2.5 Mbps (noite)

Fonte: Adaptada de Barker et al. (1992, p. 3-4) e Justice et al. (2002a, p.4).

O sensor MODIS é constituído de um instrumento eletro-óptico de varredura mecânica (*Whiskbroom*) que utiliza o movimento do satélite para fornecer um imageamento na direção de voo (*along track*) (Figura 10).

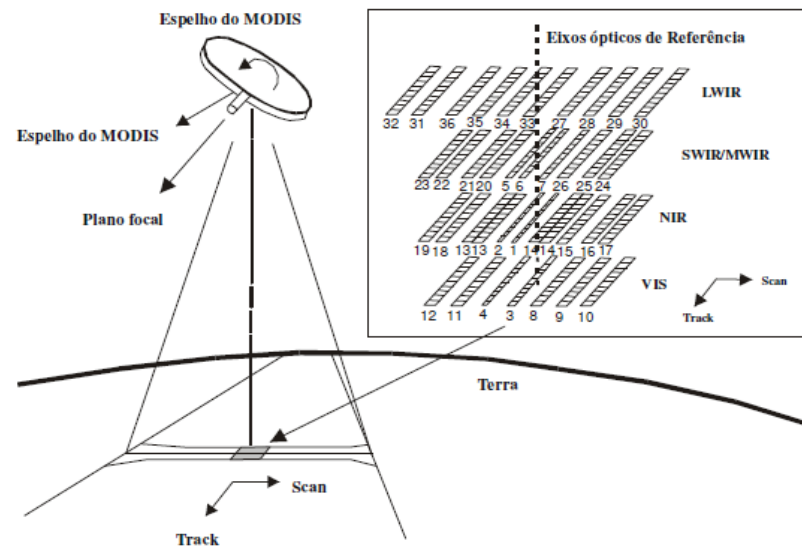
A radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida da superfície terrestre é direcionada para um telescópio pela rotação de um espelho de duas faces. Meia revolução do espelho leva aproximadamente 1,477 seg, produzindo o movimento de imageamento *across-track*. A energia é então, focada para os diferentes detectores cobertos por estreitos filtros espectrais.

Dentre os diversos produtos disponibilizados pelo sensor MODIS, se destacam os produtos relacionados à vegetação, em especial os produtos MOD13Q1 e MOD15A2, com amplas aplicações em estudos de cobertura vegetal. O produto MOD13Q1 possui os índices NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e EVI (Índice de Vegetação Melhorado). Estes são dados que fornecem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, de modo a monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte a detecção de mudanças e interpretações biofísicas e da fenologia. O

produto MOD15A2 se refere aos dados de (LAI) Índice de Área Foliar e (FPAR) Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa. O LAI representa uma importante propriedade estrutural do dossel da vegetação, medindo a área de folhas por unidade de área de terreno. O FPAR mede as proporções da radiação disponível nos comprimentos de onda que a vegetação fotossinteticamente ativa absorve (400 a 700 nm).

São variáveis biofísicas que descrevem a estrutura do dossel e estão relacionados a processos funcionais de taxas de energia e troca de massa.

**Figura 10** - Ilustração geral da geometria de imageamento do sensor MODIS.



Fonte: Adaptada de Wolfe et al, 2002.

#### 4.9 Aplicação de índices de vegetação do sensor MODIS nos estudos sobre a dinâmica da vegetação

Diversos estudos têm abordado a utilização de dados de sensoriamento remoto no monitoramento da vegetação. Huete et al., (2002) avaliaram o produto oriundo do sensor MODIS como os índices NDVI e EVI com resoluções de 1 km e 500 m e período de 16 dias, tanto relacionado a perspectivas radiométricas quanto biofísicas em diferentes tipos de vegetação (capim-arbusto, savanna e floresta tropical). Os resultados demonstraram a

eficiência dos dados multitemporais do sensor em representar a sazonalidade da fenologia sobre os diferentes biomas encontrados na América do Norte e do Sul.

Wagner (2013) analisou a dinâmica temporal de índices de vegetação no pampa e identificou as relações que se estabelece entre eles e a variabilidade interanual. Liesenberg et al., (2007) também utilizou dados de NDVI e EVI para caracterizar a dinâmica sazonal de cinco fisionomias do bioma cerrado brasileiro. De acordo com o autor, os resultados indicaram que as fisionomias de floresta estacional decídua apresentaram uma dinâmica sazonal muito marcante em função da perda de folhas da estação chuvosa para a seca (substancial redução nos índices) e do rápido verdejamento com o início da precipitação no final de outubro (rápido incremento de NDVI e EVI) mostrando a potencialidade da utilização dos dados do sensor MODIS para o monitoramento sazonal do bioma cerrado. Ribeiro et al., (2009) observaram que a biomassa verde acumulada, a qual é representada pelos máximos dos valores de EVI, apresenta semelhança com variáveis do clima, ou seja, maiores valores encontrados para EVI durante o verão e menor no inverno.

Zarista (2013) analisou a dinâmica de inundação no Pantanal através dos índices LSWI e EVI do produto MOD13Q1 do MODIS em que os modelos de regressão permitiram a separação de áreas inundadas das não inundadas em função da cobertura vegetal e mostraram que os dois índices EVI e LSWI do MODIS são eficientes para o monitoramento de áreas alagadas. Becerra et al. (2015) utilizaram índices NDVI e LSWI para analisar as relações das sazonalidades da vegetação no bioma Caatinga com a precipitação revelando a eficácia do LSWI como indicador da variabilidade do conteúdo de umidade da vegetação.

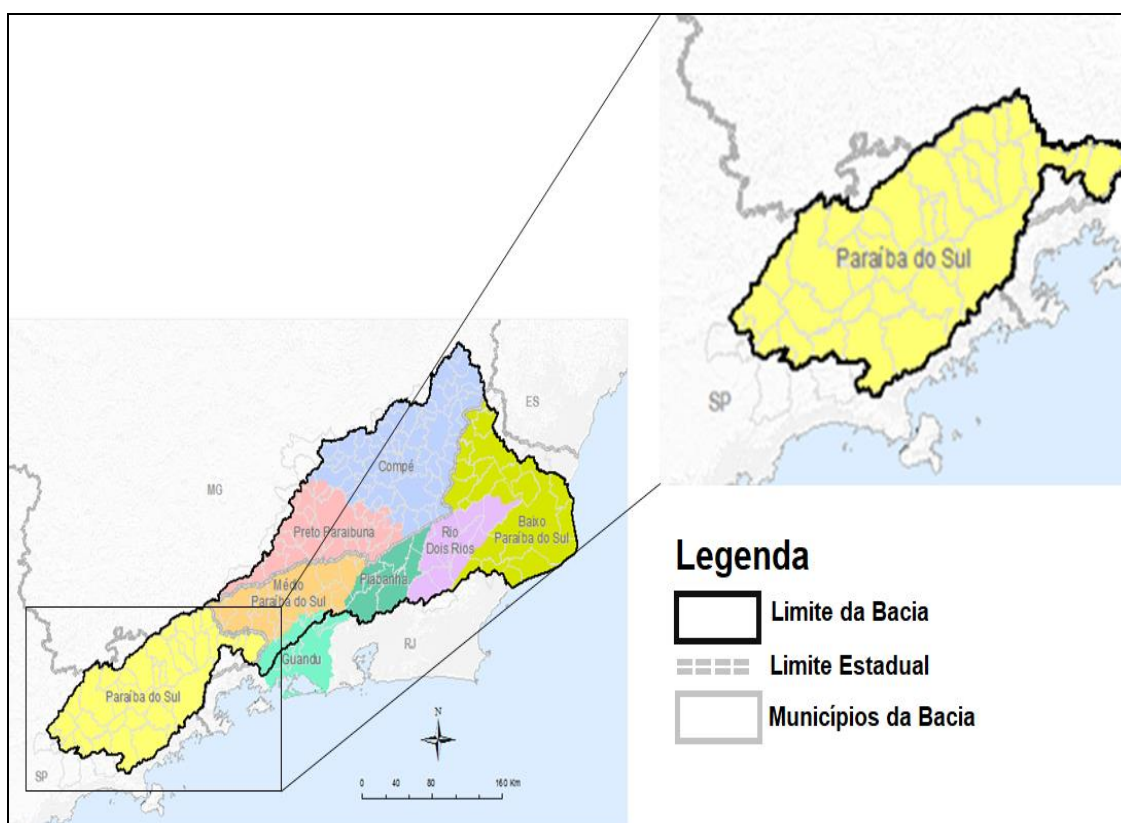
Na Mata Atlântica, Dalla Nora (2010), avaliou a dinâmica sazonal de duas formações florestais do estado do Rio Grande do Sul Parque Nacional do Turvo (PET) e na região meio-oeste do estado de Santa Catarina Parque Nacional das Araucárias (PNA) através dos índices NDVI e EVI do sensor MODIS e conseguiu analisar a dinâmica espectral e temporal dos dados de vegetação, indicando potencialidade da utilização do sensor para o monitoramento contínuo das formações florestais de Mata Atlântica. Santana (2016), mostrou em seu trabalho a variabilidade da vegetação através do EVI para Mata Atlântica na cidade de Cunha-SP em dois anos 2007 e 2008, anos que o evento de La Niña foi considerado forte. Poucos trabalhos abordam o estudo da variabilidade do clima e sua relação com a vegetação na região da Mata Atlântica Paulista, sendo uma região de extrema importância a ser investigada.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Área de Estudo

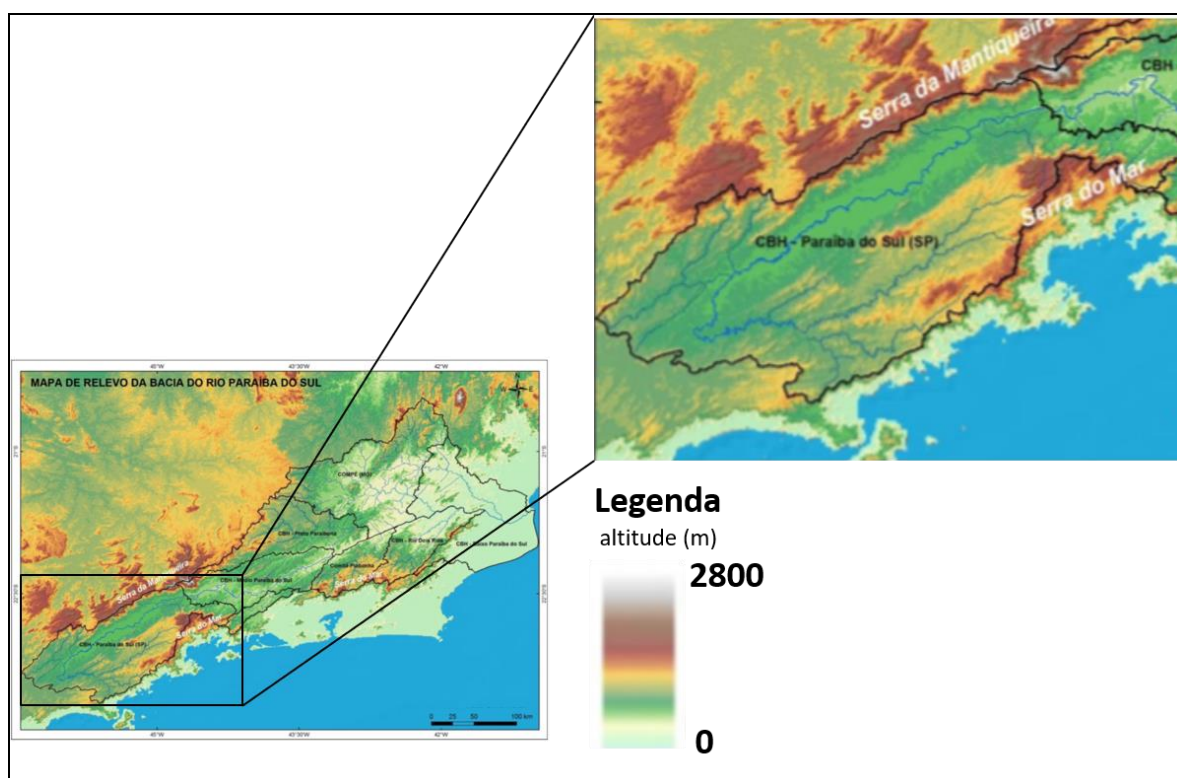
A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul compreende a uma área de 55.500 Km<sup>2</sup> e está localizada na região hidrográfica do Atlântico Sudeste, entre as latitudes 20°26' e 23°00' e longitudes 41°00' e 46°30' (Figura 11). Exibe uma forma alongada, limitada ao Norte pelas bacias dos rios Grande e Doce e pelas serras da Mantiqueira, Caparaó e Santo Eduardo; a Nordeste pela bacia do rio Itabapoana; ao Sul, pela Serra dos Órgãos e pelos trechos paulista e fluminense da Serra do Mar, e a Oeste, pela bacia do rio Tietê, da qual é separada por meio de diversas ramificações dos maciços da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira (AGEVAP, 2015). Está situada numa região de relevo muito acidentado, atingindo mais de 2.000 m, com destaque para o Pico das Agulhas Negras com 2.787 m de altitude, situado no Maciço do Itatiaia, (Figura 12). Mas é na porção Paulista que ocorre um dos maiores remanescentes do bioma Mata Atlântica do Brasil, apresentando uma grande importância ecológica.

**Figura 11** - Delimitação da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.



Fonte: Adaptada de CEIVAP 2017.

**Figura 12** – Mapa de relevo da bacia do rio Paraíba do Sul



Fonte: AGEVAP, 2014.

Segundo Almeida (1968) a área da bacia do rio Paraíba do Sul situa-se dentro do chamado Planalto Atlântico, e inclui várias subdivisões naturais, com diversas feições morfológicas distintas, o que proporcionou uma grande diversidade de formas de relevos.

Na região, os solos para o domínio Mares de Morros, apresentam na sua morfologia do relevo, predomínio de vertentes convexo-convexas e convexo-côncavas alinhadas em forma de espigões, intensamente dissecadas pela erosão fluvial, entremeadas por vales de fundo aplainado, formados por terraços e leitos maiores, onde se encaixam cursos d'água pouco expressivos. As elevações e os fundos dos vales formam dois conjuntos pedológicos diferentes. Nas elevações, dominam os Latossolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos Tb distróficos típicos e também Cambissolos Háplicos Tb distróficos latossólicos, enquanto os fundos de vale apresentam, nos terraços, Argissolos de textura muito argilosa, sendo os leitos maiores constituídos por solos aluviais de textura geralmente fina, algumas vezes em associação com Neossolos Flúvicos, Neossolos Flúvicos distróficos gleicos, Gleissolos Háplicos Tb distróficos típicos. Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos podem ser encontrados nos topos, encostas onduladas e planos inclinados. Os solos de topos

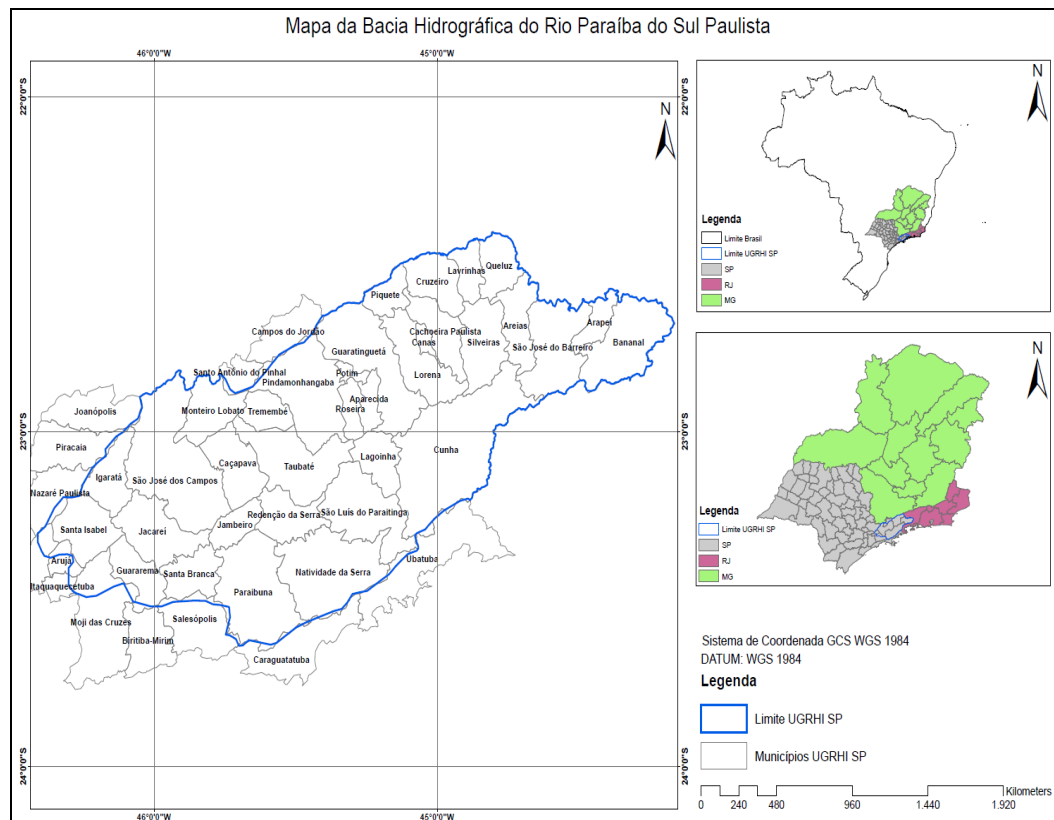


aplainados mais extensos são os mais elevados da paisagem; a sua topografia é plana e correspondem a Latossolos amarelados (matriz mais clara que 2,5YR) geralmente mais profundos e desenvolvidos, enquanto, em posições inferiores, sobretudo no terço inferior das elevações, o Latossolo Vermelho Amarelo mostra-se menos amarelado e geralmente profundo, em pedoformas convexo convexas, ou mais raso, em pedoformas convexo-côncavas (AGEVAP, 2014).

## 5.2 Informações Meteorológicas

Para avaliar e compreender a variabilidade da precipitação foi utilizado o limite da região da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul Paulista como representado na Figura 13, e criado o banco de dados através de 32 séries meteorológicas (Tabela 3) da Agência Nacional das Águas (ANA), os dados foram obtidos através do site HIDROWEB para um período de 1976 a 2010 na região de estudo.

**Figura 13** - Delimitação da UGRHI para análise da variabilidade da precipitação pluvial através dos índices climáticos SPI e RAI.



Fonte: Autoria própria.

Foram selecionadas as estações que não apresentaram falhas em períodos de medições ou com ausência de dados em alguns anos, logo optou-se em trabalhar apenas com as estações que apresentavam medições de forma contínua e dentro do período escolhido de análise, o que reduziu o número de estações pertencentes de dentro do limite da bacia. Para evitar lacunas na distribuição dessa variável na região de estudo, foi aplicando o método de interpolação de *Krige*. De acordo com Haberlandt 2007, embora existam outros métodos para gerar informações espaciais de medidas pontuais, a utilização do método de *krigagem* vem mostrando resultados mais realistas do que outros métodos interpolativos comumente utilizados.

O método de interpolação de *Krige* estima o valor desconhecido utilizando um modelo da variação dos dados em função da distância, conhecido como semivariograma (CRESSIE, 1993; STEIN; MEER; GORTE, 2002; LI; HEAP, 2008). Este método realiza a interpolação por meio da análise da variação dos dados amostrais associado à distância entre eles. A *Krigagem* é um método com forte base estatística, da área de Geoestatística, e que utiliza o *Best Linear Unbiased Estimator* (melhor estimador linear não viesado) (FAZIO,2013).

Segundo o mesmo autor:

A *Krigagem* utiliza os dados amostrais e a relação espacial que os dados têm entre si, que é a variação quadrática esperada dada uma distância. Essa relação é chamada de semivariograma. Além disso, a *Krigagem* leva em consideração o valor médio dos dados, chamado de tendência. Utilizando essas duas informações, tendência e semivariograma, a *Krigagem* realiza a interpolação através de uma média ponderada dos dados amostrais de forma que o erro esperado seja minimizado. A *Krigagem* divide o dado em duas partes: uma parte chamada de tendência, que é o valor esperado ou valor médio da interpolação, e outra chamada de ruído, que é uma parte imprevisível, cuja média é igual a zero (FAZIO,2013).

**Tabela 3** - Informações das estações utilizadas para o cálculo dos índices SPI e RAI.

Pontos dentro do limite da UGRHI			Pontos fora do limite da UGRHI					
Cidades	LON	LAT	Cidades	LON	LAT	Cidades	LON	LAT
Cachoeira Paulista	-44,97	-22,68	Santa Rita de Jacutinga	-44,06	-22,05	Soledade de Minas	-45,07	-22,08
Aparecida	-45,25	-22,95	Santa Rita de Jacutinga	-44,06	-22,05	São Lourenço	-45,02	-22,08
Monteiro Lobato	-45,83	-22,93	Bom Jardim de Minas	-44,02	-22,01	São Lourenço	-45,05	-22,09
Joanópolis	-46,27	-22,93	Santa Rita de Jacutinga	-44,02	-22,03	Soledade de Minas	-45,00	-22,10
Cunha	-44,85	-23,15	Bom Jardim de Minas	-44,01	-22,02	Soledade de Minas	-45,03	-22,05
Cunha	-45,10	-23,03	Santa Rita de Jacutinga	-44,03	-22,02	Ipuiuna	-46,10	-22,07
Taubate	-45,57	-23,03	Santa Rita de Jacutinga	-44,10	-22,02	Ipuiuna	-46,07	-22,07
Paraibuna	-45,68	-23,37	Soledade de Minas	-45,07	-22,03	Congonhal	-46,02	-22,08
Caraguatatuba	-45,43	-23,63	Soledade de Minas	-45,07	-22,07			
Atibaia	-46,55	-23,15	Soledade de Minas	-45,06	-22,07			
Igarata	-46,15	-23,20	Soledade de Minas	-45,01	-22,07			
Campos do Jordão	-45,47	-22,68	Soledade de Minas	-45,02	-22,08			

Fonte: ANA, 2017.

O monitoramento da ocorrência de eventos extremos (como seca e chuva intensa) tem sido realizado através de índices climáticos. A compreensão de eventos como seca, a qual refere-se a precipitação abaixo da normal climatológica esperadas e chuva intensa sendo a ocorrência da precipitação em um grande volume num curto espaço de tempo, são de extrema importância pois são eventos que impactam de forma significativa diversos setores, afetando não somente a economia, como também as dinâmicas naturais na região.

Em relação a escolha dos índices climatológicos, foi escolhida a aplicação de dois índices como forma de comparação dos resultados obtidos por estes para a referida área de estudo, bem como avaliar o índice que melhor representa a situação da pluviosidade para esta área. Em relação aos índices os dois apresentam fácil aplicação e cálculos considerados simples, no qual os mesmos necessitam apenas da entrada de um tipo de dados, neste caso de precipitação pluvial (GUTTMAN, 1998).

Mckee et al. (1993) desenvolveu o SPI, o qual é baseado em precipitação mensal que apresenta uma característica principal que é a possibilidade de utilização de monitoramento tanto de condições secas como úmidas em diversas escalas de tempo. Esta flexibilidade temporal do SPI contribui para diversas aplicações.

A realização do cálculo do SPI requer o registro de precipitação de longo prazo a uma distribuição de probabilidade. Essa distribuição é então transformada para uma distribuição normal, de modo que o SPI médio para uma localização e período desejados seja zero (EDWARDS; MCKEE, 1997). A base de dados com o registro de precipitação deve conter no mínimo 30 anos, sendo ajustado por meio da distribuição gama, que posteriormente é

transformada em uma distribuição normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária (FERNANDES et al., 2009).

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade dada pela equação:

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

sendo:

$\alpha > 0$  = parâmetro de forma (adimensional);

$\beta > 0$  = parâmetro de escala (mm);

$\chi > 0$  = total de precipitação (mm);

$\Gamma(\chi)$  = função gama.

A função gama é obtida por meio da equação 2:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Para estimar os parâmetros de forma  $\alpha$  e  $\beta$ , utiliza-se o método da máxima verossimilhança (THOM, 1966), equações 3, 4 e 5:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (5)$$

sendo:

$\overline{X}$  = média aritmética da precipitação pluvial (mm);

$\ln$  = logaritmo neperiano;

$N$  = número de observações de precipitação.

Os resultados dos parâmetros de forma e escala são então usados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal. A probabilidade cumulativa é dada pela equação 6:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} \int_0^x x^{a-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

Substituindo  $t = x / \beta$ , a equação 6 transforma-se na função gama incompleta, equação 7:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(a)} \int_0^x t^{a-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

Desde que a função gama é indeterminada para  $x = 0$  e uma distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto, equação 8:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (8)$$

sendo:

$H(x)$  = distribuição de probabilidade cumulativa;

$q$  = probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G(x)$  = distribuição cumulativa teórica.

De acordo com Thom (1966), se  $m$  é o número de zeros em uma série temporal de precipitação,  $q$  pode ser estimado por  $m / n + 1$ . Thom (1966) usa tabelas da função gama incompleta para determinar a probabilidade cumulativa  $G(x)$ . McKee et al. (1993) usam um

método analítico junto com um código de *software* sugerido por Press et al. (1988) para determinar a probabilidade cumulativa.

De acordo com Fernandes 2009:

A distribuição de probabilidade cumulativa  $H(x)$  é transformada em uma variável aleatória normalizada ( $Z$ ) com média zero e desvio padrão 1, onde a variável ( $Z$ ) corresponderá ao valor de SPI. Essa é uma transformação equiprobabilística que Panofsky e Brier (1958) definiram como uma característica essencial para transformar uma variável de distribuição gama para uma variável com uma distribuição normal, em que a probabilidade de ser menor que um valor dado será igual à probabilidade de ser menor que o valor correspondente da variável transformada. As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky e Brier (1958), em que os dados de precipitação são ordenados em ordem crescente de magnitude, de forma que os valores são baixos e o tamanho da amostra é dado pela equação 9 (FERNANDES et al., 2009).

$$q = \frac{m}{n + 1} \quad (9)$$

sendo:

$m$  = número de ordem dos valores de zero em uma série climatológica;

$n$  = tamanho da amostra.

De acordo com mesmo autor, uma vez que seria dispensável reproduzir vários gráficos para cada localidade e em todas as escalas temporais possíveis e para cada mês do ano, o valor de ( $Z$ ) ou SPI é obtido de maneira mais fácil pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável ( $Z$ ).

Em que  $Z$  é definido pelas equações 10 e 11:

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (10)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (11)$$

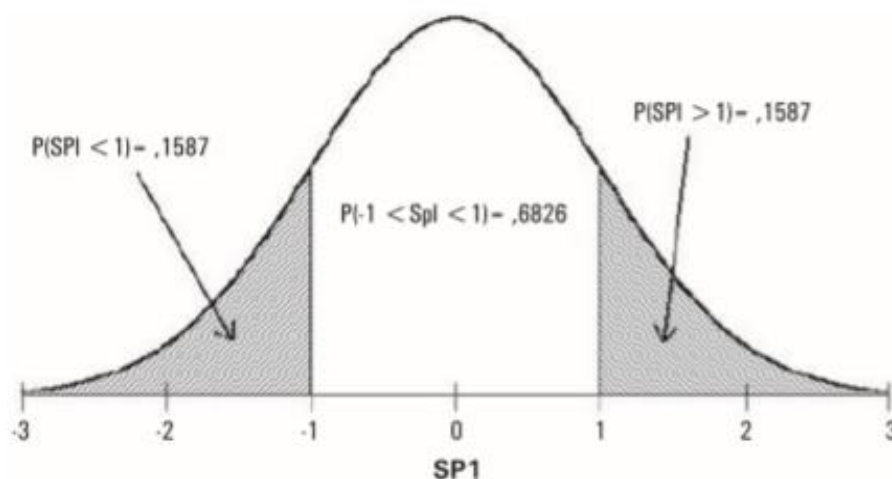
Sendo t definido pelas equações 12 e 13:

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (13)$$

Teoricamente, o SPI representa o z-score, ou seja, o número de desvios padrão acima e abaixo do qual um evento (valor) se encontra em relação à média. Contudo, essa abordagem não é totalmente correta para escalas curtas de tempo, visto que a distribuição original da precipitação original não é assimétrica. Todavia, a Figura 14 ilustra que durante o período base, no qual os parâmetros gama são estimados, o SPI terá uma distribuição normal com valor esperado 0 e variância 1. Um índice com essas características é desejável de modo a permitir comparações de valores do índice para diferentes localidades e regiões significantes.

**Figura 14** - Distribuição normal com o SPI tendo uma média de 0 e uma variância de 1.



Fonte: Domingos (2006).

Estudos como os de McKee et al. (1993), usaram os valores de SPI para definirem a existência ou não de seca e o seu grau de intensidade. De acordo com os autores, a seca ocorre sempre que o valor do SPI apresentar constantemente valores negativos, atingindo uma intensidade menor ou igual a menos um (-1,0). Quando o valor do índice SPI se torna positivo pode-se dizer que a seca termina.

A classificação do SPI é feita com base nos limites indicados na Tabela 4, possibilitando caracterizar não somente as secas, mas também os períodos mais úmidos. Uma das vantagens da utilização desse método é possibilidade de padronizar a análise, tornando possível comparar regiões totalmente distintas, como por exemplo regiões com climas mais áridos e secos com regiões mais úmidas e chuvosas.

**Tabela 4 - Classificação do Índice de Precipitação Padronizada.**

<b>SPI</b>	<b>Classificação</b>
<b><math>\geq 2,00</math></b>	Extremamente úmido
<b>1,00 a 1,99</b>	Muito úmido
<b>0,50 a 0,99</b>	Moderadamente úmido
<b>0,49 a -0,49</b>	Próximo ao normal
<b>-0,50 a -0,99</b>	Moderadamente seco
<b>-1,00 a -1,99</b>	Muito seco
<b><math>\leq -2,00</math></b>	Extremamente seco

Fonte: Adaptada de McKee et al. (1993).

Os valores positivos de SPI indicam a precipitação maior do que a mediana ou média e os valores negativos indicam precipitações menores que a mediana ou média. Devido ao fato do SPI ser normalizado, climas mais secos ou úmidos podem ser representados no mesmo modo. Assim, períodos úmidos podem também ser monitorados usando o SPI.

Em relação ao índice RAI, o qual foi desenvolvido por Rooy (1965), incorpora um procedimento de classificação para ordenar magnitudes de anomalias de precipitações positivas e negativas. O índice RAI é considerado muito simples, dada a sua facilidade de procedimento computacional, que consiste da determinação de anomalias extremas. Rooy (1965) descreve que o índice visa tornar o desvio da precipitação em relação à condição



normal de diversas regiões passíveis de comparação. O procedimento para o cálculo é apresentado nas equações 14 e 15:

$$RAI = 3 \left[ \frac{(p - \bar{p})}{m - \bar{p}} \right] \quad (14)$$

$$RAI = - 3 \left[ \frac{(p - \bar{p})}{x - \bar{p}} \right] \quad (15)$$

sendo:

$p$  = precipitação observada (mm);

$\bar{p}$  = precipitação média (mm);

$m$  = representa a média dos dez valores mais altos;

$x$  = representa a média dos dez valores mais baixos.

De acordo com Fernandes 2009:

Para anomalias positivas, o parâmetro  $m$  é a média dos dez valores mais elevados da precipitação do período estudado; para as anomalias negativas, o parâmetro  $x$  representa os dez valores mais baixos da precipitação do mesmo período. Os valores do índice são ordenados em um esquema de classificação de nove categorias, Tabela 5, variando de extremamente úmido a extremamente seco (Rooy, 1965). Oladipo (1985) encontrou que diferenças entre o Índice de Anomalia de Precipitação e os mais complicados índices de Palmer e Bhalme-Mooley são insignificantes.

**Tabela 5** - Classificação do Índice de Anomalia de Precipitação.

(continua)

RAI	Classificação
$\geq 4,00$	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderadamente
0,50 a 1,99	Umidade baixa

(continuação)

<b>-0,49 a 0,49</b>	Normal
<b>-1,99 a -0,50</b>	Seca suave
<b>-2,00 a -2,99</b>	Seca moderada
<b>-3,00 a -3,99</b>	Seca alta
<b>≤ -4,00</b>	Extremamente seca

Fonte: Adaptada de Rooy (1965).

### 5.3 Medidas Físicas: Imagem MODIS

Foi criado um banco de dados para uma série temporal de 2000 a 2015 contendo os produtos MOD13Q1, que é responsável por disponibilizar dados de EVI, incluindo as bandas utilizadas para a geração deste índice: azul, vermelho, infravermelho próximo, além de uma banda localizada na faixa do infravermelho médio (banda 7), a cada 16 dias, totalizando 23 imagens por ano (Tabela 6) e o produto MOD15A2, que é responsável por fornecer dados de LAI a cada 8 dias, totalizando 46 imagens por ano (Tabela 7) e resolução espacial de 1Km. Esta etapa requer o cadastro e acesso no site <<https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>>, onde é realizado o pedido e aquisição dos produtos. Após a confirmação dos pedidos via e-mail, a NASA envia o link em que os produtos serão baixados. As imagens brutas apresentam projeção *Integerized Sinusoidal* (formato HDF – *Hierarchical Data Format*) e o passo subsequente é a conversão das imagens no *Modis Reprojection Tool* (MRT), para a projeção geográfica e formato Geotiff e, em seguida, as imagens são importadas para o *software* ENVI.

O índice LSWI foi obtido através do algoritmo que é a combinação linear de bandas do infravermelho próximo e médio que são obtidas pelo produto MOD13Q1, como segue:

$$LSWI = \frac{(\rho_{nir} - \rho_{mir})}{(\rho_{nir} + \rho_{mir})} \quad (19)$$

Onde  $\rho$  representa o fator de reflectância nas bandas do infravermelho próximo (nir) e infravermelho médio (mir).

Hardisky et al. (1983) observaram que o uso deste índice LSWI apresenta melhores resultados quando comparados aos valores de NDVI, pois o LSWI está altamente correlacionado com o conteúdo de água do dossel vegetal, possibilitando o acompanhamento das mudanças na biomassa e umidade das plantas. O LSWI, ainda é um índice pouco utilizado, caracterizado por ser mais sensível ao conteúdo de água em função das regiões de absorção na faixa do infravermelho médio serem menos influenciadas por efeitos atmosféricos. Em função disso, pode indicar a presença de umidade na vegetação e solo, permitindo um maior contraste entre diferentes coberturas (WILSON e SADER, 2002).

Tendo em vista as influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel, o índice EVI foi desenvolvido para promover a redução destes ruídos e assim ser possível um monitoramento mais eficiente da vegetação (JUSTICE et al., 1998). Além disso, alguns trabalhos sugerem que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa (HUETE et al., 2002). O cálculo deste índice está representado a seguir:

$$EVI = G \frac{(\rho_{nir} - \rho_{red})}{(\rho_{nir} + C_1 \rho_{red} + C_2 \rho_{blue} + L)} (1 + L) \quad (20)$$

Onde:

L é fator de ajuste para o solo) C1 e C2 são 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 o fator de ganho G= 2.5 (HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).

O LAI é um parâmetro biofísico adimensional da vegetação e é definido por Watson (1947) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo ( $m^2/m^2$ ) e está relacionado com processos que envolvem as trocas energéticas entre a vegetação e a atmosfera, tais como a fotossíntese (DUCHEMIN et al., 2006), evapotranspiração e fluxos de carbono (CHEN et al., 2007).

Através deste estudo será possível investigar o potencial de séries temporais de dados de sensoriamento remoto no entendimento da influência do clima na distribuição espacial e dinâmica temporal da vegetação.

**Tabela 6** - Informações das datas das imagens sensor MODIS para o EVI.

<b>EVI</b>	<b>Dias do Ano</b>	
	<b>Ano Normal</b>	<b>Ano Bissexto</b>
<b>Datas das Imagens</b>		
<b>001</b>	01 de janeiro	01 de janeiro
<b>017</b>	17 de janeiro	17 de janeiro
<b>033</b>	02 de fevereiro	02 de fevereiro
<b>049</b>	18 de fevereiro	18 de fevereiro
<b>065</b>	06 de março	07 de março
<b>081</b>	22 de março	23 de março
<b>097</b>	07 de abril	08 de abril
<b>113</b>	23 de abril	24 de abril
<b>129</b>	09 de maio	10 de maio
<b>145</b>	25 de maio	26 de maio
<b>161</b>	10 de junho	11 de junho
<b>177</b>	26 de junho	27 de junho
<b>193</b>	12 de julho	13 de julho
<b>209</b>	28 de julho	29 de julho
<b>225</b>	13 de agosto	14 de agosto
<b>241</b>	29 de agosto	30 de agosto
<b>257</b>	14 de setembro	15 de setembro
<b>273</b>	30 de setembro	01 de outubro
<b>289</b>	16 de outubro	17 de outubro
<b>305</b>	01 de novembro	02 de novembro
<b>321</b>	17 de novembro	18 de novembro
<b>337</b>	03 de dezembro	04 de dezembro
<b>353</b>	19 de dezembro	20 de dezembro

Fonte: Adaptado MODIS.

**Tabela 7** - Informações das datas das imagens sensor MODIS para o LAI.*(continua)*

<b>EVI</b>	<b>Dias do Ano</b>	
	<b>Ano Normal</b>	<b>Ano Bissexto</b>
<b>Datas das Imagens</b>		
<b>001</b>	01 de janeiro	01 de janeiro
<b>009</b>	09 de janeiro	09 de janeiro
<b>017</b>	17 de janeiro	17 de janeiro
<b>025</b>	25 de janeiro	25 de janeiro
<b>033</b>	2 de fevereiro	2 de fevereiro
<b>041</b>	10 de fevereiro	10 de fevereiro
<b>049</b>	18 de fevereiro	18 de fevereiro
<b>057</b>	26 de fevereiro	26 de fevereiro
<b>065</b>	06 de março	07 de março
<b>073</b>	14 de março	15 de março
<b>081</b>	22 de março	23 de março
<b>089</b>	30 de março	31 de março
<b>097</b>	07 de abril	08 de abril
<b>105</b>	15 de abril	16 de abril
<b>113</b>	23 de abril	24 de abril
<b>121</b>	01 de maio	02 de maio
<b>129</b>	09 de maio	10 de maio
<b>137</b>	17 de maio	18 de maio
<b>145</b>	25 de maio	26 de maio
<b>153</b>	02 de junho	03 de junho
<b>161</b>	10 de junho	11 de junho
<b>169</b>	18 de junho	19 de junho
<b>177</b>	26 de junho	27 de junho
<b>185</b>	04 de julho	05 de julho
<b>193</b>	12 de julho	13 de julho
<b>201</b>	20 de julho	21 de julho

(continuação)

<b>209</b>	28 de julho	29 de julho
<b>217</b>	05 de agosto	05 de agosto
<b>225</b>	13 de agosto	14 de agosto
<b>233</b>	21 de agosto	22 de agosto
<b>241</b>	29 de agosto	30 de agosto
<b>249</b>	06 de setembro	07 de setembro
<b>257</b>	14 de setembro	15 de setembro
<b>265</b>	22 de setembro	23 de setembro
<b>273</b>	30 de setembro	01 de outubro
<b>281</b>	08 de outubro	09 de outubro
<b>289</b>	16 de outubro	17 de outubro
<b>297</b>	24 de outubro	25 de outubro
<b>305</b>	01 de novembro	02 de novembro
<b>313</b>	09 de novembro	10 de novembro
<b>321</b>	17 de novembro	18 de novembro
<b>329</b>	25 de novembro	26 de novembro
<b>337</b>	03 de dezembro	04 de dezembro
<b>345</b>	11 de dezembro	12 de dezembro
<b>353</b>	19 de dezembro	20 de dezembro
<b>361</b>	27 de dezembro	28 de dezembro

Fonte: Adaptado MODIS.

O produto índice de vegetação, do sensor MODIS, é considerado potencialmente consistente para análises temporais das condições da vegetação global. Os produtos relacionados aos índices de vegetação do sensor MODIS tem como principais objetivos: gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens, maximizar a cobertura global e temporal na resolução espacial mais fina possível, padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo, assegurar a qualidade e a consistência dos dados, descrever e reconstituir dados de variações fenológicas e discriminar com precisão variações interanuais na vegetação.

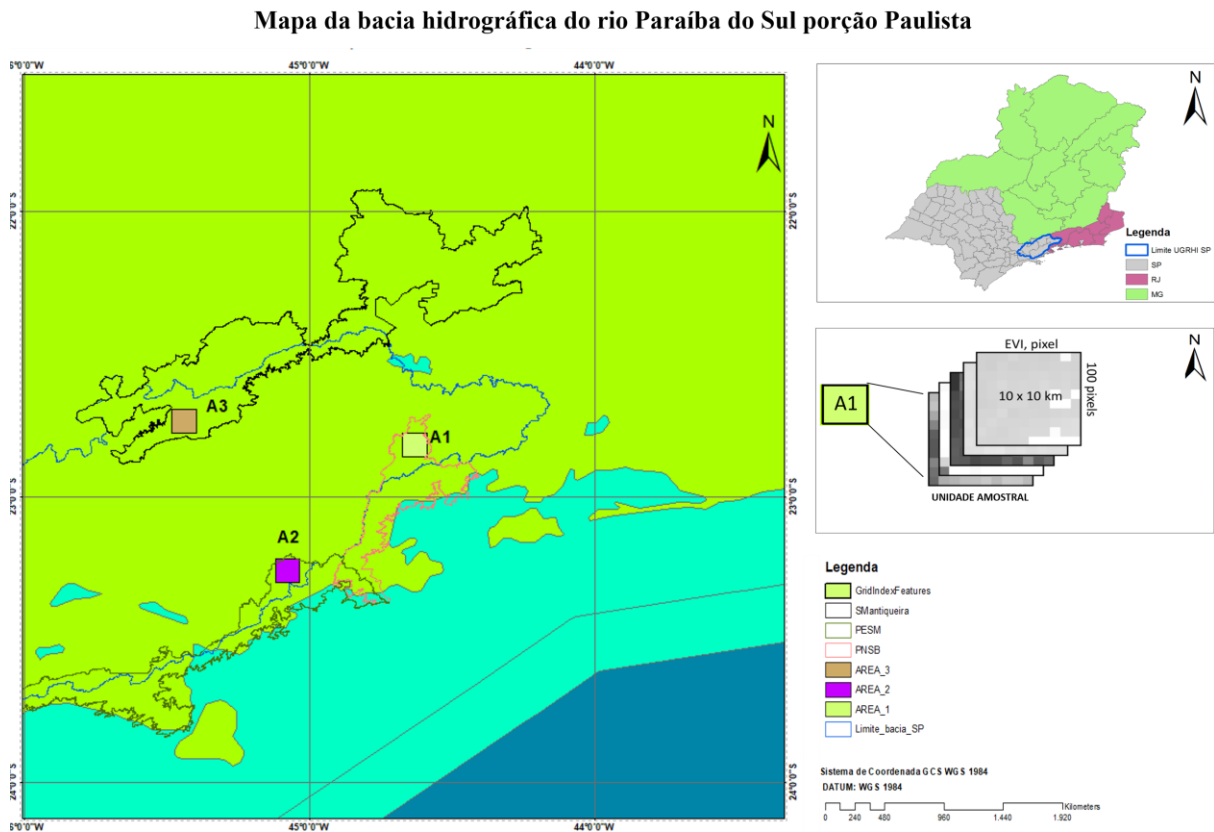
Os produtos MODIS são disponibilizados ao usuário georreferenciados e, de acordo com Silva (2004), apresentam alto grau de credibilidade, uma vez que já foram realizados

testes de validação. A correção atmosférica, que elimina pixels com a influência de nuvens, aerossóis, vapor d' água e/ou poluentes, é uma outra vantagem da utilização desses produtos.

Para analisar o comportamento temporal da vegetação natural da Mata Atlântica Paulista foram definidas três unidades amostrais na região de estudo.

Para a definição das unidades amostrais, foi estabelecida uma área de 10 x 10 Km, obedecendo o critério de estarem contidas em áreas preservadas, onde houvesse o mínimo de intervenção (Figura 15). Neste sentido, dados referente a Áreas de Preservação Ambiental (APA) e Unidades de Conservação (UCs) foram adquiridos, uma vez que são áreas geográficas destinadas à preservação dos ecossistemas naturais e que possuem limites definidos e existem sob um regime especial de administração, a qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

**Figura 15** - Delimitação de unidades amostrais para análises comparativas entre índices de vegetação e variáveis climáticas.



Foram verificadas na região da UGRHI as Ucs onde foi possível identificar as melhores áreas para delimitação das áreas amostrais. Neste trabalho, foram selecionadas unidades de extrema importância ecológica, como mostra a Tabela 8.

**Tabela 8** - Informações das Unidades de Conservação.

(continua)

Amostras	Unidade de Conservação	Formações (%)
A01	Parque Nacional Serra da Bocaina	De acordo com a classificação do IBGE (1992), conforme diretrizes de Veloso e Góes-Filho (1.982), o PNSB situa-se dentro dos domínios florísticos da Zona Neotropical e agrupa a diversidade de formas vegetacionais em três tipos de formações, grande parte em estágio secundário de diferentes níveis: a Floresta Ombrófila Densa (Submontana, Montana e Alto Montana), expressão dominante na região, a Floresta Ombrófila Mista Alto Montana, com a presença do pinheiro-do-paraná ( <i>Araucaria angustifolia</i> ) e o pinheirinho-bravo; ( <i>Podocarpus lambertii</i> ), e os campos de altitude. Ocupando áreas menores tem-se também as matas ciliares e as várzeas pantanosas, com uma flora particular. Apesar da crescente antropização, as florestas abrangidas pelo Parque, principalmente nas escarpas, constituem-se numa das áreas mais bem protegidas, tanto no Estado de São Paulo quanto no do Rio de Janeiro, compondo um dos seus últimos redutos florestais. Esta faixa florestal tem continuidade no Estado de São Paulo, através de Picinguaba, representando os derradeiros remanescentes de floresta íntegra.



(continuação)

A02	Parque Estadual Serra do Mar	É o maior corredor biológico da MA, um dos maiores remanescentes de Floresta Ombrófila Densa. Presença restinga no cordão do litoral norte de São Paulo, Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.
A03	Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira	Nas regiões abaixo de 1100 m, predomina a Floresta Ombrófila Densa Montana. Entre 1.100 a 2.000 m encontram-se a Floresta Ombrófila Densa Altomontana e florestas mistas, com a presença de araucária ( <i>Araucária angustifolia</i> ). Na transição para as regiões mais altas aparecem os bosques de candeias ( <i>Eremanthus spp</i> ). Acima de 1800 m, encontram-se os campos de altitude (campos limpos e campos rupestres).

Fonte: Adaptado de ICMBIO 2017.

Embora existam as Ucs e APAs, a região apresenta uma história de intensa degradação. Para contornar a possível influência de mistura por diferentes tipos de vegetação, foi adotado outro insumo como base para extração final da vegetação natural. Trata-se do mapeamento do projeto MapBioma (Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil), resultado da coleção 2 que abrange o período de 2000 a 2016 e pode ser adquirido no site <<http://mapbiomas.org>>. Os dados deste projeto é uma importante fonte, visto que os dados são validados, permitindo uma acurácia na identificação da vegetação natural. Neste sentido, foram definidos dois grupos de análise, em que o primeiro pertence as classes das Formações Florestais Naturais e o segundo grupo contendo as classes das Formações Naturais não Florestais como mostra a Tabela 9.

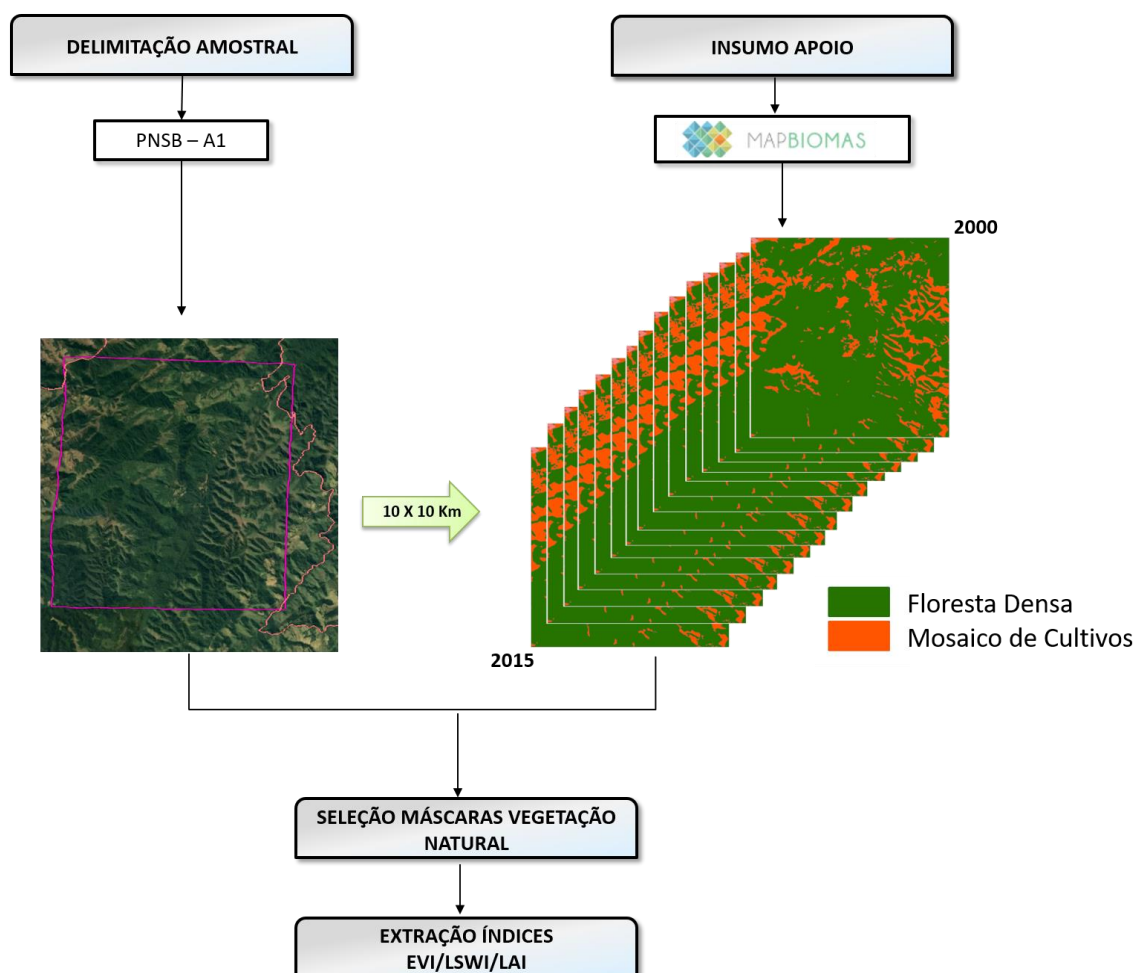
**Tabela 9** – Grupos de vegetação natural derivados do mapeamento do MapBioma.

<b>Classes de Vegetação</b>	
<b>Formações Florestais Naturais (G1)</b>	<b>Formações Naturais não Florestais (G2)</b>
	Áreas úmidas Naturais não florestais
Floresta Densa	
Floresta Aberta	Vegetação Campestre (Campos)
Floresta Alagada	
Floresta Degradada	
Floresta Secundária	

Fonte: Adaptado de MapBiomas (2017).

Para cada área amostral foi analisada a classificação derivada do mapeamento do uso e cobertura do MapBiomas referente ao período de 2000 a 2015, sendo possível definir as máscaras para extração dos índices de vegetação (Figura 16).

**Figura 16** – Etapas para definição e seleção das máscaras para extração dos índices de vegetação EVI,LSWI e LAI.



Fonte: Autoria própria.

#### 5.4 Validação da vegetação natural

Considerando que a coleta de cada ponto em trabalho de campo é financeiramente caro, mas que, de qualquer maneira, o tamanho da amostra para avaliação de um mapeamento deve ter um número mínimo de pontos para manter a performance das análises estatísticas, muitos autores propõem diferentes técnicas estatísticas, algoritmos e equações para a definição do tamanho apropriado da amostra para avaliar a precisão de mapeamento. Embora o objetivo do trabalho não contemple a classificação do uso e cobertura da terra, mas sim a utilização de um produto de mapeamento de uso e cobertura validado para uma escala (1:250.000), a avaliação da precisão das classes de vegetação natural, as quais são utilizadas

neste trabalho, se faz necessário. Neste sentido, a amostragem aleatória estratificada foi empregada, tendo em vista que é uma das mais indicadas, pois contemplam as várias classes existentes. O que torna este método vantajoso é a garantia de que toda classe será incluída na análise a ser realizada. Para a determinação dos pontos para a validação das classes de vegetação natural, a localização espacial e a acessibilidade do ponto foram considerados na seleção das amostras. Portanto, para a realização desta etapa, um conjunto de pontos para validação da vegetação natural extraídas das amostras foram separadas entre dois conjuntos: um conjunto analisado em campo (três pontos por classe) e um conjunto de área natural a partir de imagens de alta resolução publicadas no *Google Earth* (três pontos por classe).

A utilização de dados do *Google Earth* como uma ferramenta para análise de exatidão, vem sendo verificado amplamente em trabalhos relacionados, principalmente, ao uso na agricultura (BERNARDES et al., 2012; MOURA et al., 2009; GIROLAMO NETO et al., 2015; RENNAN, 2016; ROSA, 2016), mas também pode ser observado para mapeamentos em áreas naturais e outras aplicações (ABADE et al.; 2015; SHIMABUKURO et al.; 2013).

A validação do mapeamento foi realizada a partir da matriz de confusão e o respectivo cálculo do coeficiente de concordância *Kappa*, o qual deverá apresentar um valor superior a 0,75. A mensuração da exatidão da classificação e/ou mapeamento é importante, pois é feita a análise mais qualificada das fontes de erros e fragilidade de uma estratégia mais específica (POWELL et al., 2004). Portanto, utiliza-se a avaliação da exatidão para expressar o grau de correspondência da classificação e/ou mapeamento com dados de referência.

Os erros que podem ser inseridos nos mapas temáticos são decorrentes de vários fatores. De acordo com Congalton e Green (2008) os principais fatores são: (1) erros nos dados de referência; (2) sensibilidade do método de classificação; (3) processos de mapeamento inapropriados; e (4) erros gerais de mapeamento.

Dentre os métodos existentes para a estimativa da acurácia das classificações destaca-se o coeficiente de concordância *Kappa* (MATHER, 2004; CONGALTON e GREEN, 2008).

O coeficiente *Kappa* (K) é uma medida de concordância do quanto um mapeamento está de acordo com uma referência, através da elaboração de uma matriz de confusão, também conhecida como matriz de erro. A matriz de confusão define os erros de inclusão (erros de comissão) e os erros de exclusão (erros de omissão) existentes no mapeamento (CONGALTON e GREEN, 2008). Este método possibilita ainda o cálculo da precisão por classe temática, além da exatidão global obtido pelo mapeamento.

O coeficiente *Kappa* pode ser calculado através da Equação 21 (JENSEN, 2005):

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})} \quad (21)$$

onde,

$x_{ii}$  = o valor na linha  $i$  e coluna  $i$ ;

$x_{i+}$  e  $x_{+i}$  = o somatório na linha e na coluna da matriz de confusão, respectivamente;

$n$  = o número total de amostras; e

$r$  = o número total de classes.

#### 5.4.1 Trabalho de Campo

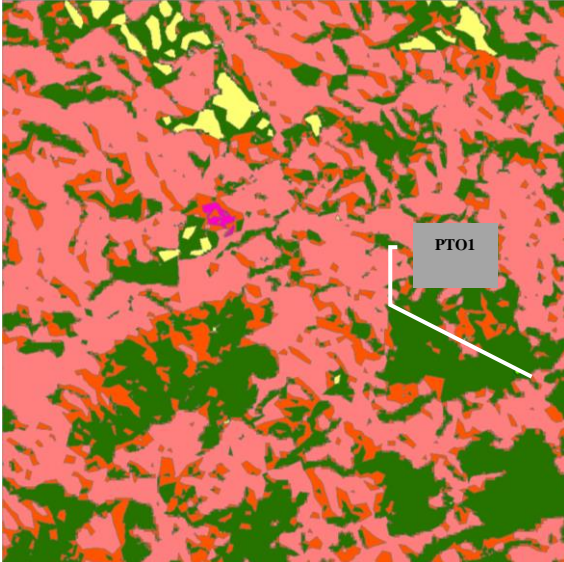

O planejamento da logística é uma etapa fundamental e necessária para a execução do trabalho de campo de forma a ter o melhor aproveitamento. Para a realização do trabalho foram utilizados equipamentos como: GPS de navegação, máquinas fotográficas, prancheta, notebook.

Um formulário de campo foi criado (Figura 17) contendo o número do ponto, o número da foto, o sistema de projeção e o datum, as coordenadas do ponto, o trecho da imagem onde o ponto se localiza, fotografias de campo e descrição da cobertura vegetal da área e entorno. As informações coletadas em campo foram tabuladas e processadas posteriormente, com o propósito de executar a validação do mapeamento por meio do cálculo do índice *Kappa*. No cálculo deste índice, faz necessário a construção de um mapa de verdade de campo para então construir a tabulação cruzada indicando a proporção de casos presentes e/ou ausentes no mapeamento. Sendo assim, foi considerada as situações: Mapa classificado (1) e o Mapa real (2). Desta forma foi construída a tabulação onde: a célula  $a$  indica a proporção dos casos em que o real (1) e o classificado (2) são corretos;  $b$ , quando (1) for correto e a (2) errado;  $c$ , quando a observação 1 for correto e a 2 errado; e a  $d$ , quando ambas forem errados (Tabela 10).

**Tabela 10** - Ilustração da tabulação cruzada aplicada.

Mapa Real	Máscaras (Mapa classificado)		
	Sim	Sim	Não
Não	a	b	
	c	d	

**Figura 17** – Ilustração da ficha de campo.

<b>FICHA COM IMAGEM GOOGLE EARTH – COBERTURA DO SOLO</b>		
	Data	02/11/2017
	Área	A0
	Amostragem	
	Nº Ponto	1
	Nº Foto	01
	Vegetação	Formação Florestal Natural
	Projeção	GCS_WGS_1984
	Datum	WGS 1984
	Coordenada	LAT:22°44'46,383"S LONG:44°52'59,47"W
	Observação: Área de Floresta natural densa.	

Fonte: Autoria própria.

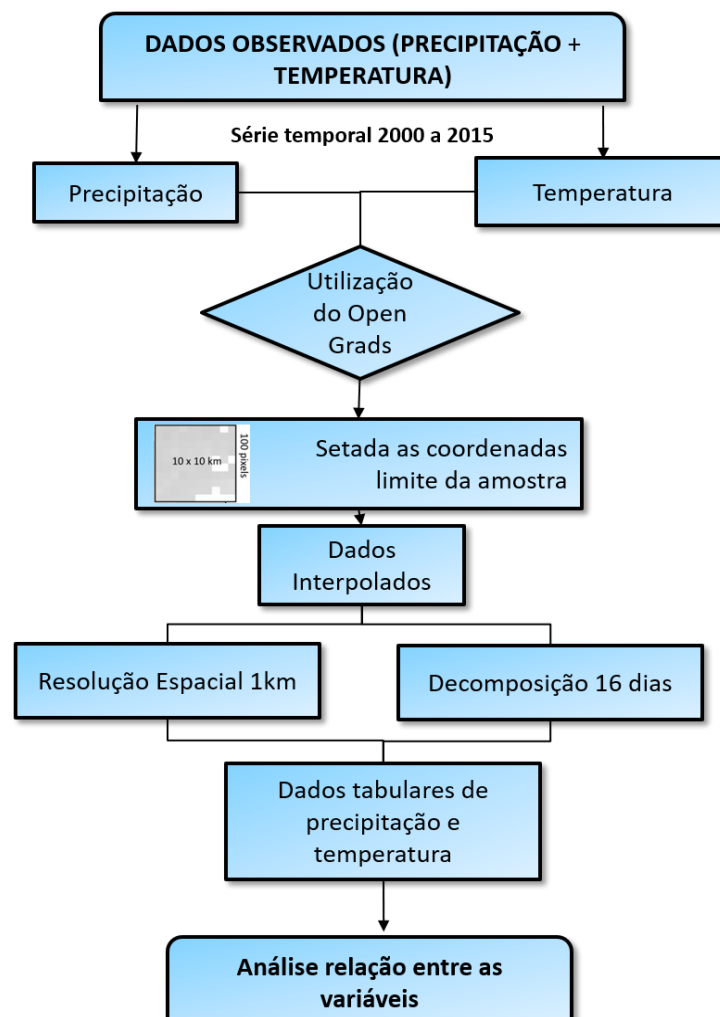
## 5.5 Relações Clima e Vegetação

Nessa etapa, a análise tem como parâmetro a escala vegetacional, ou seja, os dados de precipitação e temperatura são delimitados na mesma escala espacial e temporal dos índices biofísicos EVI, LSWI e LAI.

Os dados climáticos foram disponibilizados pelo grupo de pesquisa de Hidrologia do CCST (Centro de Ciência do Sistema Terrestre) de Cachoeira Paulista e interpolados para uma resolução espacial de 1km e temporal de 16 dias, extraídos pelo programa openGrADS.

Esta aplicação foi necessária para que os dados de clima fossem compatíveis com a escala das variáveis biofísicas (índices de vegetação). O diagrama representado na Figura 18 mostra as etapas para extração dos dados.

**Figura 18** – Metodologia para extração dos dados climáticos.



Fonte: Autoria própria.

### 5.5.1 Análises Estatísticas

Esta fase consiste na caracterização estatística das séries temporais dos índices de vegetação no tempo e no espaço, bem como, as relações destes com as variáveis climáticas como a precipitação pluvial e temperatura.

Diferentes programas foram utilizados, de acordo com a especificidade da análise, sendo: i) processamento no ENVI; ii) parte em linguagem de programação R , iii) estatísticas no *software* STATISTIC e iv) geração de *layouts* de mapas em ambiente *OpenGrads*, *SURFER* e *ArcMap/ArcGis*.

As técnicas estatísticas utilizadas foram:

- I. Análise de variabilidade (nas séries de imagens de EVI, LSWI e LAI e em dados precipitação e temperatura): *box plots*, desvio padrão e z-score;
- II. Análise de regressão linear (nas séries de imagens de EVI, LSWI e LAI e em dados precipitação e temperatura): cálculo de correlação, *scatterplot*.

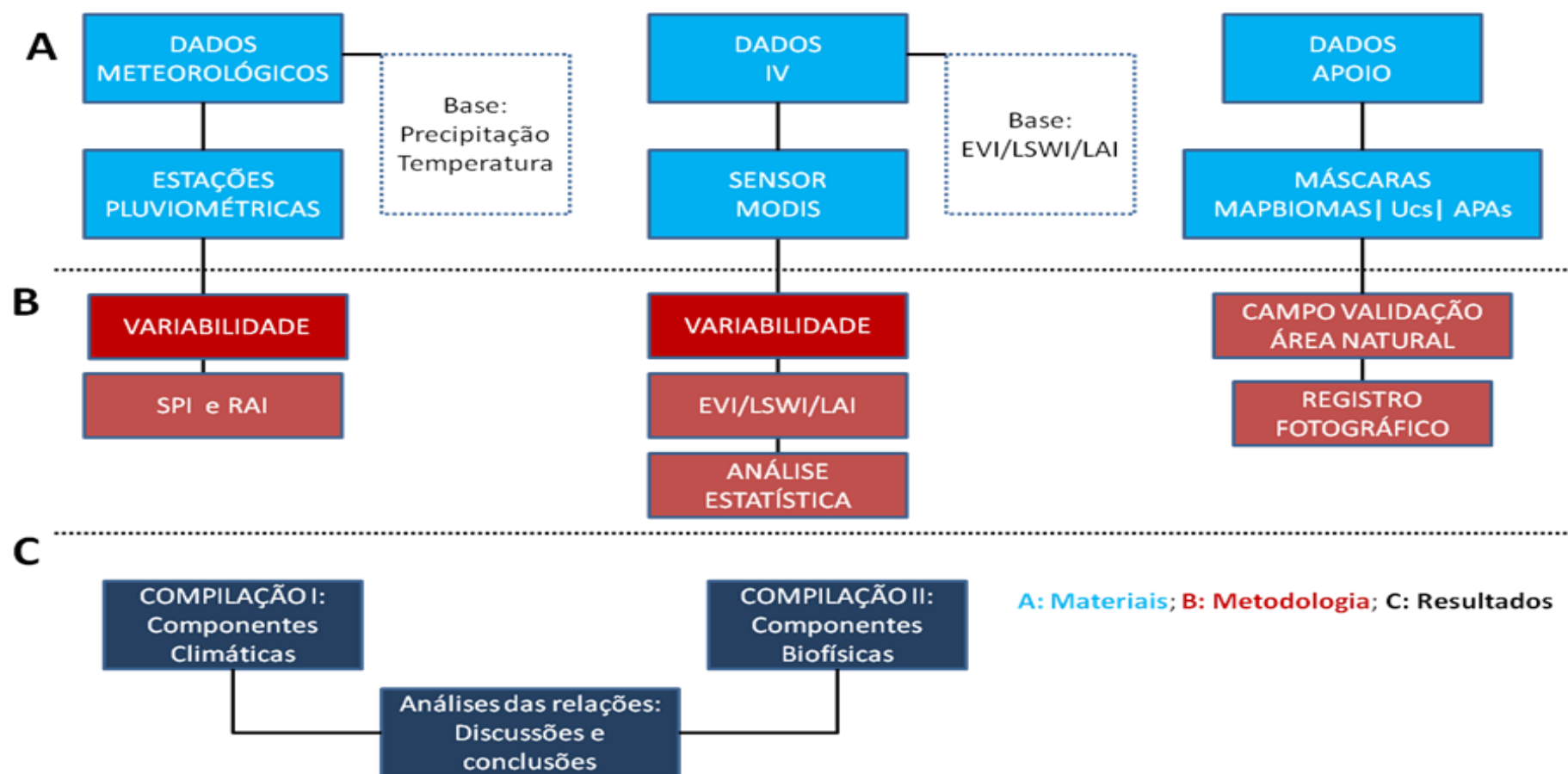
A Figura 19 apresenta o mapa conceitual da dissertação, sendo possível compreender através do fluxograma os processos utilizados.



Mapa conceitual

Objetivo: identificar relações de causa e efeito entre o comportamento temporal dos Ivs e a Variabilidade das variáveis climáticas Precipitação pluvial e temperatura em áreas de vegetação Nativa da Mata Atlântica Paulista.

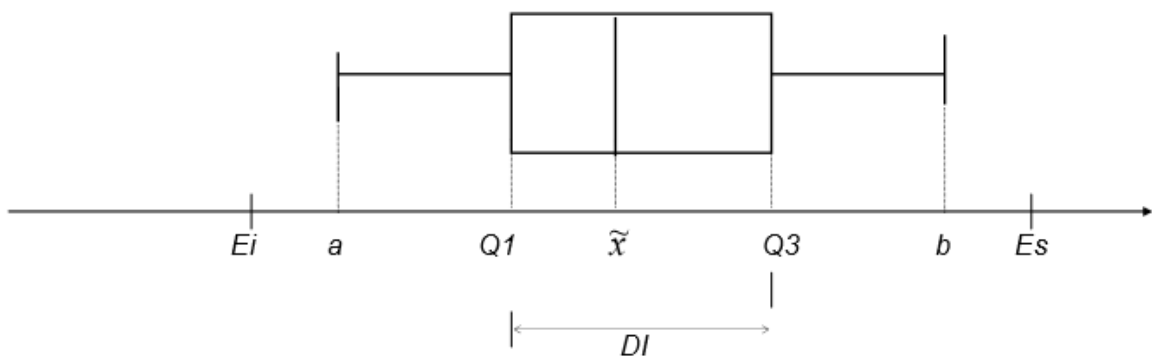
**Figura 19** – Fluxograma apresetando o Mapa conceitual da dissertação.



### 5.5.2 Box Plot

Segundo Montgomery (2004), o conceito de *box plot* ou diagrama de caixas, é um gráfico que aponta vários aspectos importantes dos dados de forma simultânea, tais como tendência central ou posição, dispersão ou variabilidade, afastamento da simetria e identificação de observações muito afastadas da maior parte dos dados (tais observações são denominadas como *outliers*). Em geral, as características de uma distribuição são descritas informando os valores da média e do desvio padrão e, esporadicamente do coeficiente de assimetria. Contudo, a média e o desvio padrão são fortemente influenciados pela presença de *outliers*. As características da distribuição da população podem ser analisadas a partir do diagrama de Tukey (*box plot*), devido a sua configuração como mostra a Figura 20.

**Figura 20** – Diagrama de Tukey.



Fonte: BUSSAB e MORETIN (2002).

A diferença  $DI = Q_3 - Q_1$  é denominada desvio interquartilício e pode ser empregada como medida de dispersão. Este diagrama indica as seguintes características:

- Tendência central: é dada pela posição da mediana na escala de medida da variável;
- Dispersão: medida pelo valor de  $DI$ ;
- Assimetria: indicada a partir da comparação das diferenças  $x \sim - Q_1$  e  $Q_3 - x \sim$

Todos os valores observados inferiores a  $Q_1 - 1,5 \cdot DI$  e superiores a  $Q_3 + 1,5 \cdot DI$  são discrepantes (*outliers*). Os valores  $a$  e  $b$  são o menor valor observado não discrepante e o maior valor observado não discrepante, respectivamente.

### 5.5.3 Desvio padrão

O desvio padrão pode ser considerado como uma medida de variabilidade dos dados de uma distribuição de frequências. Isto é, o desvio padrão mede a dispersão dos valores individuais em torno da média. Para seu cálculo, deve-se obter a média da distribuição e, a seguir, determinar os desvios para mais e para menos a partir da mesma. Desta forma, o desvio padrão é a média quadrática dos desvios em relação à média aritmética de uma distribuição de frequências, ou seja, é a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios, esses tomados a partir da média aritmética.

A variância tende a ser um número grande e de difícil manejo e o seu valor sai dos limites dos valores observados em um conjunto de dados. Portanto, o desvio padrão, que é a raiz quadrada da variância, pode ser usado para descrever a quantidade de dispersão na distribuição da frequência. O símbolo para o desvio padrão em um conjunto de dados observados é  $s$ , e a equação é a seguinte:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (22)$$

### 5.5.4 Regressão linear

A análise de regressão linear consiste na realização de uma análise estatística com o intuito de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes, ou seja, consiste na obtenção de uma equação a qual tenta explicar a variação da variável dependente pela variação dos níveis das variáveis independentes.

O modelo de regressão linear simples é dado pela seguinte equação:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad (23)$$

em que:

$Y_i$  = valor observado para variável dependente Y no i-ésimo da variável independente X.

$\beta_0$  = constante de regressão. Representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X.

$X_i$  = i-ésimo nível da variável independente X ( $i= 1,2,\dots,n$ )

$e_i$  = é o erro que está associad à distância entre o valor observado  $Y_i$  e o correspondente ponto na curva, do modelo proposto, para o mesmo nível i de X.

Para se obter a equação estimada, a utilização do método denominado de Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) é utilizada pois, por este método, a soma de quadrados das distâncias entre os pontos do diagrama e os respectivos pontos na curva da equação estimada é minimizada, obtendo-se, desta forma, uma relação funcional entre X e Y, com um mínimo de erro possível.

Assim, tem-se que:

$$e_i = Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i \quad (24)$$

Elevando ambos os membros da equação ao quadrado:

$$e_i^2 = [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i]^2 \quad (25)$$

Aplicando o somatório,

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i]^2 \quad (26)$$

Por meio da obtenção de  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , que minimizem o valor obtido na equação 32, é possível alcançar a minimização da soma de quadrados dos erros. Para encontrar o mínimo para uma equação é necessário derivá-la em relação à variável de interesse e igualá-la a zero.

A equação 24 é derivada em relação a  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , e igualada a zero, obtendo duas equações que, juntas, compõem o chamado sistemas de equações normais.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} = \frac{SPD_{xy}}{SQD_x} \quad \text{e} \quad \hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (27)$$

Uma vez obtidas estas estimativas, pode-se escrever a equação estimada:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \quad (28)$$

A literatura de Análise de Séries Temporais recomenda o uso de medidas de acuracidade, que são estatísticas que permitem avaliar o ajuste de uma previsão aos dados originais, por meio do cálculo de médias das diferenças (erros) entre os dados originais e as previsões em cada período da série temporal. Embora as medidas exijam o cálculo dos erros (resíduos) para todos os modelos sob análise, não demanda a construção de diagramas, e suas conclusões geralmente coincidem com as da avaliação do  $R^2$ .

O coeficiente de determinação, conhecido como  $R^2$ , para o caso de regressão linear simples, fornece uma informação auxiliar ao resultado da análise de variância da regressão, como uma maneira de se verificar se o modelo proposto é adequado ou não para descrever o fenômeno.

O  $R^2$  é obtido por:

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQTotal} \quad (29)$$

O valor de  $R^2$  varia no intervalo de 0 a 1, em que os valores próximos a 1 indicam que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno.

O  $R^2$  indica a proporção da variação de Y que é “explicada” pela regressão, ou quanto da variação na variável dependente Y está sendo “explicada” pela variável independente X.

### 5.5.5 Correlação de Spearman

Com objetivo de avaliar a intensidade que se estabelece entre as relações das variáveis climáticas e biofísicas foi aplicada a correlação de Spearman.

O coeficiente de correlação por postos de Spearman é uma alternativa usual para estimar correlações lineares nas situações em que há violação da suposição de normalidade conjunta para (X,Y).

A correlação de Spearman é uma estatística baseada em postos e foi introduzida por Spearman em 1904 e exige apenas que as variáveis X e Y sejam medidas pelo menos em escala ordinal. Para testar a significância desse coeficiente, a distribuição conjunta das variáveis não precisa ser conhecida. Se a amostra for grande, a significância estatística pode ser avaliada através do teste que utiliza a distribuição de probabilidade t de Student como distribuição de frequência, como é feito com a estimativa do coeficiente de correlação de Pearson (ZAR, 1999; DANIEL, 1978; SIEGEL, 1975).

Uma equação fácil para calcular o coeficiente  $\rho$  de Spearman é dada por:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}, \quad (30)$$

em que:

$n$  = é o número de pares  $(x_i, y_i)$

$d_i$  = (postos de  $x_i$  dentre os valores de x) - (postos de  $y_i$  dentre os valores de y).

Se os postos de x são exatamente iguais aos pontos de y, então todos os  $d_i$  são zero e  $\rho$  será 1. O coeficiente  $\rho$  de Spearman varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, ou seja, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1.1 Análise da variabilidade da precipitação através de índices climatológicos

Através dos dados de precipitação pluvial, foi possível analisar a variabilidade temporal das séries meteorológicas para toda a região da UGHRI. Inicialmente, pode-se observar na Tabela 11 que, das 31 séries meteorológicas 14 apresentam valores médios anuais acima de (1500 mm), caracterizando essa região com alto índice de umidade. Em geral, a maioria das séries apresentaram valores máximos acima de 2000 mm e uma maior variabilidade em relação aos valores mínimos. Em algumas séries como (Estações 3, 5, 25 e 33) a amplitude apresentou valor acima de 2000 mm, o que demonstra uma alta variabilidade de chuva nessas áreas.

**Tabela 11** – Cálculos estatísticos da precipitação pluviométrica (mm) para o período 1976-2010.

(*continua*)

<b>Estação</b>	<b>Méd.</b>	<b>DP.</b>	<b>CV.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Ampl.</b>
<b>1</b>	1308,23	317,86	0,24	1804,00	426,90	1377,10
<b>2</b>	1253,62	271,40	0,22	1810,50	586,20	1224,30
<b>3</b>	1699,01	432,63	0,25	2429,70	245,00	2184,70
<b>4</b>	1562,13	271,82	0,17	2412,00	1108,10	1303,90
<b>5</b>	2051,91	702,73	0,34	3408,80	1125,80	2283,00
<b>6</b>	1340,27	248,45	0,19	1806,40	486,20	1320,20
<b>7</b>	1231,07	249,78	0,20	1980,20	833,80	1146,40
<b>8</b>	1663,23	292,69	0,18	2301,80	1048,70	1253,10
<b>9</b>	1343,89	268,62	0,20	1804,00	426,90	1377,10
<b>10</b>	1355,45	258,84	0,19	1946,30	829,70	1116,60
<b>11</b>	1496,42	291,34	0,19	2085,20	788,30	1296,90
<b>12</b>	1652,02	347,29	0,21	2503,90	1095,80	1408,10
<b>13</b>	1807,96	317,54	0,18	2561,60	1253,60	1308,00
<b>14</b>	1707,07	405,84	0,24	2677,70	793,40	1884,30
<b>15</b>	1755,88	439,50	0,25	2734,10	971,60	1762,50
<b>16</b>	1523,95	301,49	0,20	2380,80	951,20	1429,60
<b>17</b>	1369,85	375,52	0,27	2410,50	648,50	1762,00
<b>18</b>	1788,00	349,85	0,20	2832,00	1181,90	1650,10

(continuação)

<b>19</b>	1696,17	290,47	0,17	2637,40	1010,80	1626,60
<b>20</b>	1308,51	265,50	0,20	1891,00	821,70	1069,30
<b>21</b>	1376,90	330,35	0,24	2196,30	518,20	1678,10
<b>22</b>	1966,28	421,72	0,21	2970,30	921,00	2049,30
<b>23</b>	1469,72	366,30	0,25	2464,10	683,30	1780,80
<b>24</b>	1180,72	335,17	0,28	1968,80	374,90	1593,90
<b>25</b>	1412,18	263,69	0,19	1955,50	876,50	1079,00
<b>26</b>	1179,83	467,74	0,40	2007,70	101,10	1906,60
<b>27</b>	1424,62	277,15	0,19	2210,10	786,30	1423,80
<b>28</b>	1657,34	271,71	0,16	2521,40	1277,40	1244,00
<b>29</b>	1463,08	332,64	0,23	2231,40	748,40	1483,00
<b>30</b>	2333,14	616,30	0,26	3288,20	856,20	2432,00
<b>31</b>	1457,57	393,71	0,27	2238,20	322,90	1915,30

Legenda: **Méd.** – Média, **DP** – Desvio padrão, **CV** – Coeficiente de variação, **Máx.** – Máximo, **Mín.** – Mínimo, **Amp** – Amplitude.

As Figuras 21 a 23 mostram os gráficos de precipitação anual e da média climatológica de cada série pluviométrica e o respectivo z-score para as áreas de dentro da região da UGRHI, os resultados das demais estações (que fazem limite com as cidades da UGRHI) estão apresentadas no Anexo 1.

Para uma análise geral da precipitação, através de uma análise de porcentagem simples, foram selecionadas as séries que apresentaram ocorrência  $\geq 50\%$  com valores de precipitação acima da média climatológica e foi possível observar que de maneira geral, em todas as séries os anos 1976, 1981, 1982, 1983, 1985, 1986, 1987, 1988, 1991, 1995, 1996, 2000, 2004 e 2009 apresentaram precipitação pluvial acima da média climatológica, sendo considerados anos úmidos. Da mesma forma foram selecionadas as séries que apresentaram ocorrência  $\geq 50\%$  com valores de precipitação abaixo da média climatológica, e que de maneira geral, em todas as séries os anos 1977, 1978, 1979, 1980, 1984, 1989, 1990, 1992, 1993, 1994, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2010 apresentaram precipitação pluvial abaixo da média climatológica, sendo considerados anos secos.

Os anos úmidos são anos que apresentaram El Niño de intensidade moderada ou forte e os secos são os anos em que o evento La Niña apresentou intensidade forte ou moderada.

Neste sentido, é possível observar que alguns anos como 1997, 1998, 2005 e 2010 em que o evento El Niño foi considerado forte não foram percebidos na região, o que impossibilitou a ocorrência de chuvas intensas foi a ocorrência de um forte bloqueio



atmosférico. Por outro lado, em outras regiões do país, as chuvas foram intensas nesses anos e na UGRHI de estudo, as chuvas permaneceram dentro ou abaixo da média climatológica.

Através dos gráficos de média climatológica também é possível analisar que das 31 séries, 14 apresentaram média climatológica superior a 1.500 mm. Também é apresentado o valor de z-score para as estações, quando o valor de z é positivo indica que o dado está acima da média e quando o mesmo é negativo significa que o dado está abaixo da média.

A Figura 21 mostra o resultado para as séries 1, 2, 3 e 4 da região da UGRHI. É possível observar que, de maneira geral, os dados de precipitação apresentaram variabilidade ao longo da série analisada (1976-2010) nas estações. A Figura 21 b mostra o valor de score oscilando entre  $-2,77 < Z < +1,55$ , em destaque para os anos 1992, 2007 e 2006 que apresentaram pico abaixo da média climatológica, com valor de  $z = -2,77$ ,  $z = -2,50$ ,  $z = -1,75$  respectivamente. O ano de 2007 é considerado um de ocorrência do evento de La Niña forte, de acordo com CPTEC/INPE, o que pode ser observado na Figura 21 a, em que o ano de 2007 apresentou valor de 512,3 mm total anual. Ainda de acordo com CPTEC/INPE entre 1990-1993 o evento El Niño foi considerado forte, sendo esperado uma condição de precipitação acima da média, o que não ocorreu para essa região neste ano específico. Embora o total anual de 1990 tenha sido de 1293 mm, no período de verão, considerada estação chuvosa na região, sendo principalmente dezembro a março os meses mais chuvosos, a precipitação apresentou padrão normal. Já para os anos em que a precipitação ocorreu acima da média climatológica destaca-se os anos 1976, 1983, 1985, 2008 e 2009, com precipitação de 1705,1 mm, 1775,6 mm, 1793,1 mm, 1791,5 mm e 1804,0 mm e valores de score iguais a  $z = 1,24$ ,  $z = 1,47$ ,  $z = 1,52$ ,  $z = 1,52$  e  $z = 1,55$  para os respectivos anos como mostra a Figura 21 b. Já a Figura 19 c, a qual mostra o resultado para série 2 da região da UGRHI, mostra o valor de score oscilando entre  $-2,45 < Z < +2,05$ , em destaque para os anos 1990 e 2006 que apresentaram pico abaixo da média climatológica, com valor de  $z = -2,45$  e  $z = -2,10$  respectivamente (Figura 19 d). Em 1990 o total anual de precipitação foi de 586,2 mm e em 2006 de 681,1 mm. Nessa região, os anos que se destacaram com precipitação acima da média climatológica foram 1976, 1983 e 2008, com score de  $z = 2,05$ ,  $z = 1,99$  e  $z = 1,15$ . Esses anos apresentaram precipitação total anual igual a 1810,5 mm, 1789,0 mm e 1568,4 mm respectivamente (Figura 21 c).

Para a série 3, os resultados observados na Figura 21 e, mostram que os anos de 1992, 1993 e 1994 foram os principais anos em que a precipitação teve o pico abaixo da média climatológica, com valores  $z = -1,86$ ,  $z = -3,36$  e  $z = -2,10$  respectivamente. O score nessa região oscilou de  $-3,36 < Z < +1,68$ . Interessante notar que nesses anos o evento El Niño é considerado forte, e a região teve uma resposta inversa do esperado. Grimm e Ferraz (1998) alertam para o

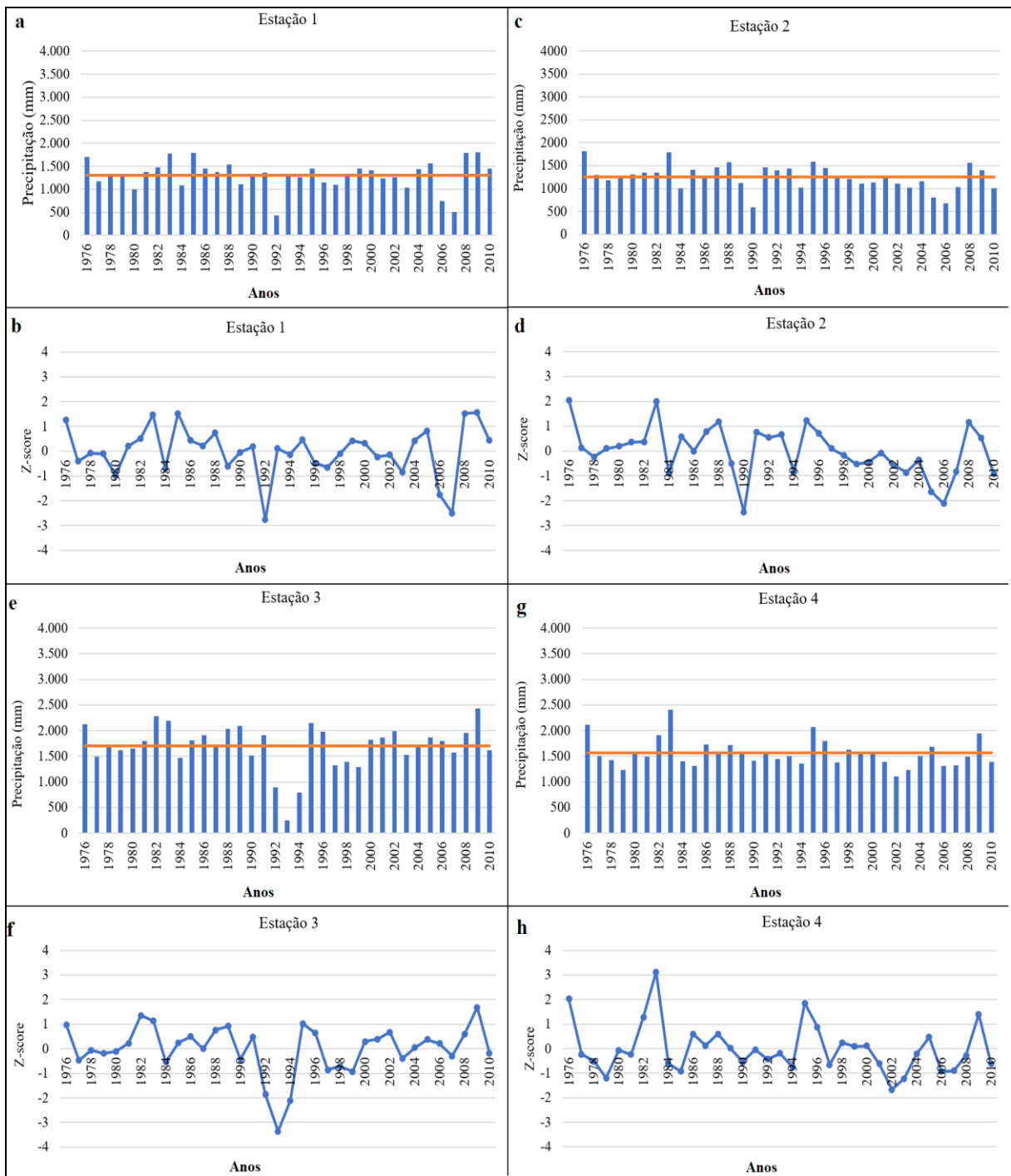
fato de que a resposta dos eventos El Niño e La Niña na região sudeste possa não ser tão linear quanto nos extremos sul e norte do Brasil, uma vez que a região sudeste tem uma alta correlação com as anomalias de temperatura da água do mar do Atlântico Sul.

A Figura 22 mostra o resultado para as séries 5, 6, 7 e 8 da região da UGRHI. É possível observar que, de maneira geral, os dados de precipitação apresentaram variabilidade ao longo da série analisada (1976-2010). A Figura 22 b mostra o valor de score oscilando entre  $-1,31 < Z < +1,93$ . Observa-se que em 1978 foi o primeiro ano da série a apresentar um pico abaixo da média climatológica, com  $z = -0,53$ , e nos anos posteriores a precipitação apresentou valores acima da média, com destaque para os anos 1986 com  $z = +1,93$  e 1988 com  $z = +1,83$ . Os anos 1986 e 1988 apresentaram totais anuais iguais a 3408,8 mm e 3343,1 mm respectivamente. Após 1988, nota-se que os anos apresentaram oscilação dos valores abaixo da média climatológica, com o maior pico em 2003 com  $z = -1,31$ , e que apresentou total anual de precipitação igual a 1125,8 mm, com uma diferença de 926, mm em relação à média climatológica. Já a série 6 (Figura 22 d), apresentou valor de score oscilando entre  $-3,43 < Z < +1,87$ , e foi em 2000 em que ocorreu a maior anomalia negativa, com -854,1 mm, ou seja, 854,1 mm abaixo da média climatológica. Na série 7, que apresentou score oscilando entre  $-1,59 < Z < +2,99$ , observa-se que em 1983 foi o ano em que o valor da precipitação atingiu o maior pico acima da média climatológica, com  $z = +2,99$  (Figura 22 f) e total anual igual a 1980,2 mm e foi em 1994 o ano com maior pico abaixo da média climatológica, com  $z = -1,59$  e total anual de precipitação em torno de 833, mm (Figura 22 e).

Na série 8, pode-se observar a variabilidade ao longo da série meteorológica (Figura 22 g e h), com valor de z-score oscilando entre  $-2,09 < Z < +2,18$ , sendo os anos 1984 com valor abaixo da média climatológica e 1996 com maior pico acima da média climatológica.

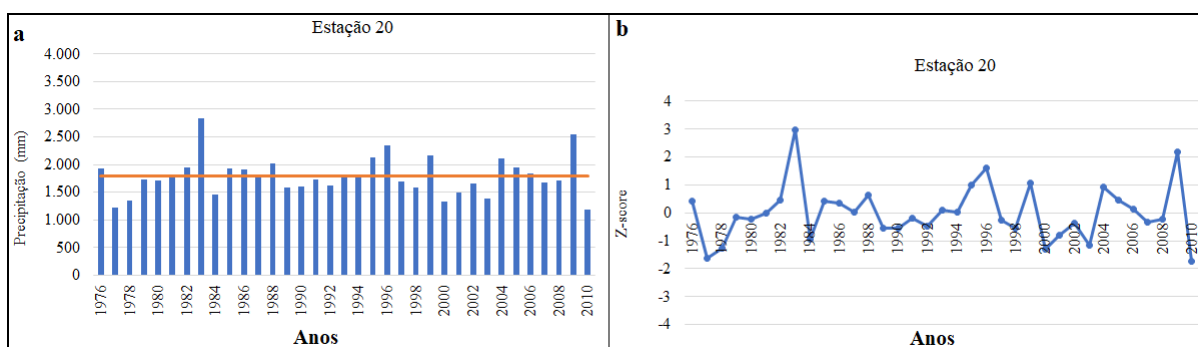
A Figura 23 mostra o resultado para a série 20 da UGRHI. A média climatológica foi de 1788 mm e o valor de z-score oscilou entre  $-1,73 < Z < +2,98$ , sendo possível observar que em 1983 foi o ano que ocorreu maior precipitação de 1044 mm acima da média climatológica e em 2009 ( $z = +2,16$ ) choveu 758,3 mm acima da média. Os anos em que os maiores picos ocorreram abaixo da média foram 1977, 1978, 2000, 2003.

**Figura 21** - Precipitação e média climatológica das séries 1, 2, 3 e 4.



**Figura 22 - Precipitação e média climatológica das séries 5, 6, 7 e 8.**



**Figura 23** - Precipitação e média climatológica da série 20.

A Tabela 12 mostra a classificação do índice SPI, destacando os anos úmidos (ocorrência do El Niño) e secos (ocorrência do La Niña). De maneira geral, é possível observar uma marcada variabilidade temporal, ou seja, os valores de SPI apresentam variação ao longo dos anos, apresentando valores altos em alguns anos e valores baixos em outros.

É possível notar que alguns anos apresentaram valores dentro da faixa considerada normal (0,49 a -0,49), mesmo sendo anos de El Niño e de La Niña, o que revela que estes eventos podem não exercer forte influência na UGRHI de estudo, o que está relacionado a ocorrência de bloqueios atmosféricos que atingiram a região. Os resultados indicam a variabilidade pluvial na UGRHI, ainda que alguns anos não possam ser relacionados com eventos ENOS. Contudo, o ano de 1983, ano em que o evento El Niño foi considerado forte, apresentou classificação de umidade moderada a extremamente úmido ao longo dos meses, com destaque aos meses considerados secos na região (maio a agosto). Em 1997 há persistência das condições de extremos nos meses de janeiro a março e umidade baixa a alta nos meses junho a agosto. Pode-se observar que o ano 1996 apresentou valor alto de SPI de março a maio, e nos gráficos (Figuras 21 g, 22 f) apresentou valores de precipitação pluvial acima da média climatológica em 82,35 % das estações, embora o ano 1996 não tenha ocorrido evento ENOS, é provável que alguma dinâmica climática possa ter influenciado na precipitação deste ano. De acordo com Dias et al. (2004), em 1996 houve a ocorrência de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que aumentou a quantidade de chuva na região.

Já o ano de 1984, em mais de 90% das séries, houve ocorrência de valores de precipitação pluvial abaixo da média climatológica, retratando a ocorrência do evento La Niña na região. Os resultados encontrados conseguiram capturar a variabilidade pluvial no período

de 34 anos mesmo embora alguns anos não possam ser relacionados com os eventos ENOS na região.

**Tabela 12**– Resultados do índice SPI.

(*continua*)

Ano/ Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1976	NOR	NOR	NOR	NOR	UMM	UMM	UMM	UMA	UMA	UMA	UMM	NOR
1977	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	UMM	NOR	UMM	NOR	SCM	NOR	NOR
1978	NOR	SCA	SCM	SCM	NOR	SCA	UMA	UMA	UMA	SCM	SCM	SCM
1979	SCA	SCM	SCA	SCM	SCA	SCM	SCM	NOR	SCM	UMM	UMA	NOR
1980	NOR	UMM	UMM	UMA	UMM	UMM	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
1981	NOR	NOR	SCA	NOR	SCM	NOR	SCM	NOR	EXS	NOR	UMA	UMA
1982	NOR	NOR	NOR	NOR	SCM	NOR	UMM	UMA	NOR	NOR	UMM	EXU
1983	EXU	UMM	NOR	NOR	UMA	EXU	EXU	UMB	NOR	NOR	UMM	UMB
1984	NOR	UMA	SCA	SCM	NOR	SCA	EXS	SCA	NOR	NOR	SCA	UMM
1985	NOR	NOR	NOR	UMM	UMM	UMM	SCM	SCA	SCA	EXS	SCA	SCA
1986	SCA	SCM	NOR	UMM	UMA	UMM	NOR	UMM	UMA	UMM	SCM	NOR
1987	NOR	NOR	SCM	NOR	NOR	UMA	UMA	NOR	SCA	SCM	UMM	NOR
1988	NOR	SCA	SCA	NOR	UMM	UMM	NOR	SCA	EXS	UMM	UMM	UMM
1989	NOR	NOR	NOR	SCM	SCA	SCA	NOR	UMA	UMA	UMM	UMM	UMM
1990	UMA	UMM	NOR	SCM	NOR	SCM	NOR	UMM	UMA	UMM	NOR	SCM
1991	SCM	SCA	SCM	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	SCM	SCA	SCA	NOR
1992	SCM	SCM	NOR	UMA	EXU	UMA	UMM	SCM	UMM	UMM	UMM	SCM
1993	NOR	NOR	NOR	NOR	SCA	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	SCA	SCA
1994	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR	SCM	SCA	SCA	SCA	NOR
1995	UMA	UMM	UMA	UMA	UMA	NOR	NOR	SCM	NOR	UMM	UMM	NOR
1996	SCA	NOR	UMA	UMA	UMM	SCA	SCA	SCA	NOR	UMM	NOR	UMA
1997	EXU	EXU	UMA	SCS	SCM	UMA	UMA	UMB	SCM	NOR	UMM	UMB
1998	NOR	NOR	UMB	UMA	UMA	UMB	NOR	NOR	UMB	UMM	UMB	NOR
1999	UMA	UMA	EXU	UMA	UMA	UMM	NOR	NOR	NOR	SCM	SCA	SCA
2000	SCA	UMM	UMA	UMA	NOR	SCA	SCM	UMM	UMA	UMM	NOR	SCM
2001	SCM	NOR	NOR	NOR	SCM	NOR	NOR	NOR	NOR	SCM	SCA	SCM

(continuação)

2002	NOR	NOR	SCM	EXS	NOR	NOR	UMM	NOR	UMM	UMM	UMM	NOR
2003	UMM	NOR	NOR	NOR	SCM	SCM	NOR	NOR	NOR	NOR	SCA	SCA
2004	SCA	EXS	EXS	SCA	NOR	UMM	UMM	NOR	SCA	NOR	NOR	NOR
2005	UMA	NOR	UMM	EXS	SCA	NOR	NOR	NOR	NOR	UMM	UMA	UMM
2006	SCM	NOR	NOR	NOR	SCM	EXS	EXS	SCA	NOR	NOR	NOR	NOR
2007	NOR	UMA	UMM	UMM	NOR	NOR	UMA	UMA	UMM	EXS	SCA	NOR
2008	NOR	SCM	SCM	NOR	NOR	SCM	SCA	SCM	NOR	NOR	SCA	SCA
2009	SCM	SCM	SCM	SCA	SCA	NOR	UMM	UMA	UMA	UMA	UMA	UMM
2010	UMB	UMB	UMM	UMB	NOR	SCS	SCM	SCM	NOR	NOR	SCS	SCM

Legenda: **EXU** – Extremamente úmido, **UMA** – Umidade Alta, **UMM** - Umidade Moderada, **UMB** – Umidade Baixa, **NOR** – Normal, **SCS** – Seca Suave, **SCM** – Seca Moderada, **SCA** – Seca Alta, **EXS** – Extremamente Seco.

Também foi avaliado o índice RAI, como mostra a Tabela 13. Os resultados obtidos através dos dois índices se mostraram satisfatórios para a área de estudo, sendo que a diferença observada entre os dois está dentro da faixa de classificação entre chuva fraca – normal e seca fraca, no qual o índice SPI demonstrou maior variação, já o índice RAI para a referida faixa se mostrou mais eficaz na representação do fenômeno pluvial estudado, já que o referido índice não trabalha com uma faixa de variação, e sim com um valor fixo para a faixa dos valores da classe normal.

**Tabela 13** - Resultado do índice RAI.

(continua)

Ano/ Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1976	NOR	NOR	NOR	SCS	UMB	SCS	SCS	UMB	NOR	NOR	NOR	NOR
1977	UMB	SCS	NOR	NOR	SCM	NOR	SCM	SCM	SCS	SCS	UMB	UMB
1978	SCS	SCM	UMB	SCA	NOR	SCM	UMB	SCM	NOR	SCS	NOR	NOR
1979	SCS	UMB	SCM	SCM	NOR	SCA	SCS	SCS	UMB	NOR	UMB	NOR
1980	UMB	UMB	NOR	UMB	SCS	SCS	SCM	SCM	NOR	NOR	SCS	UMB
1981	NOR	NOR	SCS	NOR	SCA	NOR	SCM	SCM	SCM	UMB	UMB	UMB
1982	UMB	UMB	NOR	SCM	SCS	UMB	SCS	SCM	SCM	UMB	UMM	UMA
1983	UMB	SCS	UMB	NOR	UMB	UMB	SCM	SCA	UMB	NOR	UMB	UMB

(continuação)

1984	NOR	SCS	NOR	NOR	SCM	SCA	SCA	SCS	NOR	SCS	SCS	UMM
1985	NOR	NOR	NOR	UMB	NOR	SCM	SCM	SCM	SCM	SCM	NOR	SCS
1986	NOR	UMB	NOR	NOR	UMB	SCA	SCM	UMB	NOR	SCS	NOR	UMB
1987	NOR	UMB	SCS	SCS	UMB	NOR	SCM	SCA	SCS	NOR	UMB	SCS
1988	NOR	NOR	SCS	SCS	UMB	SCS	SCA	SCA	SCM	UMM	SCS	NOR
1989	UMM	SCS	NOR	SCM	SCM	SCS	NOR	NOR	NOR	SCS	UMB	UMB
1990	UMM	SCS	NOR	SCS	SCS	SCM	NOR	NOR	NOR	SCS	NOR	NOR
1991	NOR	SCS	NOR	NOR	SCM	NOR	SCM	SCM	SCS	SCS	NOR	NOR
1992	SCS	UMB	UMM	NOR	UMB	SCS	SCM	SCM	UMB	NOR	NOR	NOR
1993	UMB	UMB	SCS	SCS	SCS	NOR	SCM	SCM	NOR	SCS	SCS	UMB
1994	UMB	NOR	NOR	SCS	SCS	NOR	SCM	SCA	SCM	SCS	NOR	UMB
1995	UMM	NOR	UMB	UMB	SCS	SCM	SCM	SCM	NOR	UMB	NOR	SCS
1996	NOR	UMB	UMB	SCS	SCS	SCM	SCM	SCM	NOR	NOR	SCS	UMM
1997	EXU	NOR	SCM	SCS	NOR	UMB	SCM	SCM	SCS	UMB	UMB	SCS
1998	NOR	UMB	UMB	UMB	NOR	SCM	SCM	SCS	UMB	UMB	SCM	UMB
1999	UMA	UMB	UMB	NOR	SCS	NOR	SCS	SCA	SCS	NOR	SCM	NOR
2000	NOR	UMM	UMB	SCS	SCM	SCM	SCS	NOR	UMB	NOR	NOR	NOR
2001	UMB	UMB	SCS	SCM	NOR	SCS	SCM	SCM	SCM	SCM	SCS	UMB
2002	UMB	SCS	SCS	SCM	UMB	SCM	SCS	SCS	NOR	NOR	NOR	UMB
2003	UMB	NOR	SCS	NOR	SCS	SCS	SCS	SCS	SCS	SCS	SCS	SCS
2004	SCS	SCM	SCS	SCS	UMB	SCS	SCS	SCA	SCM	UMB	NOR	SCS
2005	UMA	SCS	SCS	SCM	SCS	SCS	SCM	SCM	UMB	UMB	NOR	UMB
2006	SCS	UMB	NOR	SCS	SCM	SCM	SCM	SCM	NOR	NOR	SCS	UMB
2007	UMB	UMB	SCS	SCS	NOR	SCM	UMB	SCA	SCM	SCM	UMB	NOR
2008	NOR	NOR	NOR	NOR	SCS	SCM	SCA	SCS	SCS	SCS	SCS	SCS
2009	UMB	NOR	SCM	SCS	SCS	SCS	UMB	NOR	NOR	UMB	UMB	NOR
2010	UMM	UMB	NOR	NOR	SCM	SCM	SCS	SCM	SCS	NOR	SCS	SCS

Legenda: **EXU** – Extremamente úmido, **UMA** – Umidade Alta, **UMM**- Umidade Moderada, **UMB** - Umidade Baixa, **NOR** – Normal, **SCS** – Seca Suave, **SCM** – Seca Moderada, **SCA** – Seca Alta, **EXS** – Extremamente Seco.

Em relação a classificação da área sobre os períodos de maior ou menor chuva, os gráficos representados na Figura 24 mostra os anos de El Niño considerados de intensidade



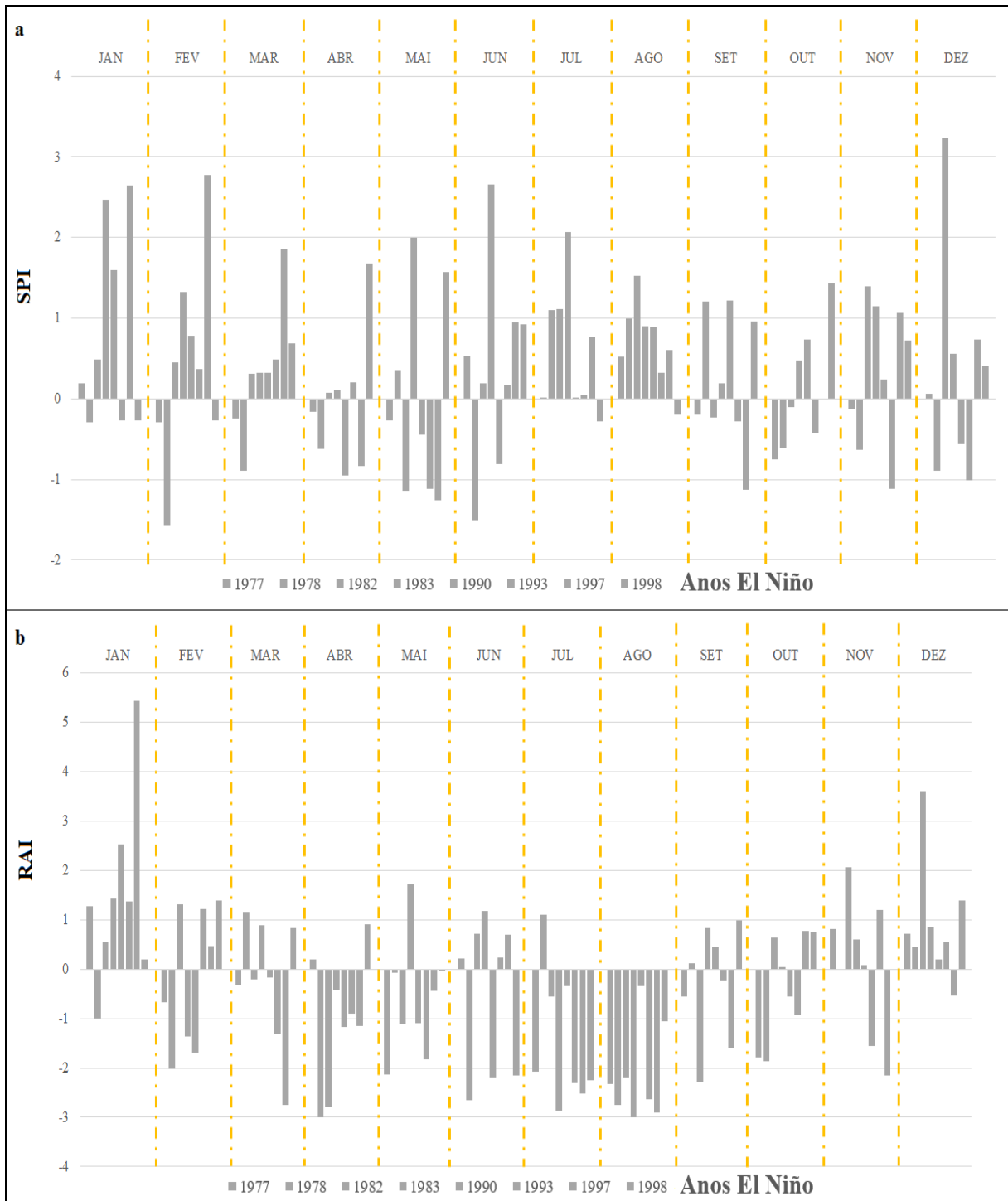
forte de acordo com CPTEC/INPE, sendo os anos 1977, 1978, 1982, 1983, 1990, 1993, 1997 e 1998 para os dois índices SPI (Figura 24 a) e RAI (Figura 24 b). Pode ser observado nos gráficos como se comportou cada período em relação ao índice aplicado, sendo que para o índice SPI em relação ao RAI os valores de precipitação pluvial foram mais marcantes, sendo que os períodos de maior intensidade de chuvas ocorreram, em geral, nos anos 1982, 1983, 1990 e 1997. Nos meses de dezembro a março, período considerado chuvoso na região, alguns anos apresentaram registro de seca pelo índice SPI, em dezembro os anos 1978, 1990, 1993, em janeiro os anos 1978, 1993, 1998, em fevereiro 1977, 1978 e 1998 e em março os anos 1977 e 1978. Já para os meses considerados secos (maio a agosto) alguns anos apresentaram valores altos de precipitação pluvial, em maio os anos 1978, 1983 e 1998, no mês de junho os anos 1977, 1982, 1983, 1993, 1997 e 1998, já em julho e agosto todos os anos apresentaram períodos com chuva, exceto em 1998. O mesmo padrão não é possível observar para o índice RAI, que no período seco de julho e agosto todos os anos foram considerados secos, exceto em julho de 1978, que apresentou característica de umidade baixa (UMB).

A Figura 25 mostra os anos de La Niña considerados de intensidade forte de acordo com CPTEC/INPE, sendo os anos 1976, 1988, 1989, 2007, 2008 para os dois índices SPI (Figura 25 a) e RAI (Figura 25 b). É possível observar que o índice RAI conseguiu capturar os períodos de seca de forma mais marcante que o SPI. Nos meses maio, julho e agosto, é possível observar que alguns anos registraram umidade, sendo os anos 1976 e 1988 no mês de maio, 2008 em julho e 1976 em agosto. Quanto ao período úmido, os meses janeiro, fevereiro e março, apresentaram anos secos, como em 1988, 2007 no mês de janeiro, 1988 e 1989 em fevereiro e 1988 e 2008 em março. Isso pode indicar que o evento La Niña influenciou de forma mais marcante nesses anos.

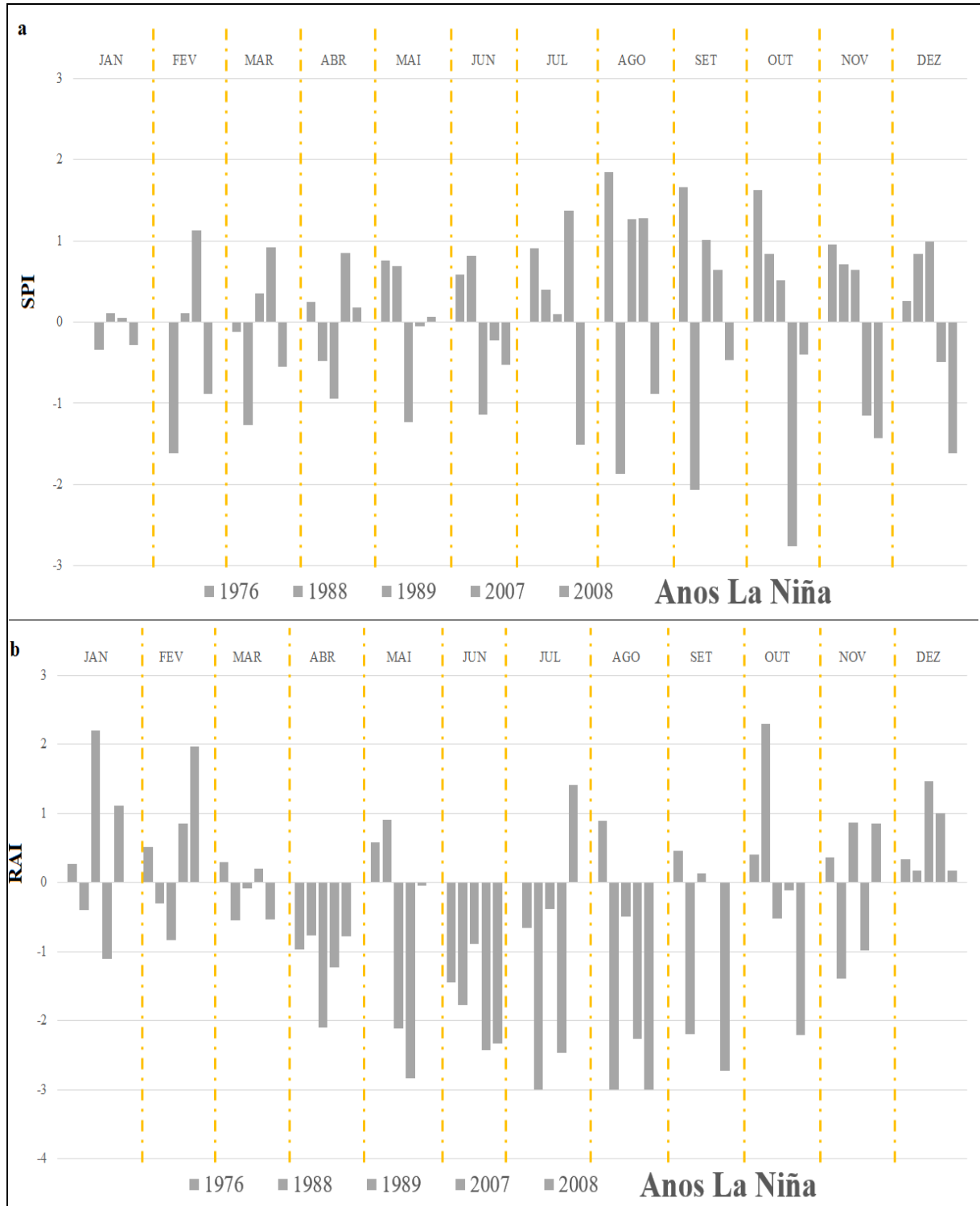
Em relação aos meses setembro a dezembro, os valores obtidos mostram os períodos de transição entre o período de estiagem para o chuvoso, no qual a alternância entre anos secos e chuvosos é mais marcante, em grande parte esta variação entre seco e chuvoso se deve ao início dos eventos de El Niño e La Niña, que justamente neste período que tem uma maior influência sob as condições climáticas da área de estudo.

Logo conclui-se que para a região da UGRHI, o índice RAI é o mais apropriado para descrever e ser utilizado no planejamento da gestão hídrica, pois mostrou-se mais eficaz e preciso na classificação dos períodos de seca e chuva para a referida região, como pode ser observado na Tabela 12, proporcionando uma melhor delimitação dos meses sob períodos de grande e pouca intensidade de chuva.

**Figura 24-** Variabilidade dos índice SPI e RAI na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul em anos de El Niño.



**Figura 25-** Variabilidade dos índice SPI e RAI na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul em anos de La Niña.



### **6.1.2 Análise da variabilidade das variáveis climáticas e vegetação nas regiões do PNSB, PESM e APASMA**

Nesta etapa, a análise da variabilidade das variáveis climáticas é levada em consideração as áreas amostrais, bem como as escalas espaciais e temporais dos índices biofísicos, para posteriormente relacioná-las com os dados de vegetação.

As Figuras 26 a 31 mostram através dos gráficos *box plot* a variabilidade dos dados de chuva e temperatura para a série de análise 2000 a 2015.

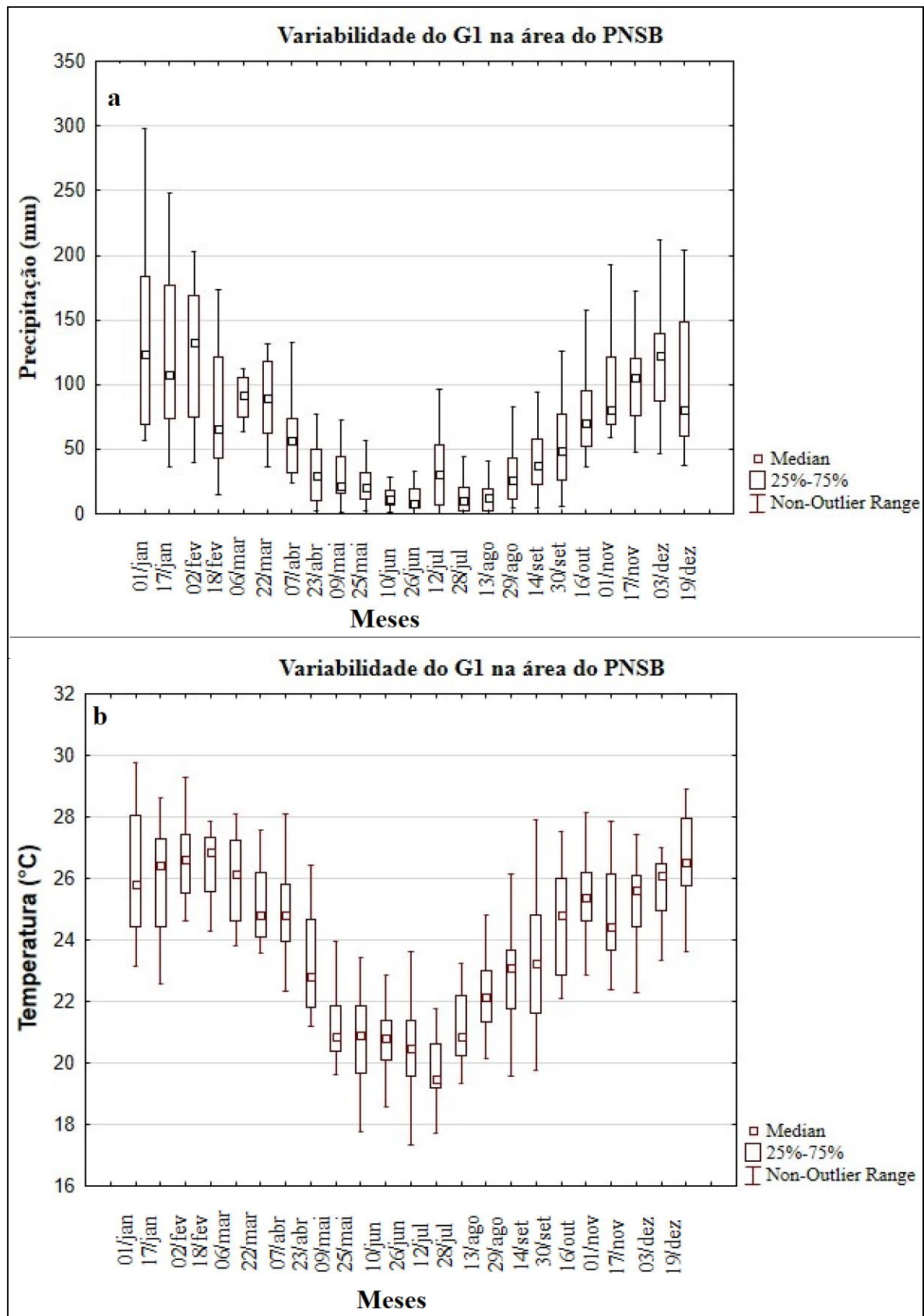
De maneira geral é possível observar que o comportamento das variáveis nas três regiões de análise (A1- Parque Nacional Serra da Bocaina, A2 – Parque Estadual da Serra do Mar e A3 – Área de Proteção da Serra da Mantiqueira), seguem o padrão de chuvas mais intensas no verão e baixa precipitação no inverno (déficit hídrico).

Nesta etapa, é interessante identificar as possíveis diferenciações entre as regiões que englobam as áreas de cada grupo de vegetação (G1 e G2) a fim de relacionar, posteriormente, com a dinâmica da produtividade, ou seja, em termos de biomassa da floresta natural da Mata Atlântica Paulista. O início da estação chuvosa, assim como sua intensidade e variabilidade espacial e temporal, são aspectos importantes do clima pois exerce uma importante função ecológica, como por exemplo nos padrões fenológicos da vegetação.

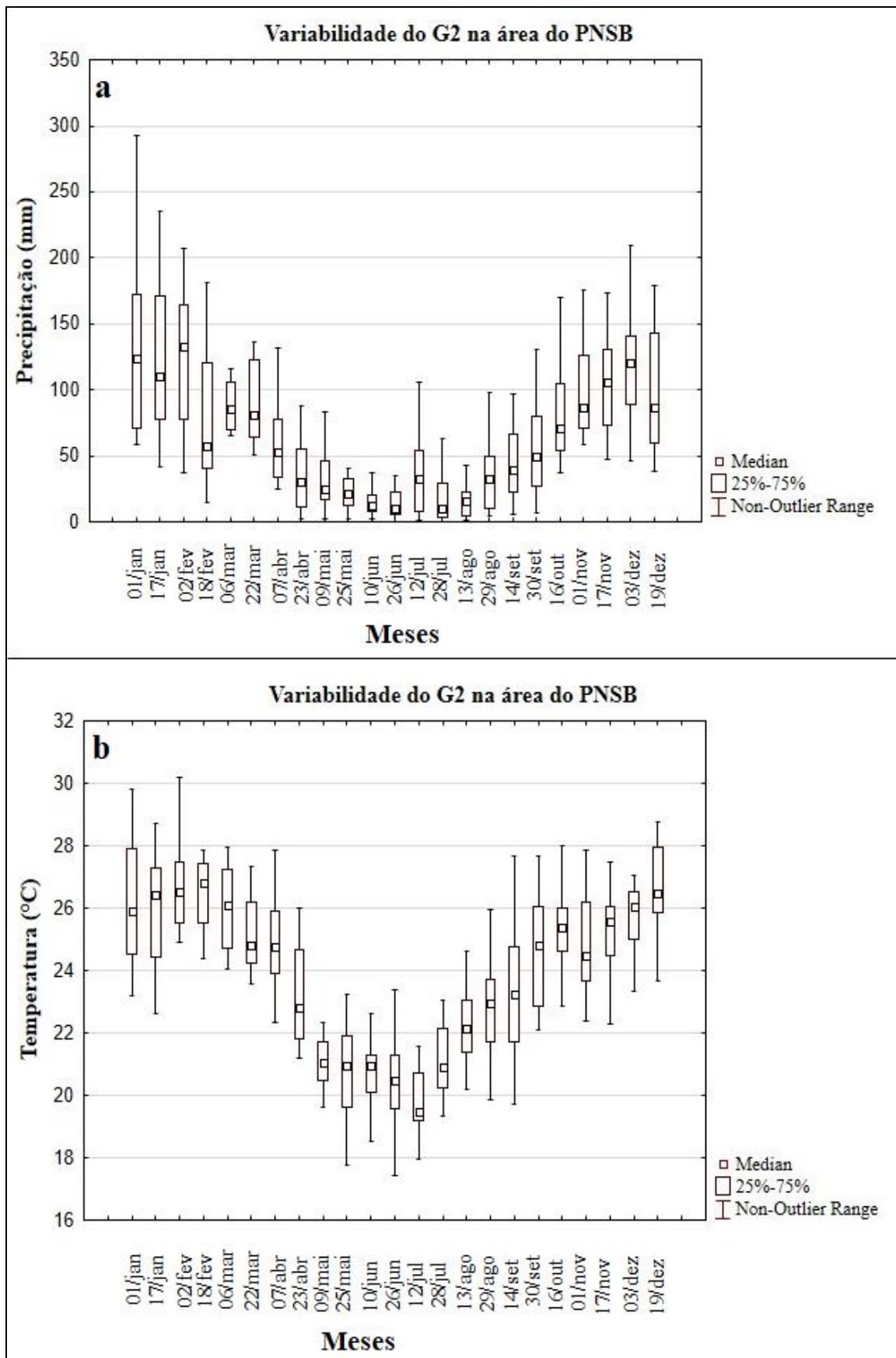
Os resultados mostram que a média da série utilizada de 2000 a 2015 indicam que o início da estação chuvosa ocorre entre os dias 14 de setembro no PNSB e PESM e em 16 de outubro na região da APASMA, enquanto que a estação seca ocorre entre os dias 25 de maio nas áreas PNSB e PESM e em 10 de junho na região da APASMA.

Na região do PNSB, a média anual da temperatura oscilou entre 22 °C a 26°C nas áreas representativas dos grupos G1 e G2 (Figura 31). Nota-se temperaturas mais elevadas nos meses de verão (dezembro a março) e verifica-se a diminuição das temperaturas na transição entre as estações verão e inverno até ser observado as mínimas no período do inverno. Tal padrão, pode ser analisado através da correlação (Tabela 14), ou seja, nos meses onde há maior incidência de temperatura elevada se equipara ao período em que se encontra os valores maiores de chuva precipitada (verão) enquanto que no período oposto (inverno), as temperaturas são climatologicamente amenas e é onde encontra-se o período menos chuvoso do ano.

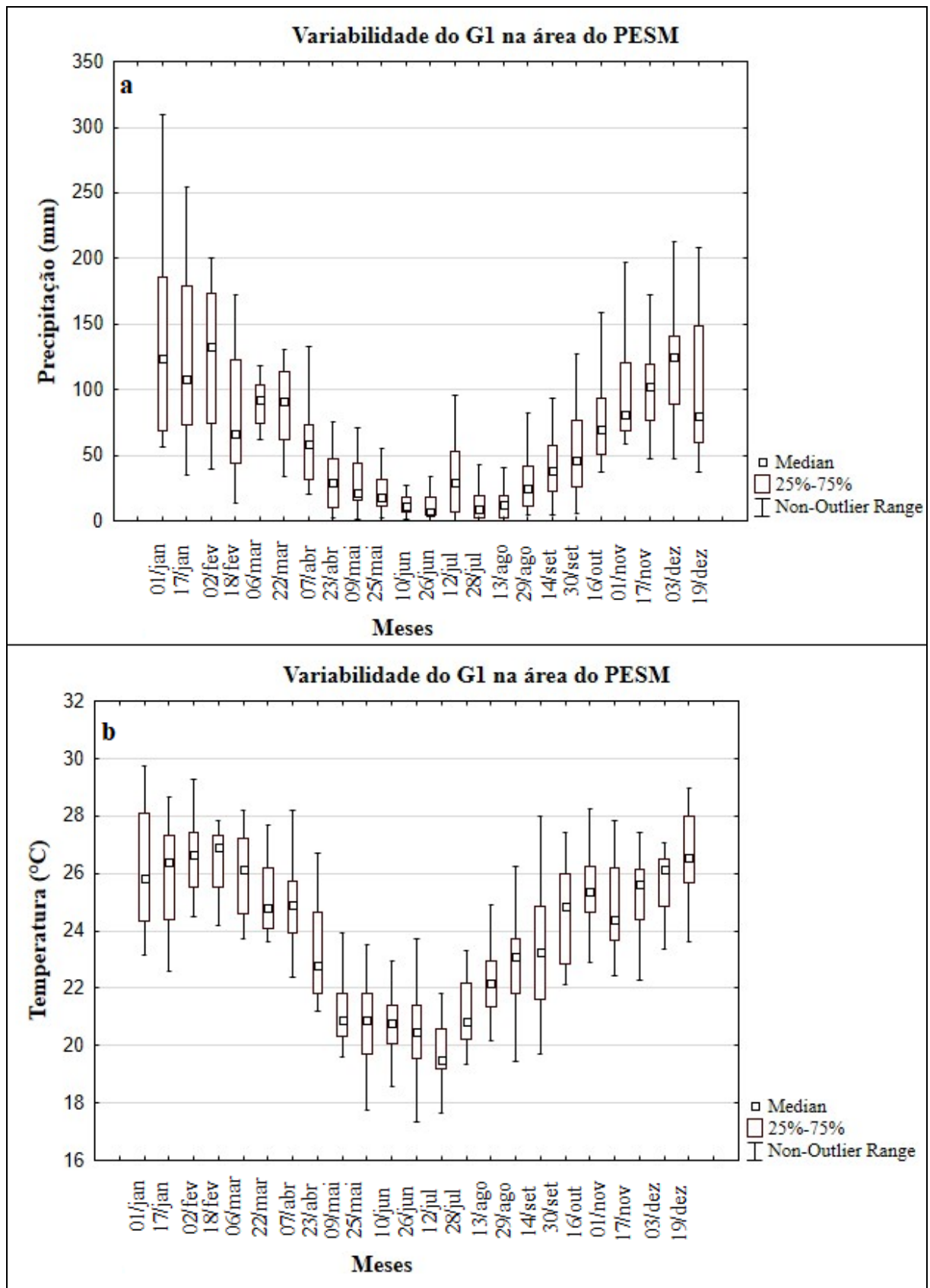
Figura 26 – Variabilidade da precipitação pluvial e temperatura do G1 da A1 (PNSB)



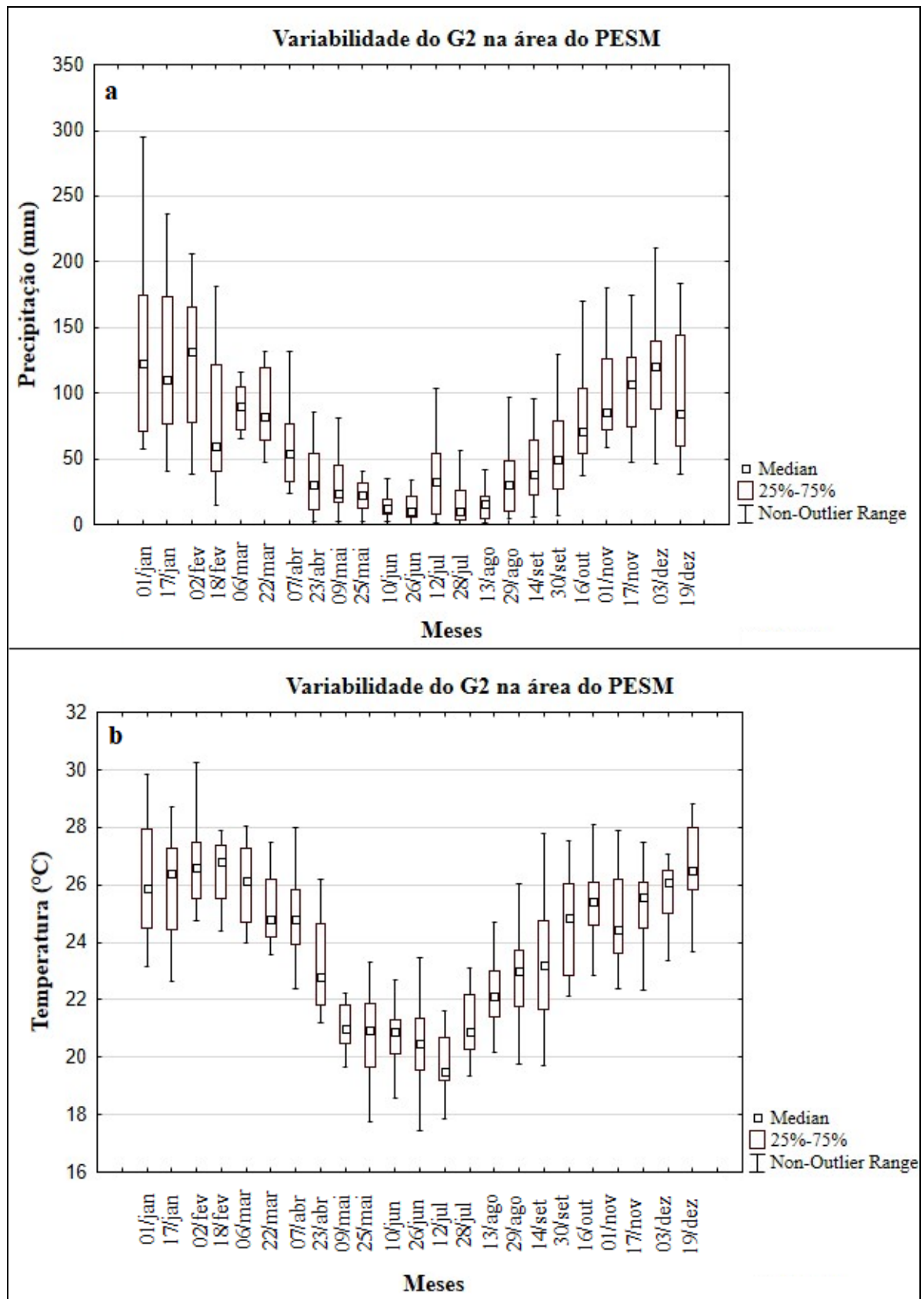
**Figura 27** – Variabilidade da precipitação pluvial e temperatura do G2 da A1 (PNSB)



**Figura 28** – Variabilidade da precipitação pluvial e temperatura do G1 da A2 (PESM)

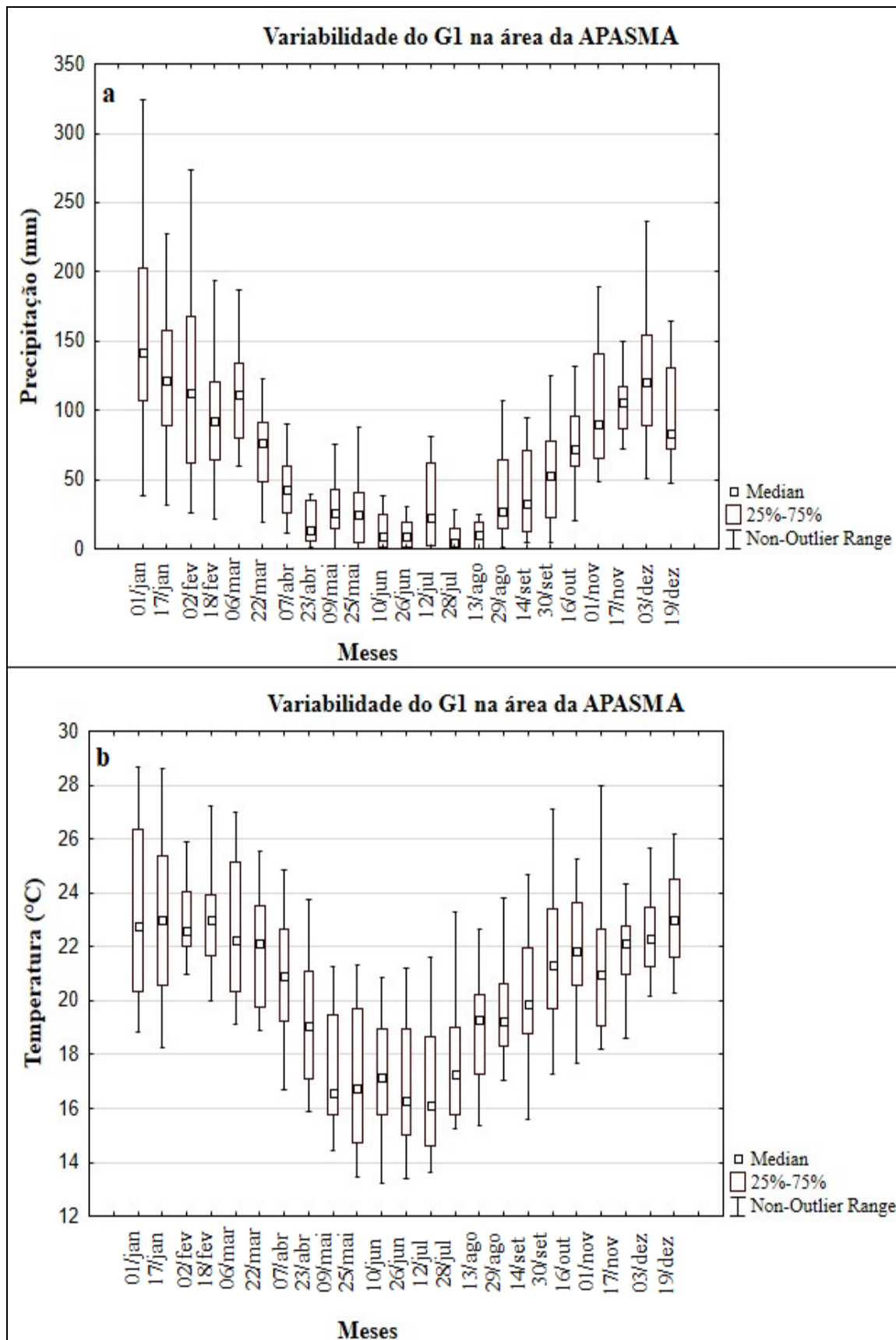


**Figura 29** – Variabilidade da precipitação pluvial e temperatura do G2 da A2 (PESM)

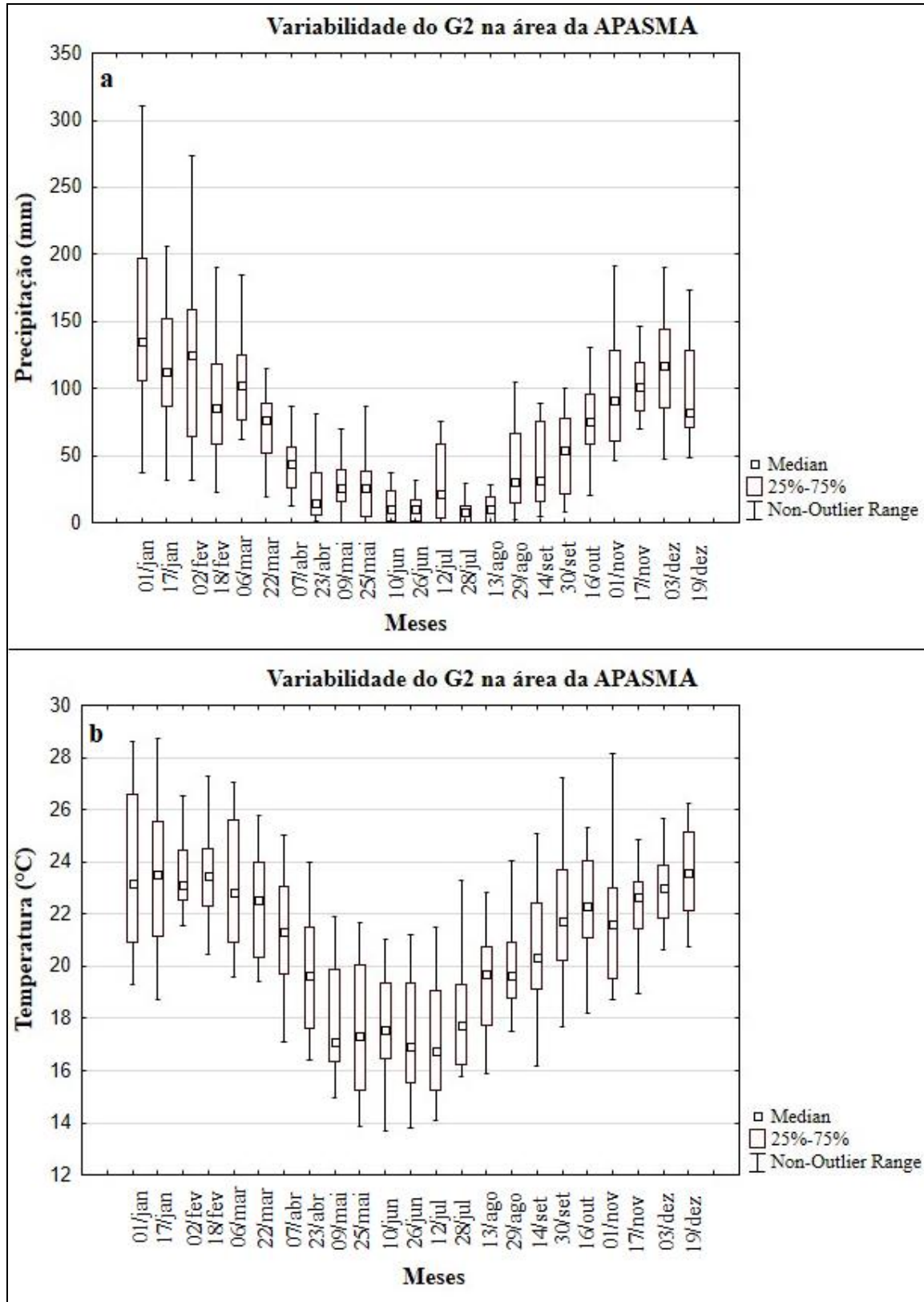




**Figura 30** – Variabilidade da precipitação pluvial e temperatura do G1 da A3 (APASMA)



**Figura 31** – Variabilidade das variáveis climáticas precipitação pluvial e temperatura do G2 da A3 (APASMA)



**Tabela 14** – Estatística Correlação de *Spearman*.

Matriz de Correlação												
	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.
	G1A1	G1A1	G2A1	G2A1	G1A2	G1A2	G2A2	G2A2	G1A3	G1A3	G2A3	G2A3
Prec.												
G1A1	1	0,89	0,99	0,89	1	0,89	0,99	0,89	0,98	0,90	0,98	0,90
Temp.												
G1A1	0,89	1	0,87	1	0,89	1	0,87	1	0,86	0,98	0,87	0,99
Prec.												
G2A1	0,99	0,87	1	0,87	0,99	0,87	1	0,87	0,97	0,88	0,98	0,89
Temp.												
G2A1	0,89	1	0,87	1	0,89	1	0,87	1	0,86	0,98	0,87	0,99
Prec.												
G1A2	1	0,89	0,99	0,89	1	0,89	0,99	0,89	0,98	0,90	0,98	0,90
Temp.												
G1A2	0,89	1	0,87	1	0,89	1	0,87	1,00	0,86	0,98	0,87	0,99
Prec.												
G2A2	0,99	0,87	1	0,87	0,99	0,87	1	0,87	0,97	0,88	0,98	0,89
Temp.												
G2A2	0,89	1	0,87	1	0,89	1	0,87	1	0,86	0,98	0,87	0,99
Prec.												
G1A3	0,98	0,86	0,97	0,86	0,98	0,86	0,97	0,86	1	0,88	1	0,88
Temp.												
G1A3	0,90	0,98	0,88	0,98	0,90	0,98	0,88	0,98	0,88	1	0,89	1
Prec.												
G2A3	0,98	0,87	0,98	0,87	0,98	0,87	0,98	0,87	1	0,89	1	0,89
Temp.												
G2A3	0,90	0,99	0,89	0,99	0,90	0,99	0,89	0,99	0,88	1,00	0,89	1

**Legenda:** Prec. – precipitação (mm), Temp. – temperatura (°C), A1- (PNSB), A2 - (PESM), A3- (APASMA), G1- (grupo de formações florestais naturais) e G2 - (grupo de formações naturais não florestais).

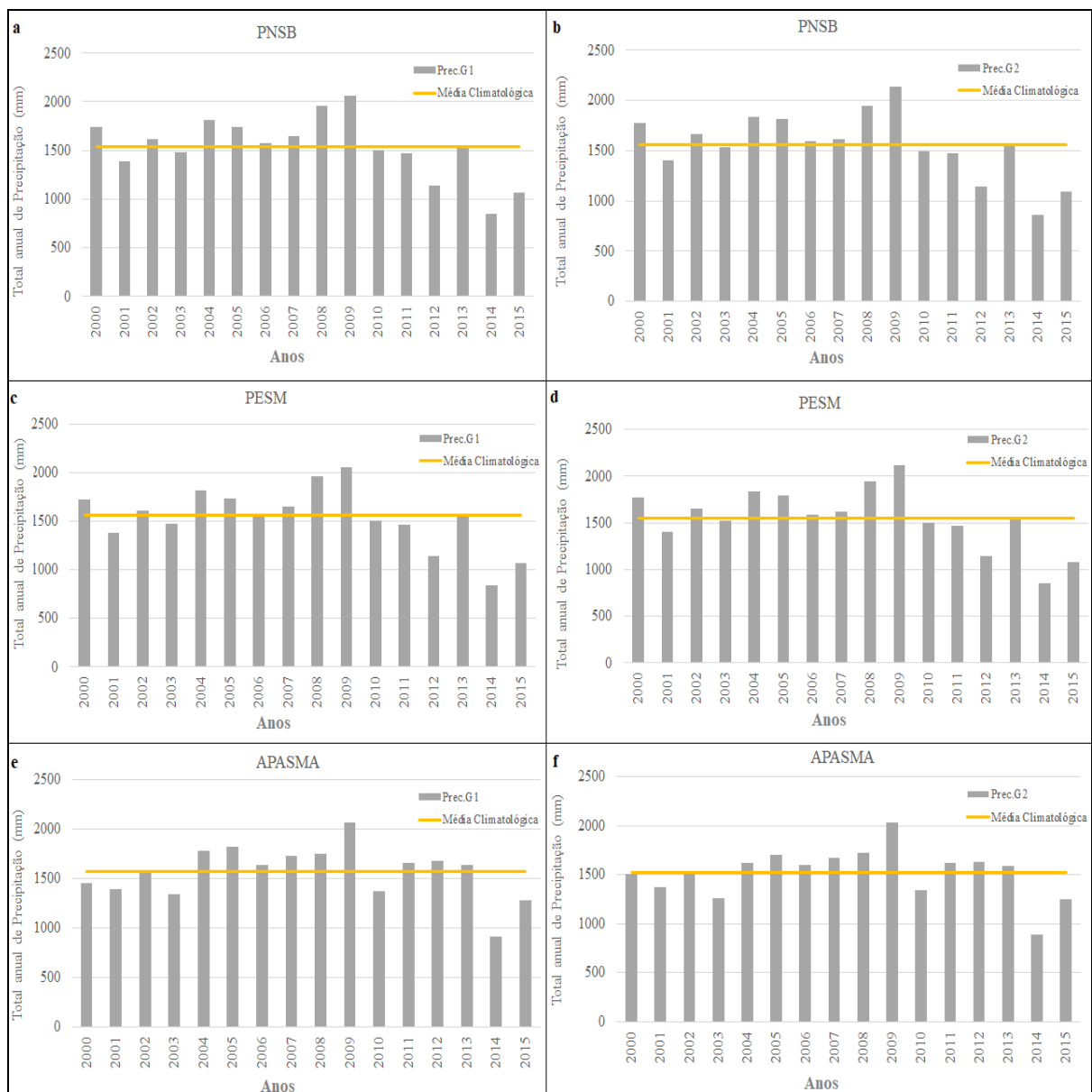
O total anual da precipitação entre G1 e G2 apresentou diferença de 21,07 mm e no G1 os anos 2001, 2003, 2010, 2011, 2012, 2014 e 2015 apresentaram os totais anuais abaixo da média climatológica (1537,41 mm), com destaque para o ano de 2014 que apresentou anomalia negativa de 690,28 mm e em 2009, com valor de 525,96 mm de precipitação acima da média climatológica (Figura 32 a). Assim como para o G2, em que também foi observado anomalia positiva no ano de 2009, com 574,65 mm acima da média climatológica (1558,48 mm) e em 2014 indicando anomalia negativa com total anual de 699,72 mm abaixo da média climatológica. É interessante observar o decréscimo de precipitação pluvial que se inicia ainda em 2013, com valores de precipitação abaixo da média no mês de dezembro (61, 29 mm), constatando a irregularidade de chuva no verão, estação do ano que representa meses mais chuvosos. E o ano de 2014 se destaca por ter sido um ano em que a seca atingiu a região do Sudeste, devido a presença de bloqueios atmosféricos sucessivos, impossibilitando a chegada de chuvas o que proporcionou um evento extremo de seca na região.

Na região do PESM, a média anual da temperatura oscilou entre 24 °C a 29°C nas áreas representativas dos grupos G1 e G2. Também é possível observar o gradiente dos valores de temperatura, observando os valores máximos nos meses que compreende o verão e as mínimas no inverno. O total anual da precipitação entre G1 e G2 não apresentou diferença significativa (13, 55 mm) e assim como na área do PNSB no G1 os anos 2001, 2003, 2010, 2011, 2012, 2014 e 2015 apresentaram os totais anuais abaixo da média climatológica (1566,78 mm), com destaque para o ano de 2014 que apresentou anomalia negativa de 722,51 mm e em 2009, foi observado anomalia positiva, com valor de 525,96 mm acima da média climatológica. Mesmo padrão para o G2, em que é observado anomalia positiva no ano de 2009, com 564,50 mm e em 2014 apresentando anomalia negativa de 697,70 mm precipitação pluvial abaixo da média climatológica (Figura 32 d).

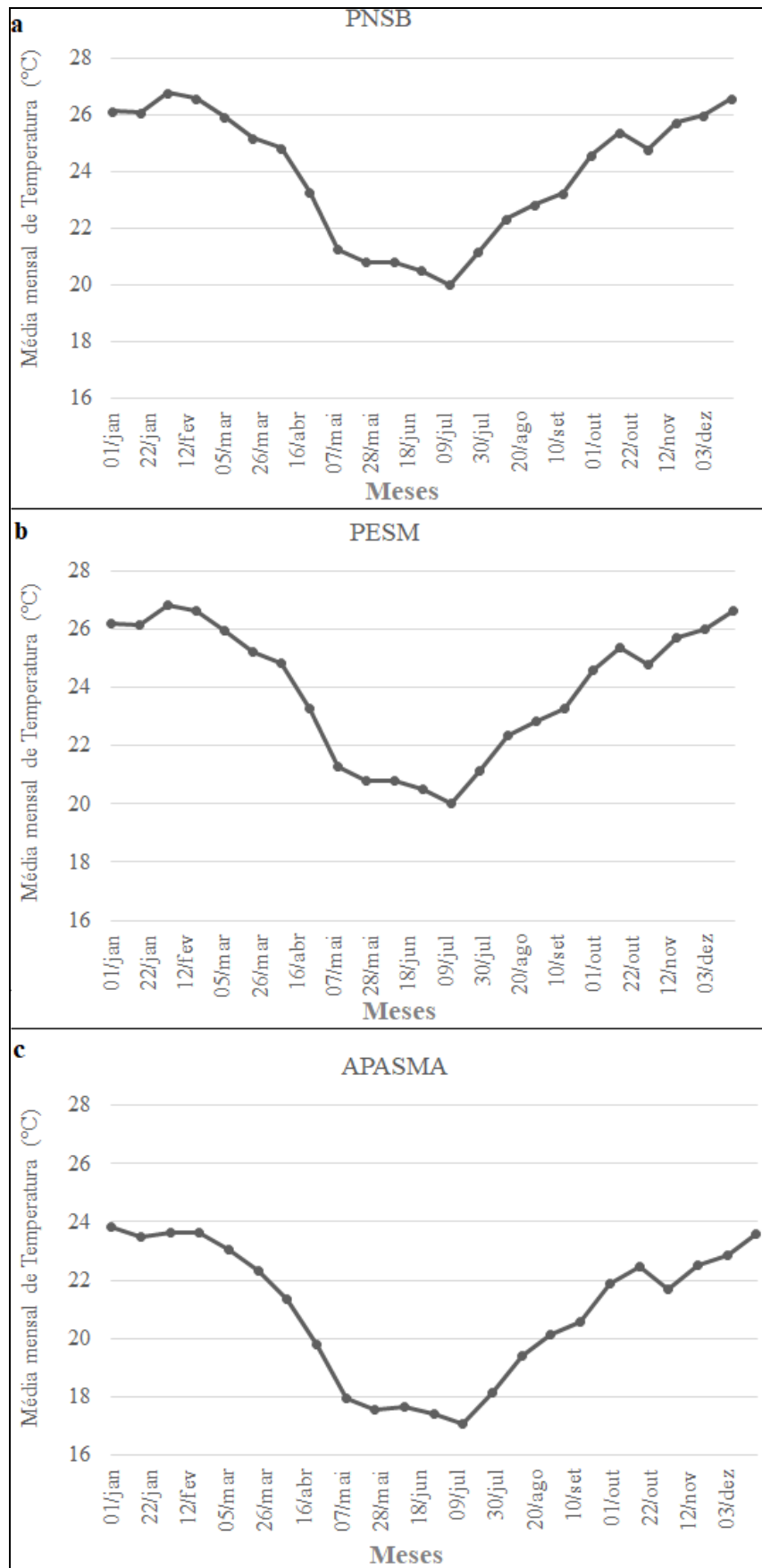
Na região da APASMA, a média anual da temperatura oscilou entre 18 °C a 23 °C, caracterizada por uma região com temperatura mais amena, no período da estação chuvosa poucos anos apresentaram temperatura máxima ultrapassando 23 °C, como nos anos 2001 e em 2014, que no mês de janeiro apresentaram temperatura de 28 °C. Embora as temperaturas mantivessem valores mais amenos, o padrão observado nas áreas do PSNB e PESM, também foi observado, com as maiores temperaturas no período chuvoso (verão) e as mínimas na estação seca (inverno). Do total anual da precipitação entre G1 e G2, foi a região que apresentou a maior diferença (48 mm). É possível observar que em relação aos anos que apresentaram valores abaixo da média climatológica (1568,62 mm para o G1 e 1520,80 mm para o G2), além dos anos 2001, 2003, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 nessa região o ano de

2000 também se enquadrava, apresentando anomalia negativa equivalente a 116,70 mm no G1 e 14,62 mm no G2. Novamente é possível observar os padrões encontrados nos anos 2009 e 2014, sendo que em 2009 observa-se os valores máximos de precipitação, com 495,16 mm acima da média climatológica para o G1 e 514,15 mm de precipitação para o G2. Enquanto que para o ano de 2014 as anomalias negativas são encontradas nas áreas G1 e G2, com 656,50 mm e 630,80 mm precipitação abaixo da média climatológica (Figura 32 f).

**Figura 32** – Variabilidade do total anual de precipitação e a média climatológica correspondente para as áreas PNSB, PESH, APASMA nos grupos G1 e G2.



**Figura 33** – Variabilidade da média mensal de temperatura.



### **6.1.3 Análise da variabilidade da vegetação através de variáveis biofísicas: EVI, LSWI e LAI**

A dinâmica sazonal da vegetação do PNSB pode ser observada através da Figura 29, em que é possível observar a variabilidade dos índices EVI, LSWI e LAI para os dois grupos de vegetação. Sendo o G1, o grupo de floresta natural, espera-se encontrar os maiores valores e de maneira geral observa-se que os valores dos três índices foram maiores para o G1 em relação ao G2, grupo de formação natural não florestal.

Como visto nas Figuras 26 a 31, o início da estação chuvosa na região ocorreu no mês de setembro e o EVI apresenta um aumento de novembro a março, período considerado chuvoso na região, com pico observado em dezembro para os dois grupos, com valor de EVI igual a 0,58 e 0,46 para G1 e G2 respectivamente. As maiores amplitudes são encontradas no período chuvoso e os menores valores do índice são observados no período seco, com valor mínimo encontrado no mês de agosto 0,43 para o G1 e 0,39 para o G2. Os padrões observados têm sido registrados na bibliografia como um padrão típico de formações florestais da Mata Atlântica (GURGEL, et al., 2003). Em geral os índices conseguiram estabelecer o padrão esperado, em que a queda das folhas é mais intensa durante a estação do inverno, período em que ocorre a diminuição da precipitação e da temperatura.

Os valores de LSWI mostraram-se mais sensíveis na estação seca com valores mínimos nesse período, oscilando entre 0,29 a 0,32. Este índice tem sido usado para caracterizar as condições hídricas da vegetação, entretanto, ao se comparar com o EVI, é possível verificar que não houve aumento significativo do seu valor na estação chuvosa, com valor máximo igual a 0,41 em dezembro para o G1 e 0,37 para o G2. Já os resultados de LAI mostram pico do índice em janeiro sendo que os valores entre os grupos não apresentaram diferenças, com valores iguais a 6,5 e 6,4 para G1 e G2 respectivamente.

O mesmo gradiente é observado na região do PESM, ou seja, os maiores valores são observados no G1 em relação ao G2. Em relação ao resultado do índice EVI no G1, nota-se que a vegetação tem um atraso na resposta fenológica quanto ao início do período seco. Isso de certa forma, é esperado, visto que as espécies respondem após a mudança ambiental e não durante tal mudança. Essa tendência está de acordo com os resultados obtidos nos índices de vegetação e o perfil temporal das variáveis climáticas como precipitação e temperatura que foram observadas na Figura 25, em que a diminuição da precipitação se inicia em abril atingindo a mínima no mês de junho, enquanto que a vegetação através do EVI inicia a queda

foliar no mês de maio atingindo seu valor mínimo entre julho e agosto, estabelecendo-se então, uma relação com a dinâmica climática da região. É observado que as maiores amplitudes estão dentro do período considerado chuvoso de dezembro a março em ambos os grupos assim como a observação das mínimas no período seco. Entretanto, o G2 não estabelece uma relação de atraso da vegetação em relação a entrada do período seco, mas a dinâmica foliar ocorre em sincronia com todo o período. Os resultados obtidos pelo índice LSWI também mostram um padrão de maiores valores no período chuvoso, com valor máximo do índice em dezembro  $lswi=0,43$  e  $lswi=0,38$  para os dois grupos respectivamente.

O G2 apresentou grande variabilidade e maiores valores do índice LAI e maiores amplitudes no período chuvoso em relação ao G1, com valor igual a 5,23 para G2 e 5,0 para G1 em janeiro. No G1 é possível perceber que o índice acompanha o padrão dos outros índices, com menores valores entre abril a agosto com LAI variando entre 2,29 a 2,33 enquanto que o G2 os valores oscilaram entre 4,78 a 5,28 no mesmo período.

Na região da APASMA a queda foliar na vegetação do G1 inicia-se em abril com valor de EVI igual a 0,41 até atingir o valor mínimo em julho com EVI igual a 0,35, enquanto que no G2 a queda do índice ocorre em julho com valor de EVI igual a 0,39 e o valor mínimo em agosto com EVI igual a 0,37. Nota-se que o G1 apresentou um padrão mais definido de início e fim do período seco, enquanto que a vegetação do G2 apresentou uma resposta tardia da sensibilidade a diminuição da precipitação, que iniciou em abril, como pode ser observada na Figura 26, mas que de maneira geral, novamente pode-se constatar um padrão no aumento do índice no aumento das chuvas e a diminuição no período de seca.

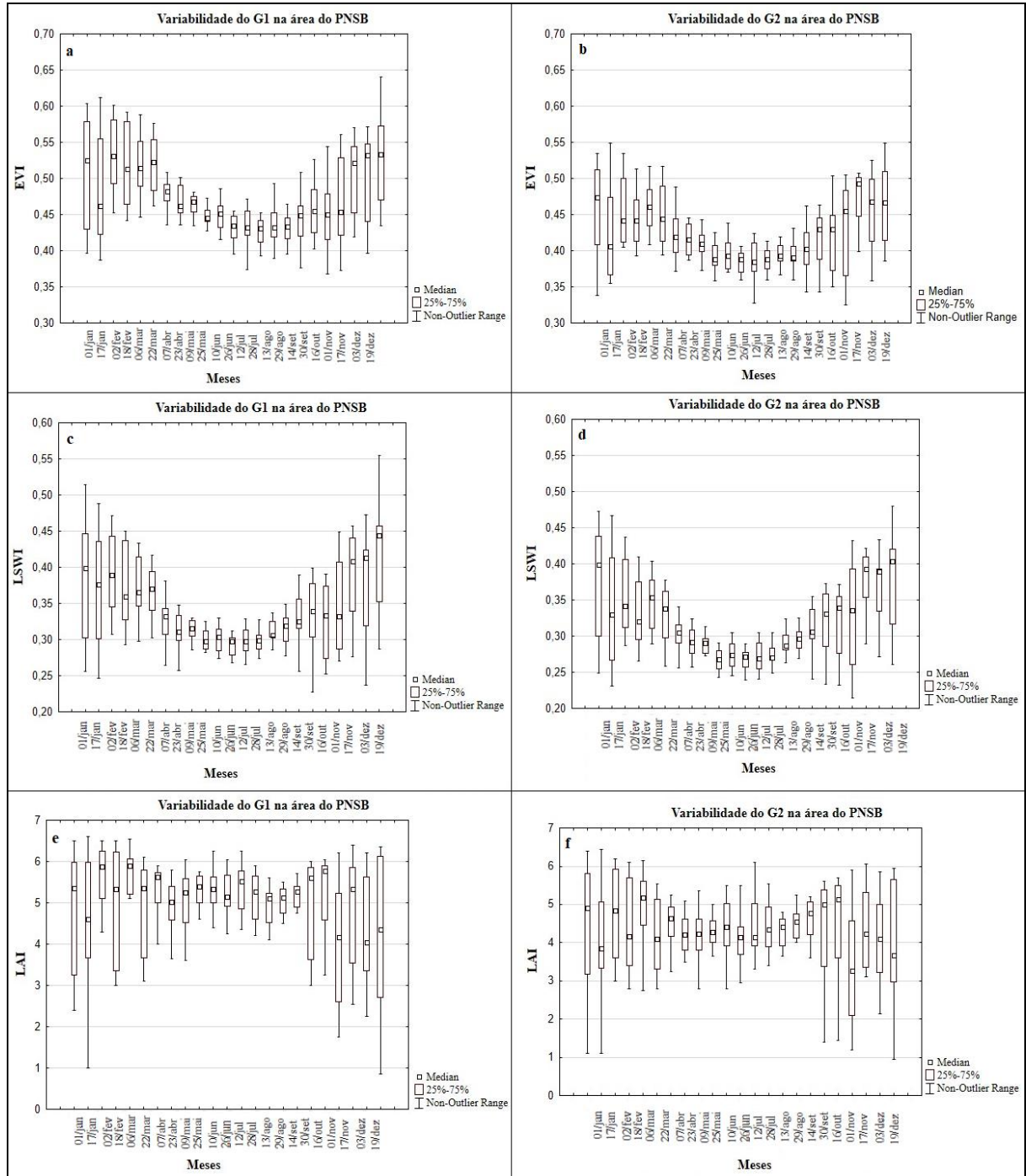
Ao analisar o índice LSWI, verifica-se que esse padrão observado para o EVI no G2 não acontece, a diminuição do índice ocorre juntamente ao início da diminuição das chuvas com valor de LSWI igual a 0,33, com o mínimo valor igual a 0,28 em junho e volta a aumentar no início do aumento da precipitação em setembro com LSWI igual a 0,35. Os valores máximos são encontrados entre os meses de dezembro a março assim como as maiores amplitudes para os dois grupos. Em relação ao LAI, o G2 apresentou apenas nos meses de maio e junho valores mínimos desse índice, mantendo nos demais meses característicos do período seco valores mais elevados, não havendo um padrão claro de declínio nessa época do ano. Já no G1 o índice capturou a sazonalidade esperada, com maiores valores no período chuvoso e menores em todo o período seco.

De maneira geral, os índices analisados revelaram a dinâmica foliar, a qual está relacionada com a regulação da energia e a troca gasosa (e.g  $CO_2$  e  $H_2O$ ) entre a vegetação e a

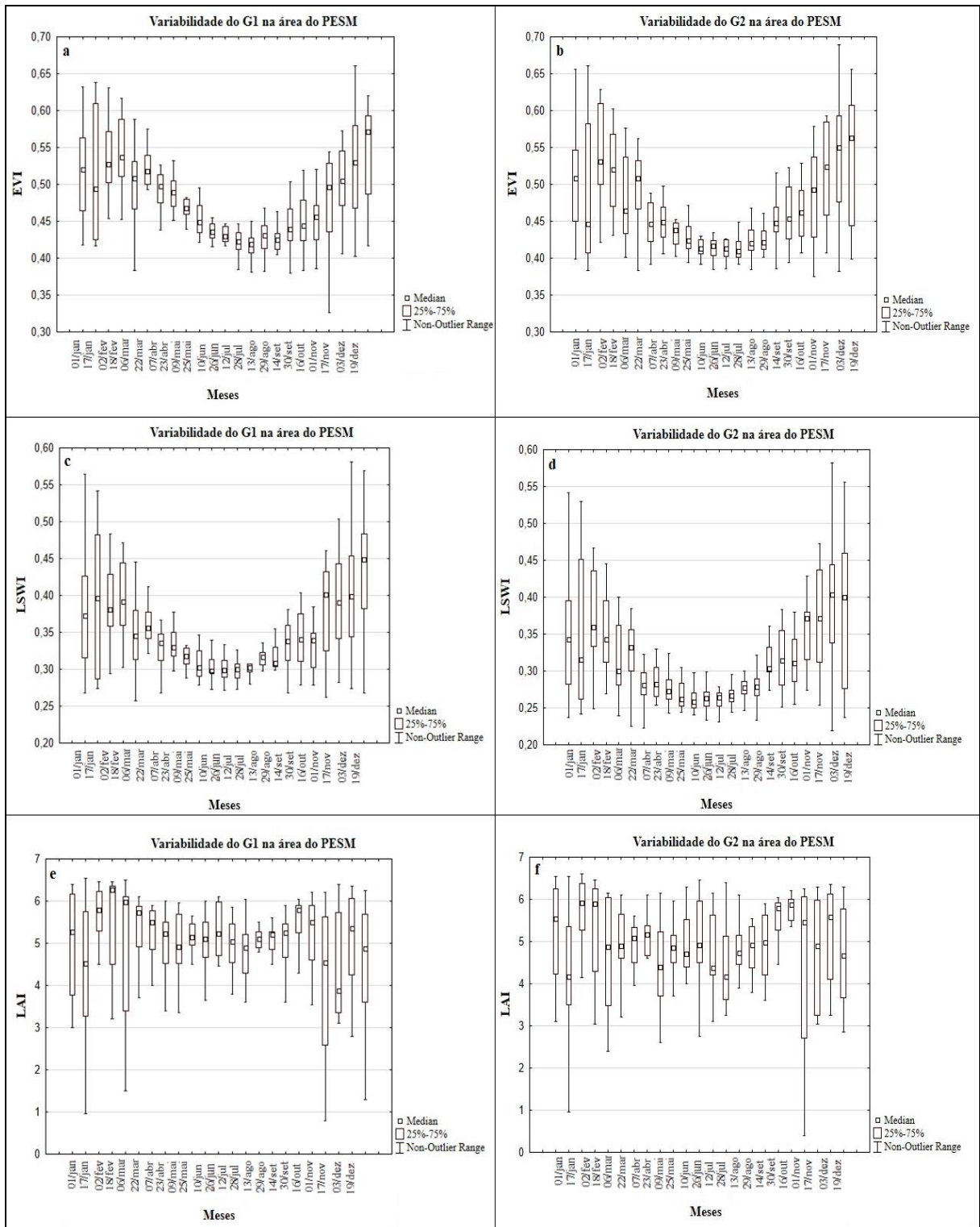


atmosfera por meio de processos como a fotossíntese, estabeleceram uma boa indicação da variação sazonal para os grupos de vegetações naturais da Mata Atlântica Paulista.

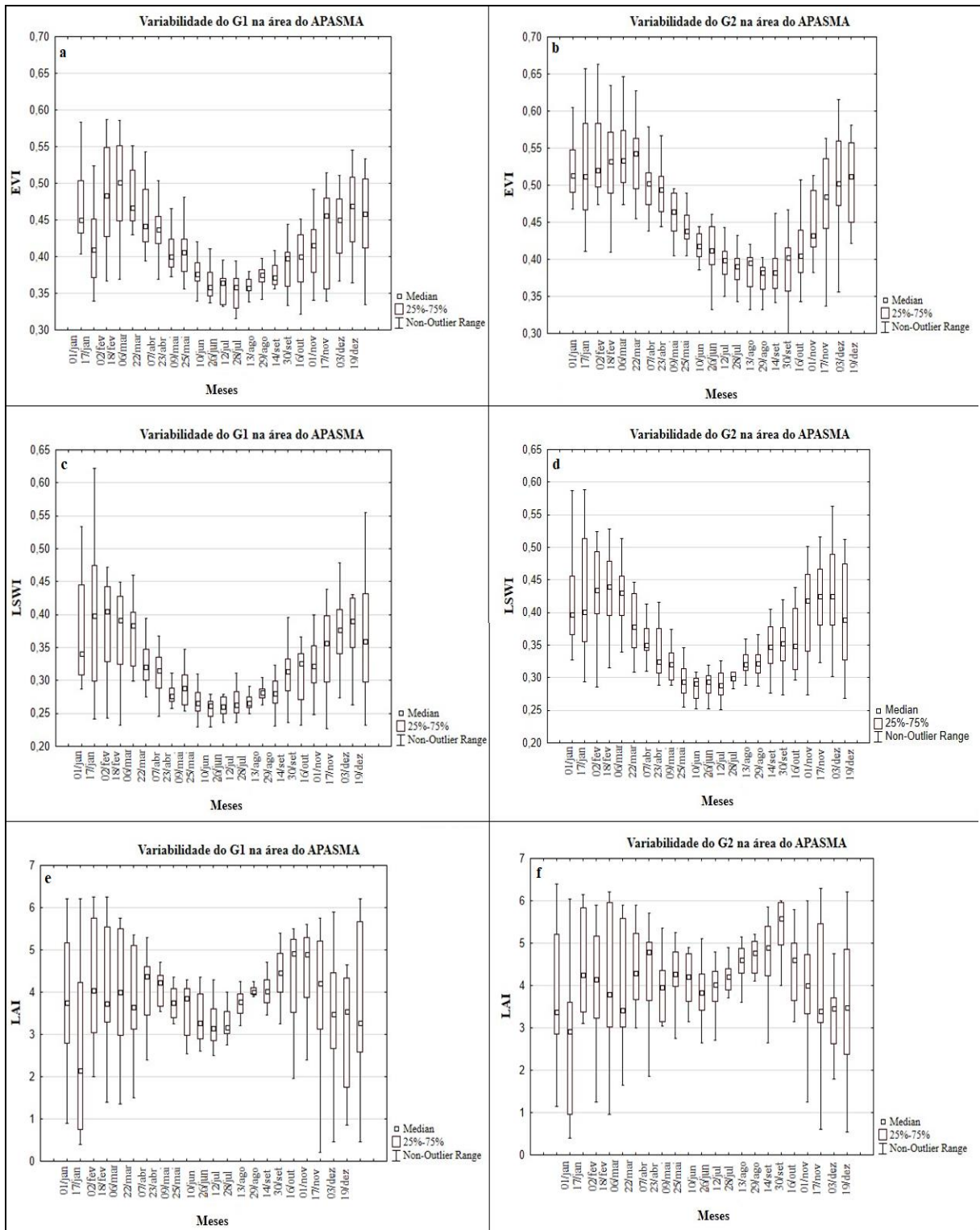
**Figura 34 – Dinâmica sazonal da vegetação do PNSB.**



**Figura 35 – Dinâmica sazonal da vegetação do PESH.**



**Figura 36 – Dinâmica sazonal da vegetação do APASMA.**



#### 6.1.4 Análise das relações entre variáveis climáticas e variáveis biofísicas da vegetação

Nessa etapa serão apresentados os resultados das relações de causa e efeito (as relações que se estabelecem) entre as variáveis climáticas e biofísicas da vegetação e que podem ser observados através dos diagramas de dispersão (*scatter plot*) como mostra as Figuras 37 a 45.

A Figura 37 apresenta as relações encontradas na região do PNSB, indicando relações positivas e significativas entre o EVI e as variáveis precipitação e temperatura para os grupos G1 e G2. Nota-se que as maiores relações foram observadas no G2 em ambas variáveis climáticas, em que  $r=0,87$  e 77% de significância estatística das relações com a precipitação e  $r=0,82$  e 68% de significância estatística com a temperatura. Já o G1, apresentou  $r=0,80$  e 65% de significância estatística das relações com a precipitação e  $r=0,82$  e 68% de significância estatística com a temperatura. Em relação ao índice LSWI, a Figura 38 mostra os resultados e indicam altas relações positivas e significativas entre os dados. Novamente o G2 apresentou as maiores relações, com  $r=0,93$  e 86% de significância estatística com a precipitação e  $r=0,91$  e 84% de significância estatística com a temperatura, enquanto que o G1 apresentou  $r=0,89$  e 80% com a precipitação e  $r=0,89$  e 80% de significância estatística com a temperatura. Já a Figura 39 mostra que não ocorreram relações significativas entre o índice LAI e as variáveis climáticas, com baixa significância estatística, com G1 apresentando valor de  $r=0,41$  e 17% de significância estatística com a precipitação e  $r=0,014$  e ausência de significância e o G2 com  $r=0,36$  e 13% de significância estatística com a precipitação e  $r=0,11$  e 1,2 % de significância.

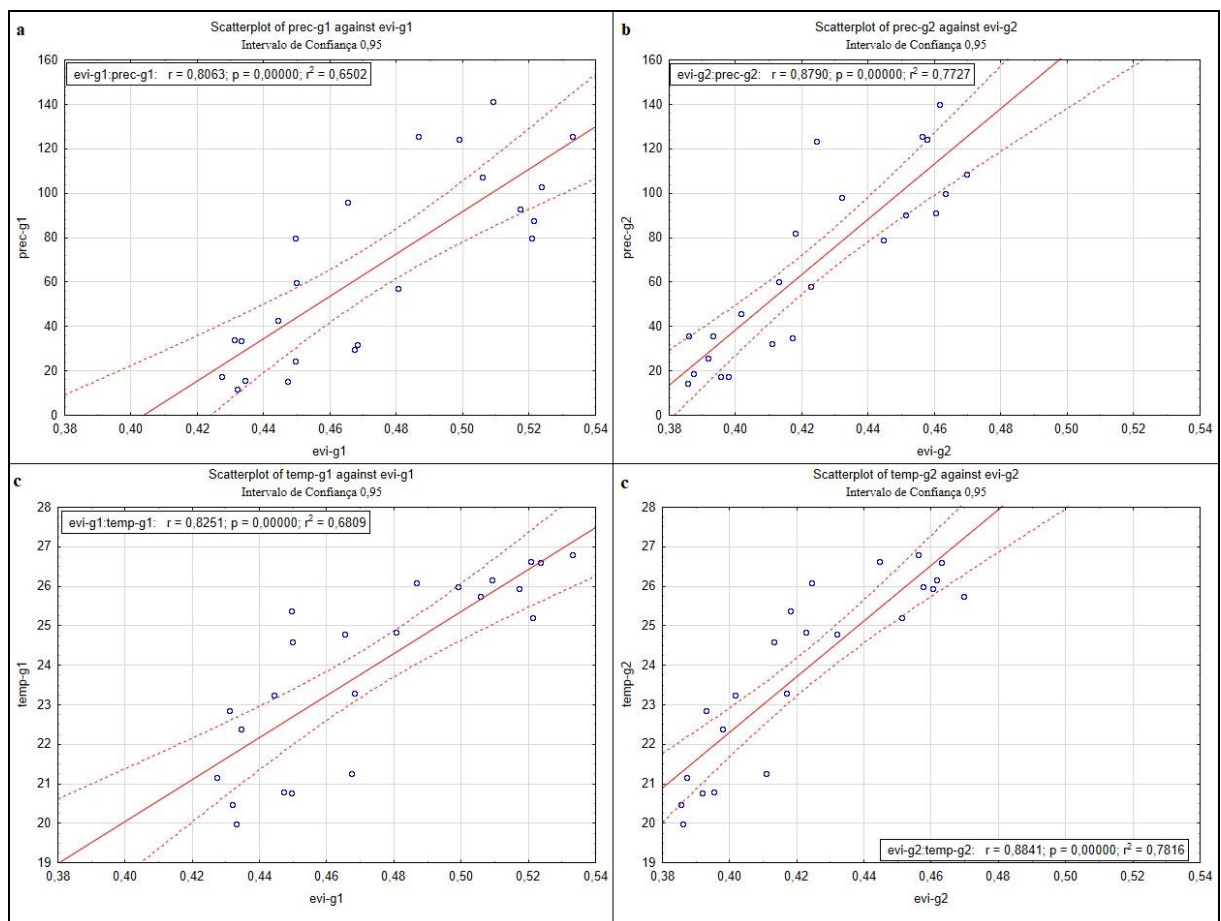
A Figura 40 apresenta as relações encontradas na região do PESH, e também revela relações positivas entre os índices EVI/LSWI com a precipitação e temperatura, enquanto o LAI também não apresentou relações significativas com as variáveis climáticas.

Constatou-se que para o G1, 65% da variação do EVI podem ser explicadas pela precipitação ( $r=0,80$ ) e 68% pela temperatura, enquanto que para o G2 ocorreu 81% com  $r=0,90$  para relação com a precipitação e 80% e  $r=0,89$  com a temperatura. Para o índice LSWI, nota-se que a relação estabeleceu com 78% de significância para precipitação ( $r=0,88$ ) e 80% de significância para temperatura ( $r=0,89$ ) no G1 e para o G2 83% da variação do LSWI (Figura 41) podem ser explicadas pela precipitação ( $r=0,91$ ) e 77% de significância quanto a relação com a temperatura ( $r=0,87$ ). O LAI (Figura 42) apresentou relação negativa

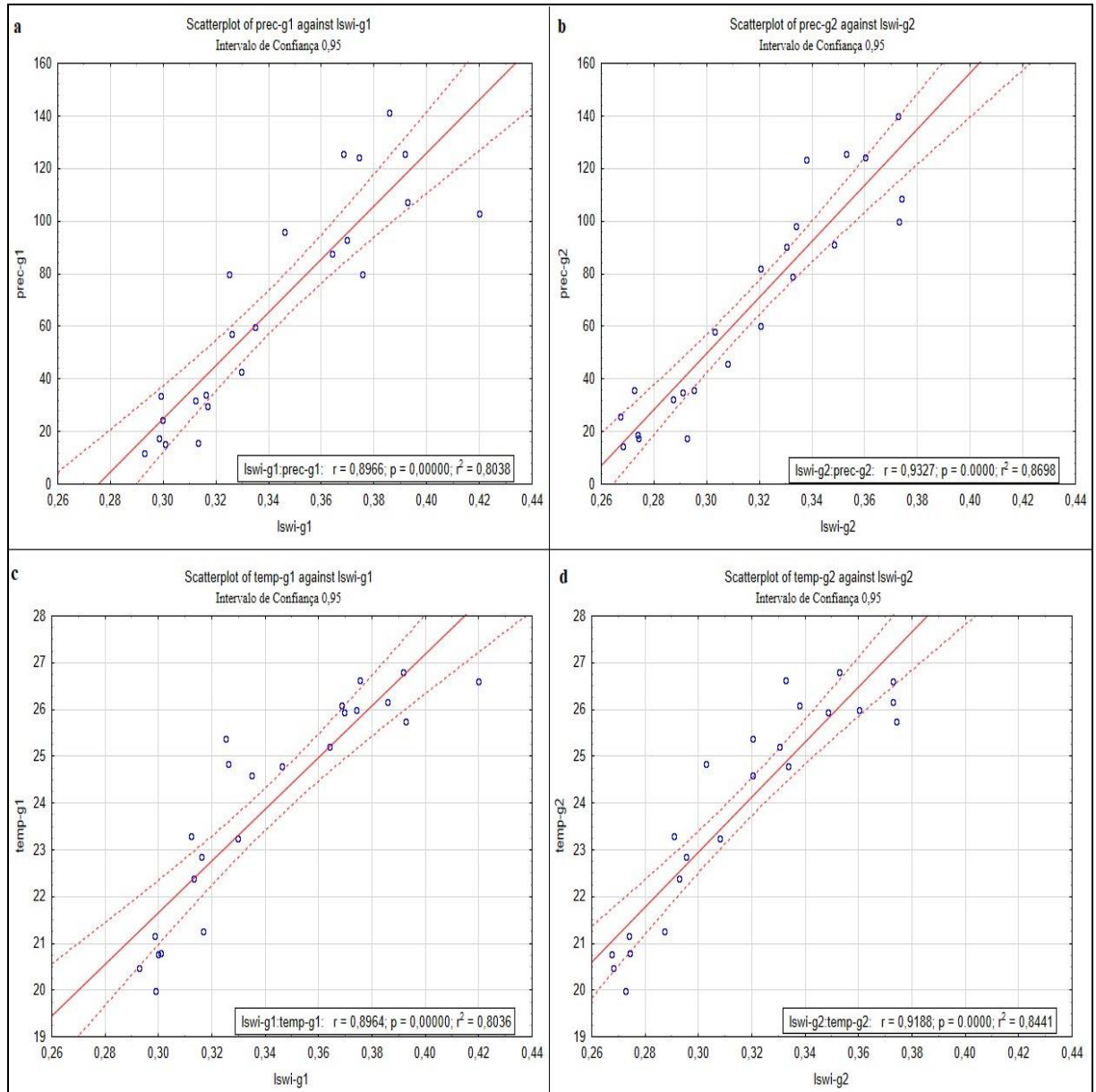
com a precipitação no G1, com  $r=-0,14$ , contudo nenhuma significância estatística, e ausência de relação com a temperatura ( $r=0,20$ ).

A Figura 43 apresenta as relações encontradas na região da APASMA e os resultados indicam que 67% da variação do EVI nessa região pode ser explicada pela variação da temperatura ( $r=0,82$ ) e que 74% de significância quanto a relação com a temperatura ( $r=0,86$ ) para o G1, enquanto que o G2 apresentou 51% e  $r=0,72$  para relação com a precipitação e  $r=0,67$  com 45% de significância com a temperatura. Para o LSWI (Figura 44), constatou-se que 89% da variação do índice deve-se a variação da precipitação ( $r=0,94$ ) e 86% explica-se pela temperatura ( $r=0,92$ ) e o G2 86% da variação do LSWI deve-se a variação da precipitação ( $r=0,92$ ) e 87% pela temperatura ( $r=0,93$ ). Assim como nas demais regiões, o LAI na APASMA não apresentou relações estatisticamente significativas, como pode ser observado na Figura 45.

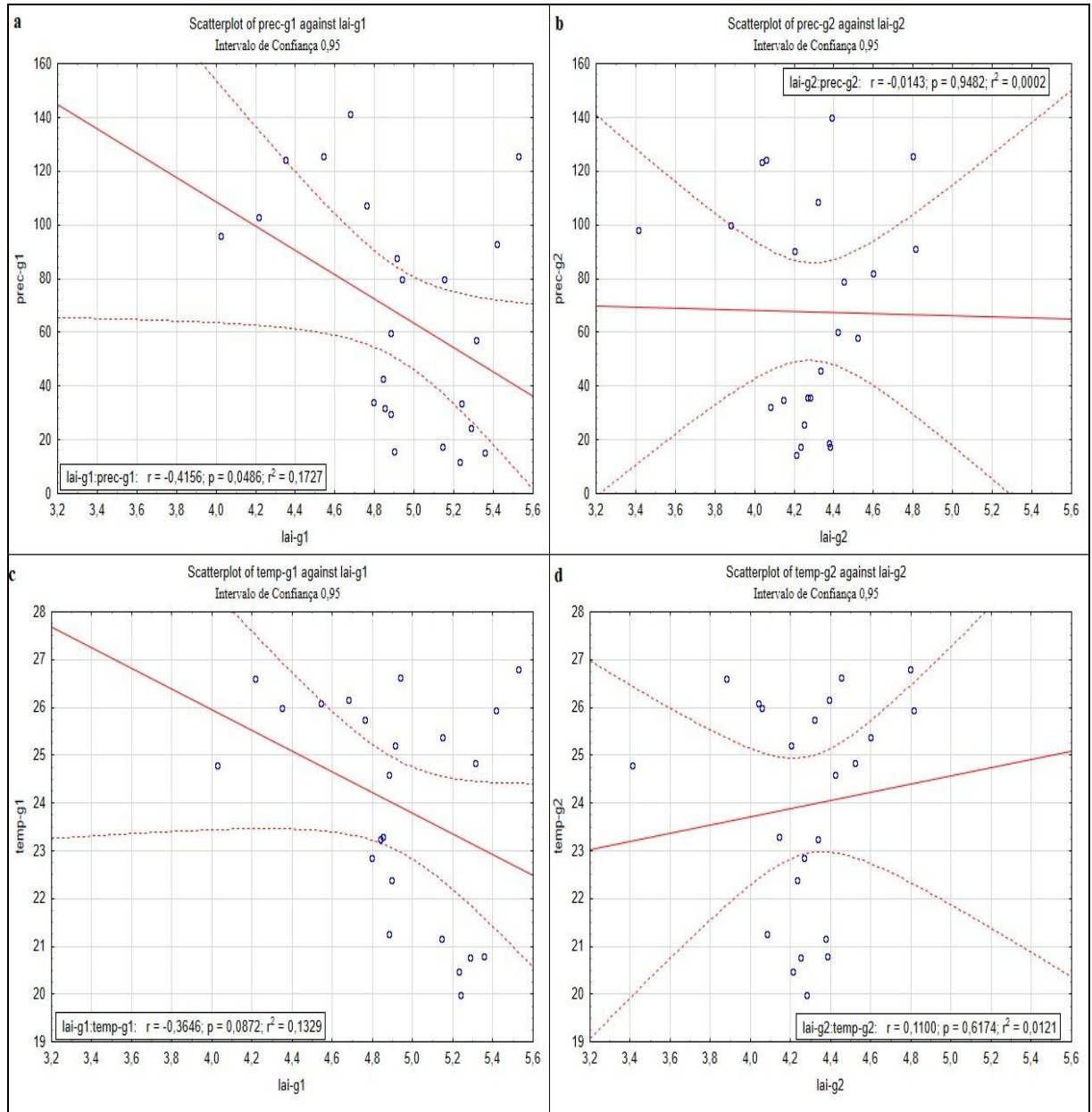
**Figura 37** – Scatterplot entre EVI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do PNSB.



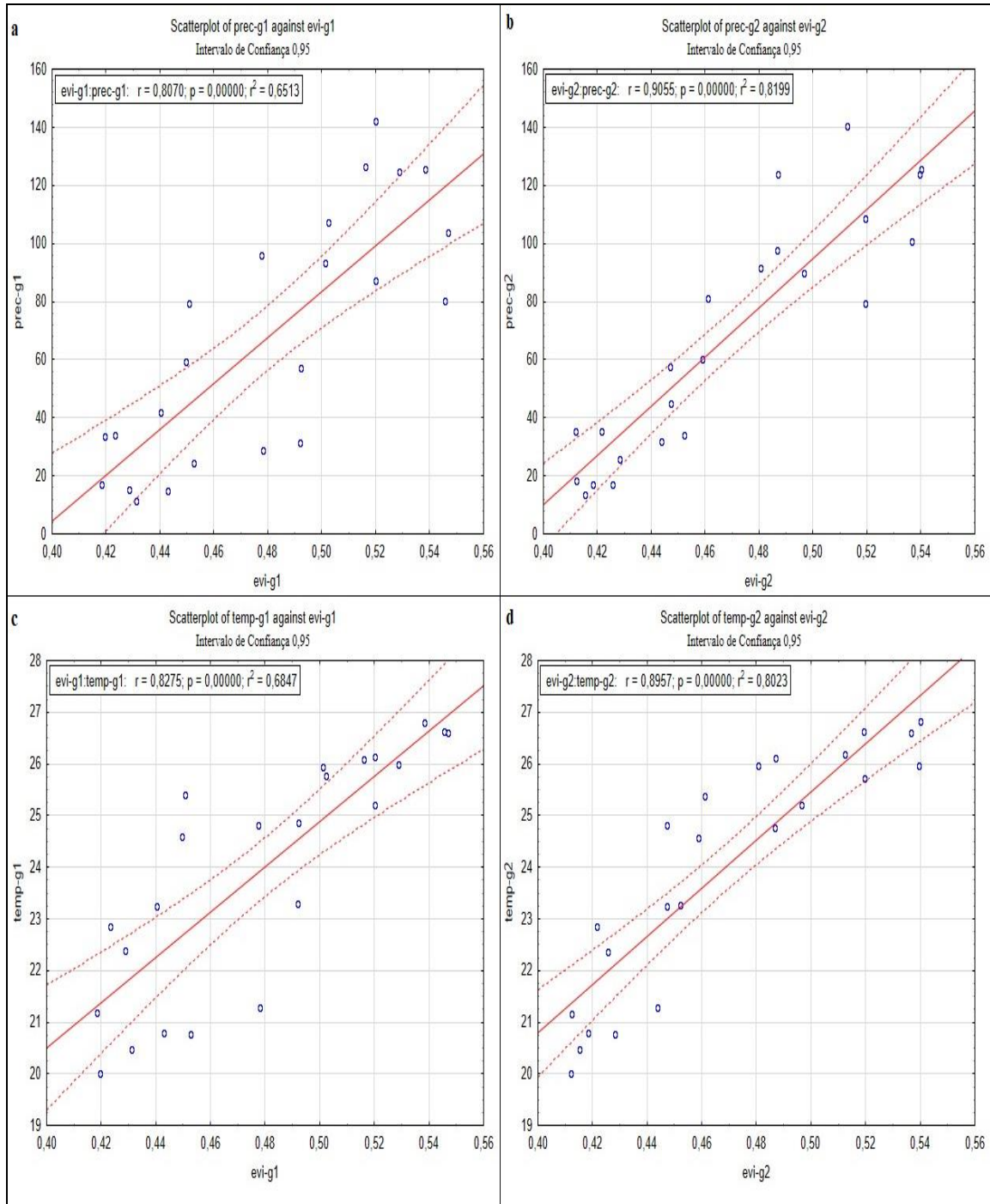
**Figura 38** – Scatterplot entre LSWI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do PNSB.



**Figura 39** – Scatterplot entre LAI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do PNSB.

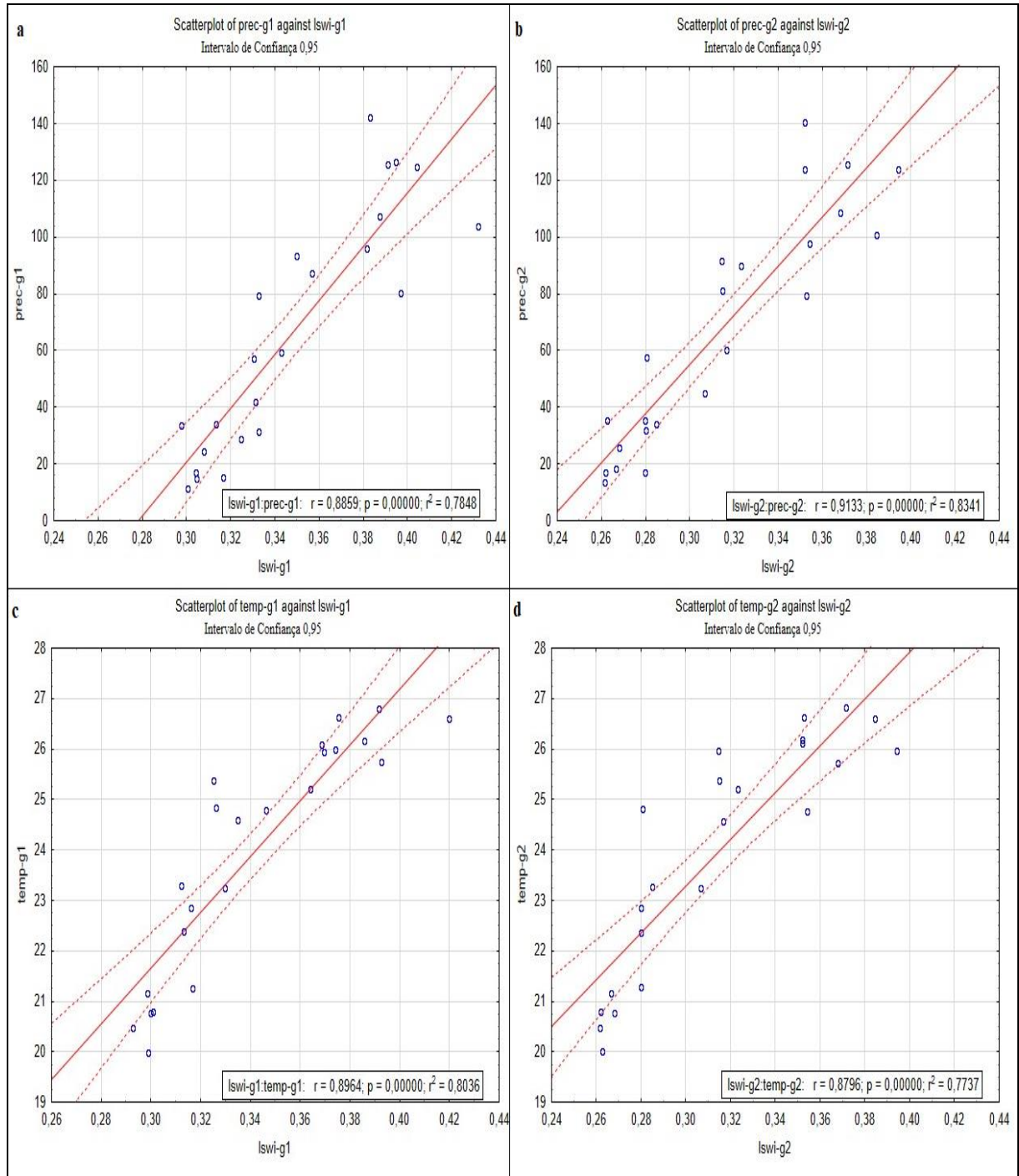


**Figura 40** – Scatterplot entre EVI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do PESM.

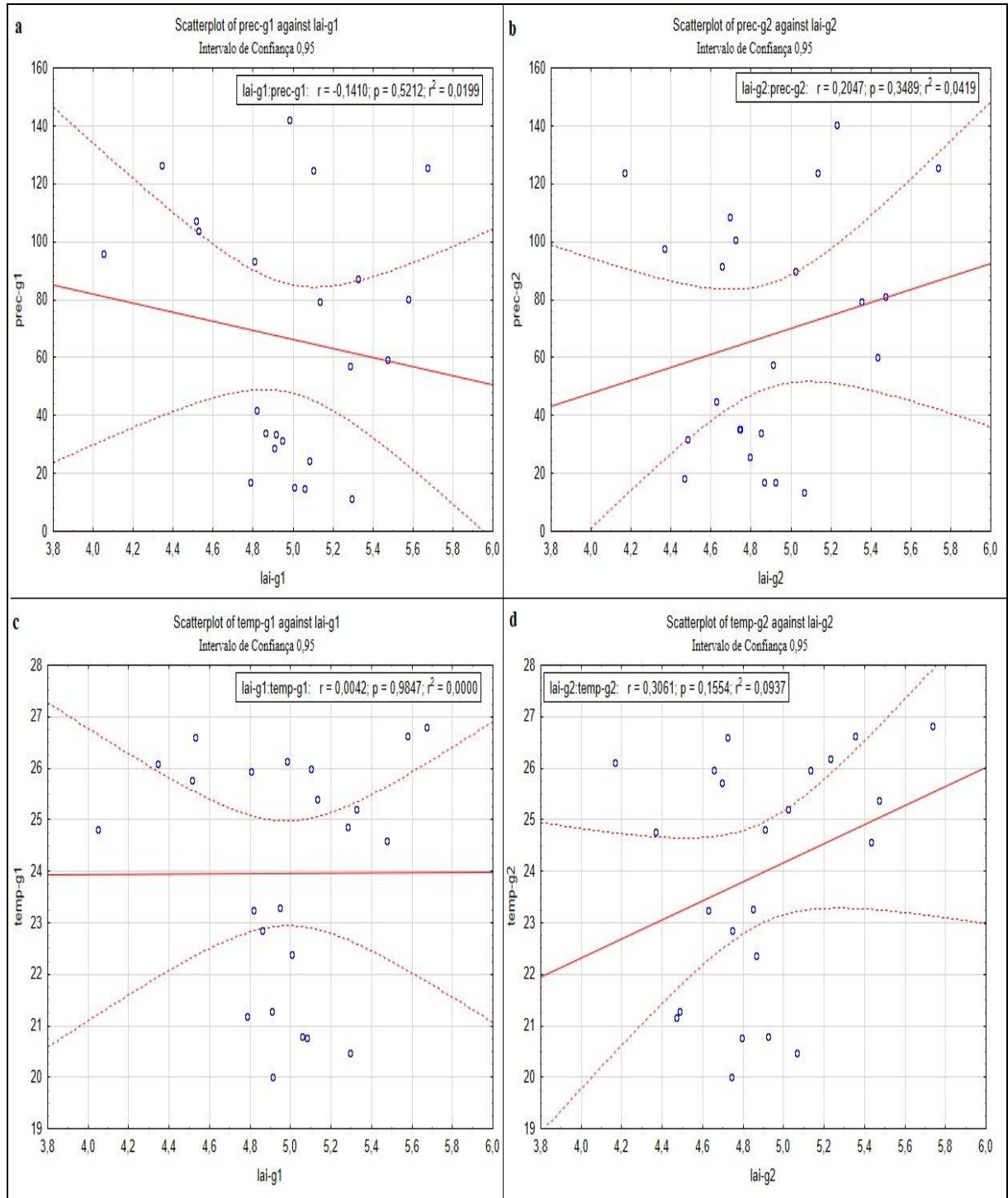




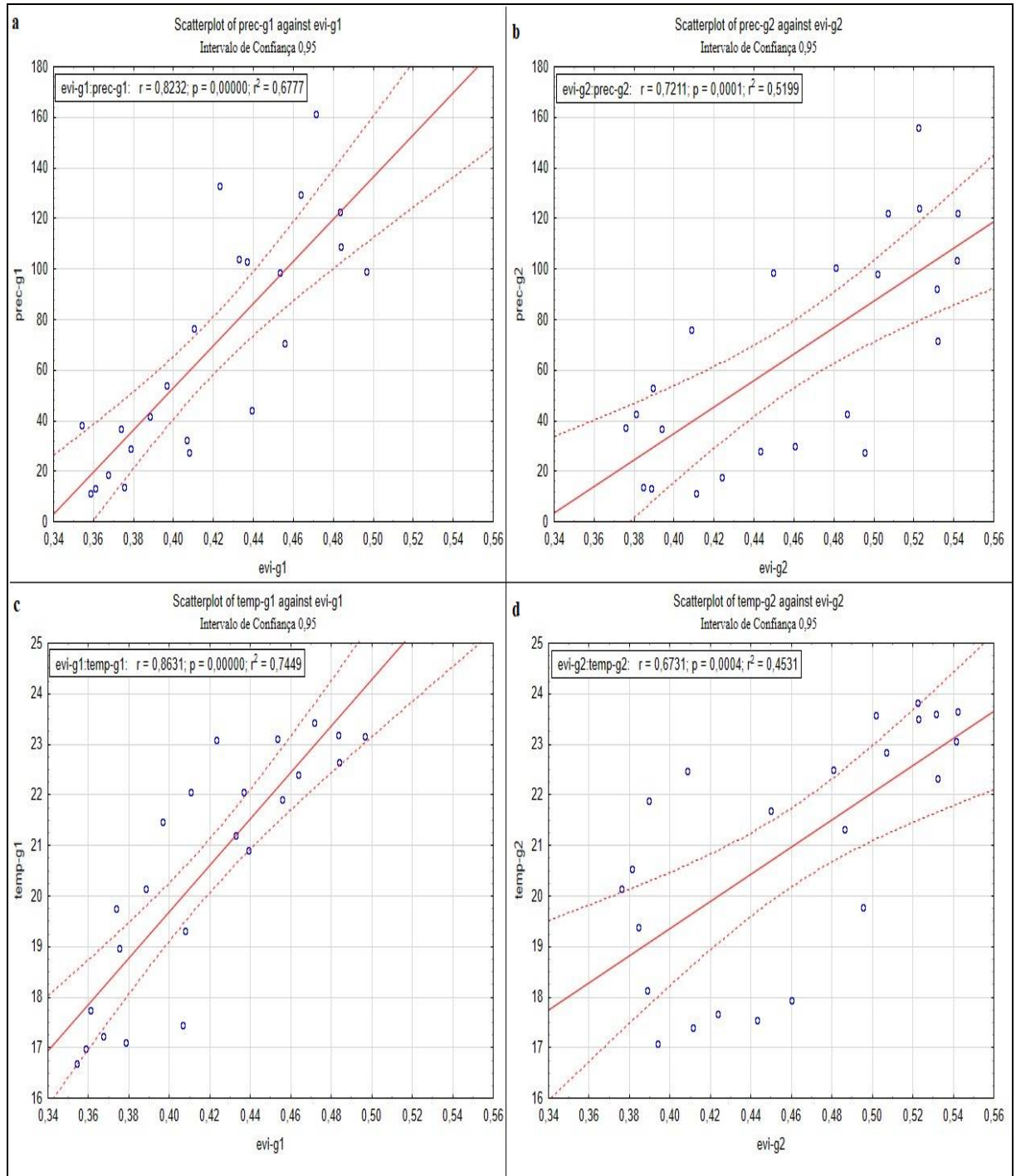
**Figura 41** – Scatterplot entre LSWI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do PESH.



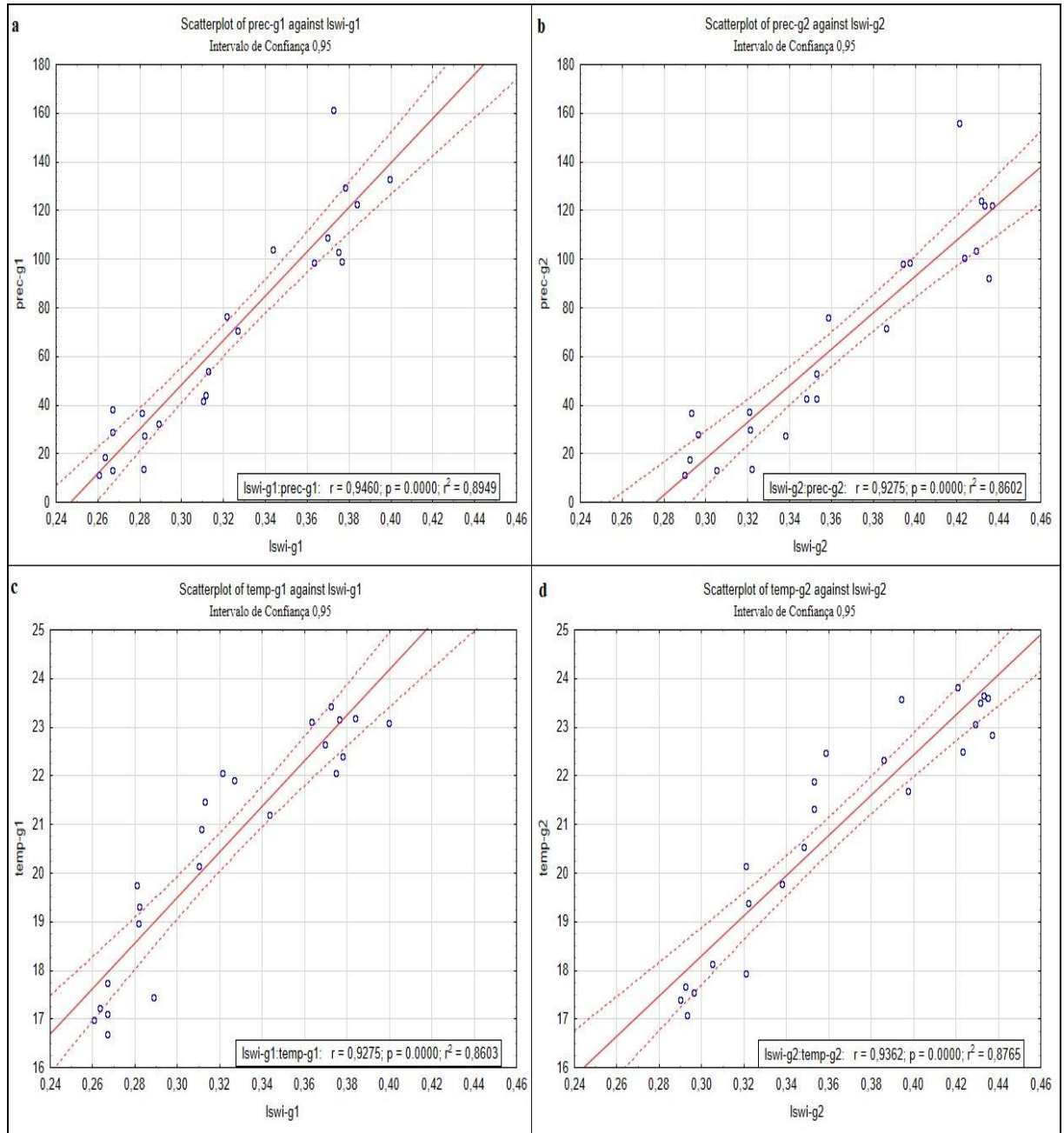
**Figura 42** – Scatterplot entre LAI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do PESM.



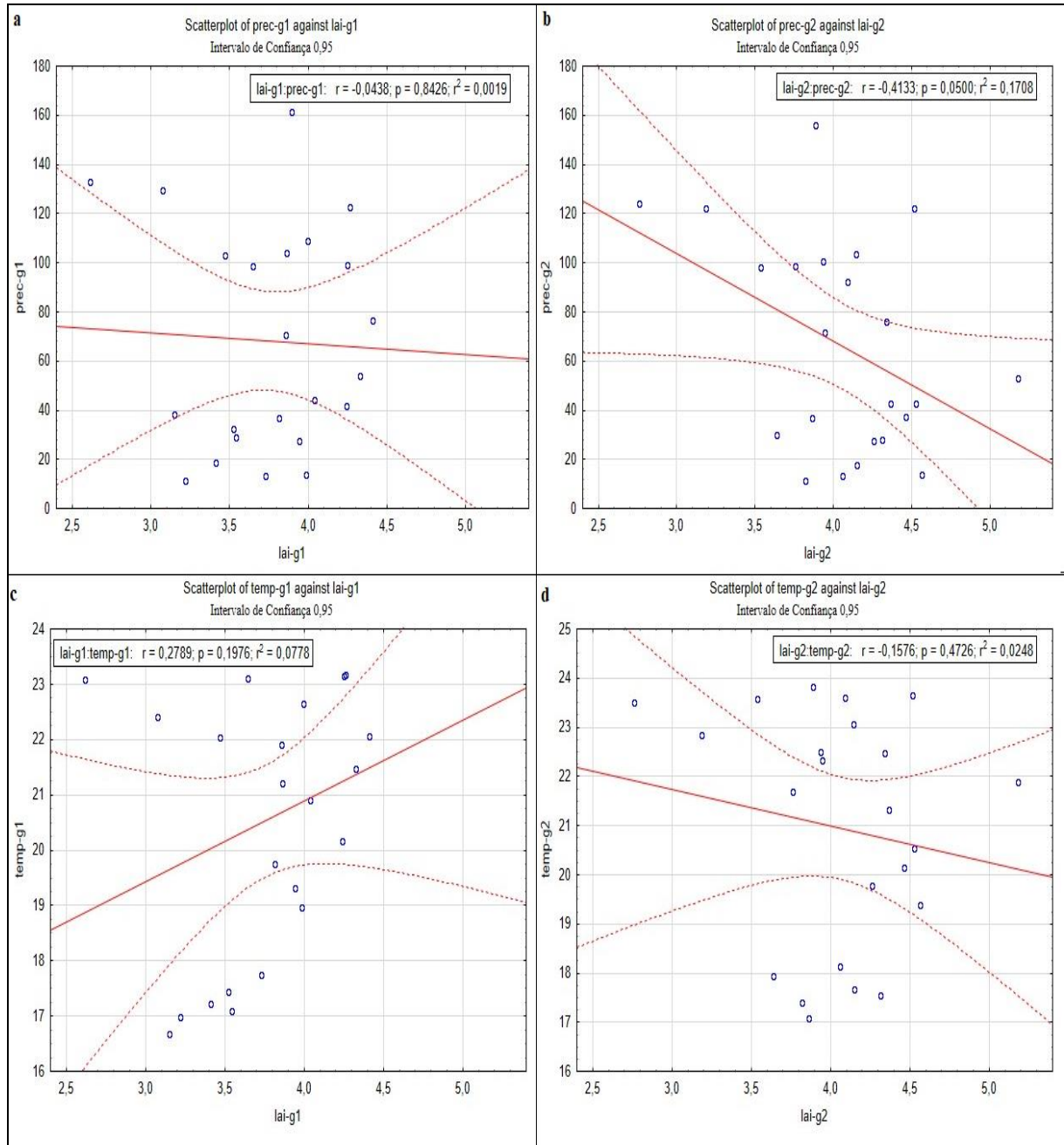
**Figura 43** – Scatterplot entre EVI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do APASMA.



**Figura 44** – Scatterplot entre LSWI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do APASMA.



**Figura 45** – *Scatterplot* entre LAI e as variáveis climáticas nos grupos de vegetação natural do PESM.



De maneira geral, os resultados encontrados permitiram verificar que os índices de vegetação utilizados em sensoriamento remoto são indicadores da capacidade fotossintética do dossel. Contudo, foi possível verificar que o LSWI apresentou as maiores relações em todas as áreas com a variação da precipitação, corroborando com o potencial que este índice exerce em identificar a condição da água na vegetação.

Também foi realizado o cálculo de correlação *Spearman* em que as relações significativas ( $p < 0,5$ ) seguiram o padrão das relações estabelecidas nas análises de regressão.

**Tabela 15** - Correlação *Spearman* para região do PNSB. As correlações significativas ( $p < 0,5$ ) estão em negrito.

Matriz de Correlação										
	Prec. G1	Temp. G1	Prec. G2	Temp. G2	EVI G1	LSWI G1	LAI G1	EVI G2	LSWI G2	LAI G2
Prec. G1	1	<b>0,72</b>	<b>0,96</b>	<b>0,72</b>	<b>0,56</b>	<b>0,72</b>	-0,29	<b>0,69</b>	<b>0,77</b>	0,06
Temp. G1	<b>0,72</b>	1	<b>0,70</b>	1	<b>0,68</b>	<b>0,77</b>	-0,22	<b>0,73</b>	<b>0,75</b>	0,11
Prec. G2	<b>0,96</b>	<b>0,70</b>	1	<b>0,70</b>	<b>0,58</b>	<b>0,71</b>	-0,26	<b>0,68</b>	<b>0,76</b>	0,10
Temp. G2	<b>0,72</b>	<b>1,00</b>	<b>0,70</b>	1	<b>0,68</b>	<b>0,77</b>	-0,22	<b>0,73</b>	<b>0,75</b>	0,11
EVI G1	<b>0,56</b>	<b>0,68</b>	<b>0,58</b>	<b>0,68</b>	1	<b>0,68</b>	-0,10	<b>0,72</b>	<b>0,58</b>	0,06
LSWI G1	<b>0,72</b>	<b>0,77</b>	<b>0,71</b>	<b>0,77</b>	<b>0,68</b>	1	-0,26	<b>0,82</b>	<b>0,87</b>	0,03
LAI G1	-0,29	-0,22	-0,26	-0,22	-0,10	-0,26	1	-0,23	<b>-0,33</b>	0,53
EVI G2	<b>0,69</b>	<b>0,73</b>	<b>0,68</b>	<b>0,73</b>	<b>0,72</b>	<b>0,82</b>	-0,23	1	<b>0,81</b>	0,04
LSWI G2	<b>0,77</b>	<b>0,75</b>	<b>0,76</b>	<b>0,75</b>	<b>0,58</b>	<b>0,87</b>	<b>-0,33</b>	<b>0,81</b>	1	0,05
LAI G2	0,06	0,11	0,10	0,11	0,06	0,03	<b>0,53</b>	0,04	0,05	1

**Legenda:** Prec. – precipitação (mm), Temp. – temperatura (°C), EVI - (*Enhanced Vegetation Index*), LSWI – (*Land Surface Water Index*), LAI – (*Leaf Area Index*), G1- (grupo de formações florestais naturais) e G2 - (grupo de formações naturais não florestais).

**Tabela 16** - Correlação *Spearman* para região do PESM. As correlações significativas ( $p < 0,5$ ) estão em negrito.

Matriz de Correlação										
	Prec. G1	Temp. G1	Prec. G2	Temp. G2	EVI G1	LSWI G1	LAI G1	EVI G2	LSWI G2	LAI G2
Prec. G1	1	<b>0,72</b>	<b>0,96</b>	<b>0,72</b>	<b>0,57</b>	<b>0,72</b>	-0,11	<b>0,73</b>	<b>0,74</b>	0,04
Temp. G1	<b>0,72</b>	1	<b>0,70</b>	<b>1,00</b>	<b>0,71</b>	<b>0,79</b>	0,02	<b>0,79</b>	<b>0,73</b>	0,20
Prec. G2	<b>0,96</b>	<b>0,70</b>	1	<b>0,70</b>	<b>0,58</b>	<b>0,69</b>	-0,09	<b>0,72</b>	<b>0,73</b>	0,06
Temp. G2	<b>0,72</b>	<b>1,00</b>	<b>0,70</b>	1	<b>0,71</b>	<b>0,79</b>	0,02	<b>0,79</b>	<b>0,73</b>	0,20
EVI G1	<b>0,57</b>	<b>0,71</b>	<b>0,58</b>	<b>0,71</b>	1,00	<b>0,73</b>	0,12	<b>0,76</b>	<b>0,63</b>	0,21
LSWI G1	<b>0,72</b>	<b>0,79</b>	<b>0,69</b>	<b>0,79</b>	<b>0,73</b>	1	-0,02	<b>0,89</b>	<b>0,88</b>	0,10
LAI G1	-0,11	0,02	-0,09	0,02	0,12	-0,02	1	0,06	-0,04	<b>0,72</b>
EVI G2	<b>0,73</b>	<b>0,79</b>	<b>0,72</b>	<b>0,79</b>	<b>0,76</b>	<b>0,89</b>	0,06	1	<b>0,85</b>	0,18
LSWI G2	<b>0,74</b>	<b>0,73</b>	<b>0,73</b>	<b>0,73</b>	<b>0,63</b>	<b>0,88</b>	-0,04	<b>0,85</b>	1	0,09
LAI G2	0,04	0,20	0,06	0,20	0,21	0,10	<b>0,72</b>	0,18	0,09	1

**Legenda:** Prec. – precipitação (mm), Temp. – temperatura (°C), EVI - (*Enhanced Vegetation Index*), LSWI – (*Land Surface Water Index*), LAI – (*Leaf Area Index*), G1- (grupo de formações florestais naturais) e G2 - (grupo de formações naturais não florestais).

**Tabela 17** - Correlação *Spearman* para região da APASMA. As correlações significativas ( $p < 0,5$ ) estão em negrito.

Matriz de Correlação										
	Prec. G1	Temp. G1	Prec. G2	Temp. G2	EVI G1	LSWI G1	LAI G1	EVI G2	LSWI G2	LAI G2
Prec. G1	1	<b>0,72</b>	<b>0,98</b>	<b>0,73</b>	<b>0,60</b>	<b>0,79</b>	0,10	<b>0,47</b>	<b>0,75</b>	-0,20
Temp. G1	<b>0,72</b>	1	<b>0,73</b>	<b>0,99</b>	<b>0,71</b>	<b>0,77</b>	<b>0,30</b>	<b>0,48</b>	<b>0,77</b>	-0,08
Prec. G2	<b>0,98</b>	<b>0,73</b>	1,00	<b>0,74</b>	<b>0,61</b>	<b>0,80</b>	0,09	<b>0,46</b>	<b>0,75</b>	-0,19
Temp. G2	<b>0,73</b>	<b>0,99</b>	<b>0,74</b>	1	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>	0,29	<b>0,49</b>	<b>0,78</b>	-0,09
EVI G1	<b>0,60</b>	<b>0,71</b>	<b>0,61</b>	<b>0,72</b>	1,00	<b>0,70</b>	0,27	<b>0,68</b>	<b>0,75</b>	-0,08
LSWI G1	<b>0,79</b>	<b>0,77</b>	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	<b>0,70</b>	1	0,18	<b>0,50</b>	<b>0,91</b>	-0,19
LAI G1	<b>0,10</b>	<b>0,30</b>	0,09	0,29	0,27	0,18	1	0,03	0,23	<b>0,54</b>
EVI G2	<b>0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,46</b>	<b>0,49</b>	<b>0,68</b>	<b>0,50</b>	0,03	1	<b>0,52</b>	-0,27
LSWI G2	<b>0,75</b>	<b>0,77</b>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>	<b>0,75</b>	<b>0,91</b>	0,23	<b>0,52</b>	1	-0,14
LAI G2	-0,20	-0,08	-0,19	-0,09	-0,08	-0,19	<b>0,54</b>	-0,27	-0,14	1

**Legenda:** Prec. – precipitação (mm), Temp. – temperatura (°C), EVI - (*Enhanced Vegetation Index*), LSWI – (*Land Surface Water Index*), LAI – (*Leaf Area Index*), G1- (grupo de formações florestais naturais) e G2 - (grupo de formações naturais não florestais).



### 6.1.5 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado com objetivo de verificar as características das áreas de estudo e ocorreu em três campanhas, como mostra a Tabela 18.

**Tabela 18** - Campanha de trabalho de campo.

	1 CAMPANHA	2 CAMPANHA	3 CAMPANHA
PESM	<b>15/12/2017</b> <b>a 17/12/2017</b>		
APASMA		<b>17/02/2018</b> <b>a 19/02/2018</b>	
PNSB			<b>20/02/2018</b> <b>a 22/02/2018</b>

O trabalho de campo foi realizado com objetivo de averiguar a classe de vegetação natural das amostras e máscaras utilizadas para extração da vegetação.

Com base no roteiro de campo e pontos amostrais pré-definidos foram realizadas as amostragens dos pontos. As Figuras 46 a 51 mostram as fichas de campo que foram elaboradas através de observações *in loco* e através do *Google Earth*, sendo apresentadas neste item um exemplo para cada área de análise e a Tabela 19 mostra o resultado da concordância encontrada em campo. No trabalho de campo, após preenchidas as fichas com os dados, foi feito o registro fotográfico, onde buscou representar da melhor forma a classe de mapeamento avaliada (essencialmente a vegetação natural).

No decorrer do percurso entre os pontos de amostragem foram sendo observadas as estruturas da paisagem (relevo e solos) e sua relação com a ocorrência das tipologias vegetais a fim de identificar os padrões das vegetações. A comparação das imagens *Google Earth* e o resultado do mapeamento foi realizada visualmente na escala 1:2.500, observando-se a textura da imagem, que possibilita avaliar a existência de indivíduos arbóreos e sua densidade, em alguns casos a presença de solos arenosos, presença de afloramentos rochosos, áreas com influência de inundação fluvial, vegetação de entorno, níveis de intervenção antrópica e as classes mapeadas.

A região do PESM, situada na macro unidade geomorfológica do Planalto Atlântico Paulista, apresenta variação de altitude de 960 a 1160 metros com pico em 1.585 metros. A vegetação da Mata Atlântica comporta expressiva diversidade. Foi possível encontrar a flora

característica dessa região, como a presença de Samambaiacu (*Cyathea cf. delgadii Sternb*, Palmeira-Juçara (*Euterpe edulis Mart.*), Bromélias (*Aechmea sp*), Manacá-da-serra (*Tibouchina mutabilis (Vell.) Cogn.*), entre outras. O solo apresentou elevada presença de matéria orgânica e úmido. O Kappa nesta área atingiu valor de 0,95 para classe de Formação Florestal Natural.

A região do APASMA, situada na Província Geotectônica da Mantiqueira que é uma das três províncias no entorno do Cráton do São Francisco (SFC) que formam o Escudo Atlântico. O relevo pertence ao compartimento das faixas de dobramentos e coberturas metassedimentares associadas e ao conjunto dos planaltos e serras do Leste-Sudeste, que apresenta nas áreas interioranas serras acidentadas com picos que atingem mais de 2000 metros de altitude. Destaca-se nesse contexto a Serra da Mantiqueira, sobressaindo-se os seguintes picos: Pedra da Mina: 2.897 m, entre Passa Quatro e Queluz. Pico Três Estados: 2.665 m, entre Passa Quatro e Queluz Pico dos Marins: 2.420 m, entre Marmelópolis e Cruzeiro. Nesta região a vegetação apresenta também uma expressiva diversidade, com presença de araucária (*Araucária angustifolia*), bosques de candeias (*Eremanthus spp*) e os campos de altitude. O Kappa nesta área atingiu valor de 0,96 para classe de Formação Florestal Natural.

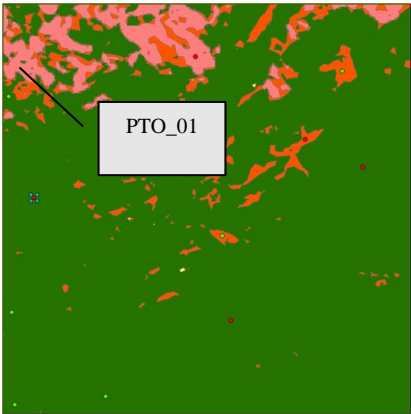

A região do PNSB está compreendida entre 0 e 2.095 m de altitude. As maiores amplitudes topográficas situam-se nas escarpas da Serra do Mar, cujas altitudes estão compreendidas entre o nível do mar e 1.500 m, atingindo 1.700 m ao norte de Parati e em torno de 1.200 m ao norte da Vila de Mambucaba. A vegetação vai desde as formações costeiras e estuarinas até a floresta tropical pluvial atlântica. Várias epífitas raras ocorrem na área, em especial nas margens dos rios, tais como as micro-orquídeas dos gêneros *Barbosella* e *Capanemia*. Também é possível verificar a ocorrência de Canelas-parda, o Guatambú, o Louro, a Sucupira, a Imbuia, o Cedro, entre outras. Nesta região o índice Kappa também apresentou valor elevado igual a 0,90.

Tendo em vista o valor do pixel do sensor MODIS (1km) e o tamanho da amostra (10 x 10 km), a ocorrência de mistura entre os alvos era inevitável, neste sentido, a utilização das máscaras obtidas pelo projeto MAPBIOMA consolidou um importante insumo para que fosse feita uma análise e feita a extração da vegetação natural. Nesta etapa foi possível verificar que o grau de concordância da classe de vegetação natural utilizada como máscara neste estudo foi considerado perfeito, o que torna confiável a seleção utilizada. Este resultado era esperado, tendo em vista que a área de abrangência das amostras utilizadas pertence a regiões de proteção ambiental.

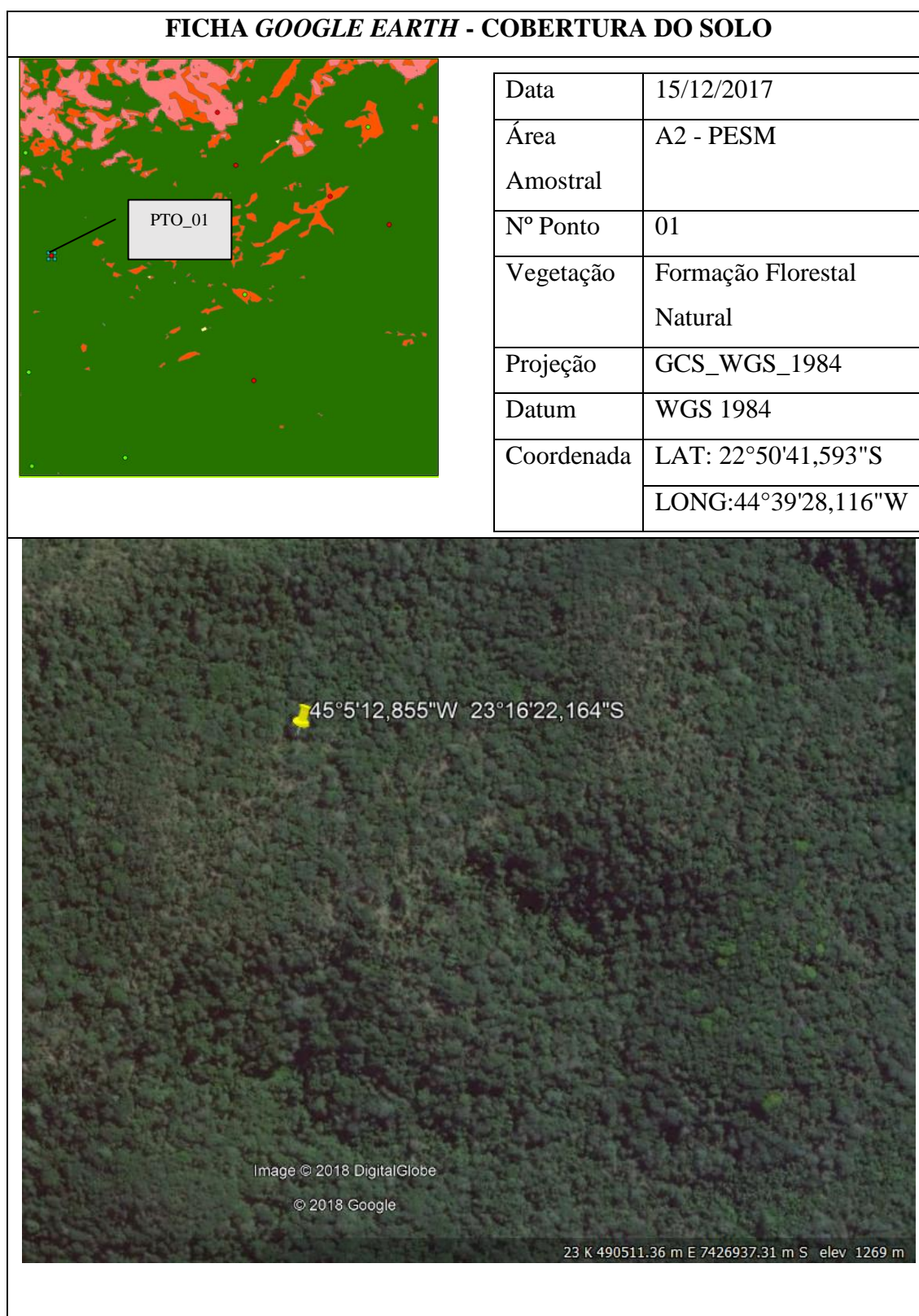
**Tabela 19** – Cálculo do índice Kappa.

Índice Kappa		
PESM	APASMA	PNSB
12 Amostras	12 Amostras	12 Amostras
Total	Total	Total
0,96	0,96	0,90
Excelente	Excelente	Excelente

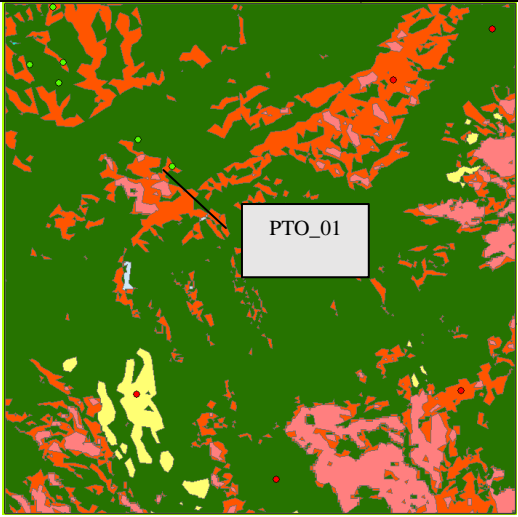

**Figura 46** – Ficha de campo PESM.

FICHA DE CAMPO – COBERTURA DO SOLO		
	Data	15/12/2017
	Área Amostral	A2 - PESM
	Nº Ponto	01
	Vegetação	Formação Florestal Natural
	Projeção	GCS_WGS_1984
	Datum	WGS 1984
	Coordenada	LAT: 23°13'36,975"S LONG: 45°7'55,775"W
		

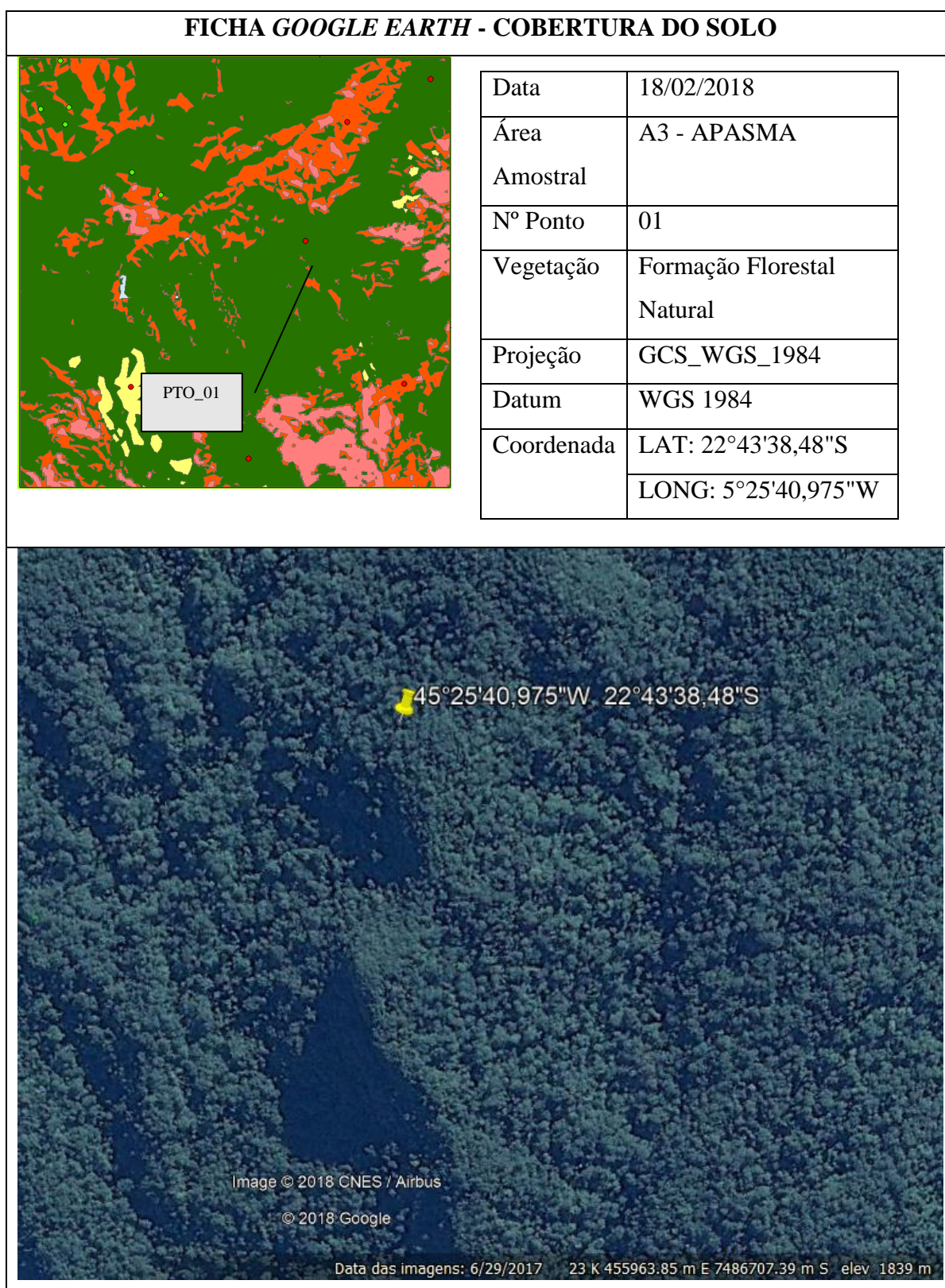
**Figura 47** – Ficha da imagem *Google Earth* PESM.



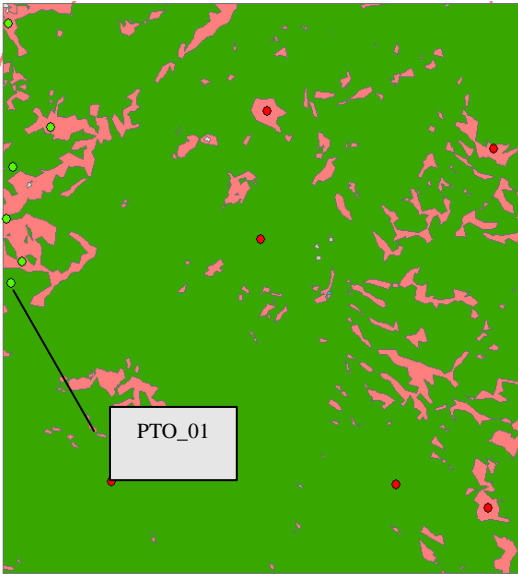

**Figura 48** – Ficha de campo APASMA.

<b>FICHA DE CAMPO – COBERTURA DO SOLO</b>		
	Data	17/02/2018
	Área	A3 - APASMA
	Amostragem	
	Nº Ponto	01
	Vegetação	Formação Florestal Natural
	Projeção	GCS_WGS_1984
	Datum	WGS 1984
	Coordenada	LAT: 22°42'50,081"S
		LONG:45°27'41,328"W
		

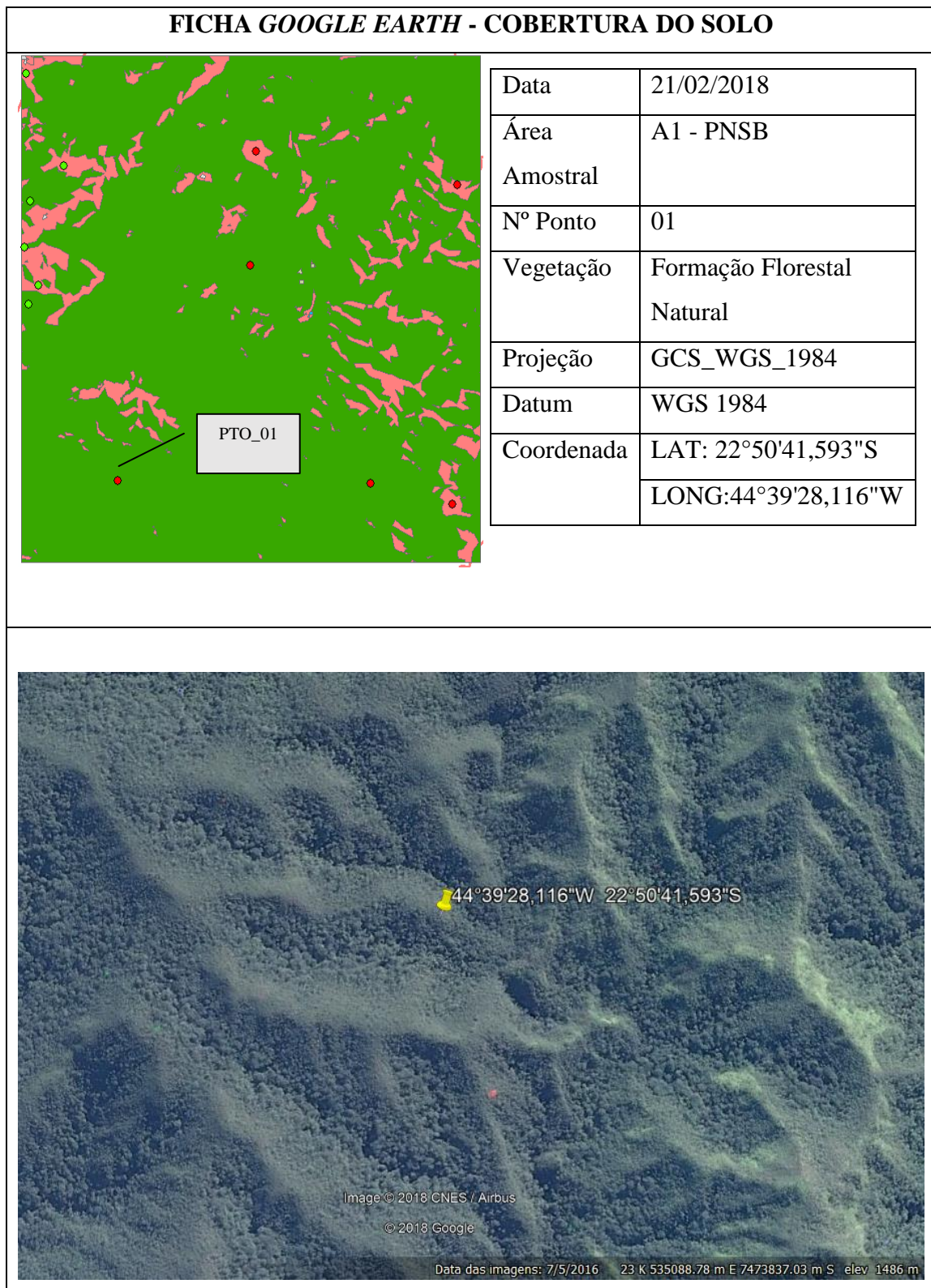
**Figura 49** – Ficha da imagem *Google Earth* APASMA.



**Figura 50** – Ficha da imagem *Google Earth* PNSB.

FICHA DE CAMPO – COBERTURA DO SOLO		
	Data	20/02/2018
	Área	A1 - PNSB
	Amostragem	
	Nº Ponto	01
	Vegetação	Formação Florestal Natural
	Projeção	GCS_WGS_1984
	Datum	WGS 1984
	Coordenada	LAT: 22°50'43,199"S LONG:44°36'41,078"W
		

**Figura 51** – Ficha da imagem *Google Earth* PNSB.





## 6.2 Considerações

Considerando que a variabilidade climática tem grande influência na dinâmica sazonal da vegetação, o objetivo principal do presente trabalho foi verificar esta condição através de índices climáticos e índices de vegetação na região da Mata Atlântica Paulista.

Posto isto, nesse trabalho avaliou-se a variabilidade da precipitação para uma série histórica de 34 anos com o objetivo de compreender como a precipitação se comportou em escala de bacia hidrográfica.

Os resultados encontrados através dos índices climáticos (SPI e RAI), de modo geral, conseguiram capturar a variabilidade das chuvas na região e conseguiram estabelecer relações com os eventos El Niño e La Niña. Alguns anos mostraram-se bem característicos, como já definidos na literatura, como o ano de 1983, que apresentou forte relação com os eventos ENOS em todas as séries observadas na região. Os índices conseguiram desempenhar classificação que variou entre anos extremamente úmidos, como em 1983 e anos com seca alta como em 1984.

Todas as regiões (PNSB, PESM e APASMA) apresentaram variabilidade tanto nos dados de precipitação como nos dados de temperatura, apresentando padrão similar e relações positivas entre as variáveis climáticas. Destacaram-se os anos 2009 e 2014, sendo que o ano de 2009 representou um ano de anomalia positiva, com precipitação acima da média climatológica. Este fato pode estar relacionado ao evento La Niña, que ocorreu em 2008 e pode ter tido influência na distribuição das chuvas no ano 2009. Já em 2014, foi possível detectar uma condição de anomalia negativa, com condições mais severas com precipitação pluvial abaixo da média climatológica em toda região da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Trabalho realizado por Coelho et al. (2015) destaca que a seca sobre o Sudeste durante o verão de 2014 teve como raiz as condições de chuvas anômalas na região tropical ao norte da Austrália, desencadeando uma série de processos entre a região tropical e extratropical do oceano Pacífico, até atingir a região Sudeste do Brasil e oceano Atlântico adjacente. Ainda de acordo com autor, foi devido ao estabelecimento de um sistema anômalo de alta pressão sobre o oceano Atlântico adjacente, que forçou os sistemas frontais a realizar trajetórias oceânicas, favorecendo a manutenção do aquecimento através da incidência de radiação solar, que por consequência transportou umidade da Amazônia para o sul do Brasil, e desfavoreceu a formação de eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul, um dos principais mecanismos de produção de chuva sobre a região Sudeste do Brasil.

Com a finalidade de avaliar como essa dinâmica climática influencia na dinâmica da vegetação, os índices EVI, LSWI e LAI foram analisados.

Os resultados dessa análise mostraram que o comportamento da dinâmica da vegetação natural das regiões da Mata Atlântica Paulista, verificadas nas áreas dos parques PNSB e PESM como na APA da Serra da Mantiqueira, acompanha a variabilidade imposta pelo clima, em que foram observados os padrões de maior produtividade no período da estação chuvosa, época em que a condição hídrica é mais intensa, favorecendo o verdejamento das folhas, e quando há o déficit hídrico, que ocorre principalmente na estação seca, nota-se o declínio dos valores dos índices, ou seja, indicando a queda foliar.

A escala temporal de análise (2000 a 2015) permitiu verificar ao longo do período as variações nos índices de vegetação em virtude da diferença no comportamento da precipitação e temperatura nos grupos identificados (G1 e G2), a exemplo do G1 que representa o conjunto de vegetação florestal natural, apresentou os maiores valores dos índices na estação chuvosa em relação ao G2, enquanto o G2, que representa conjunto de floresta natural não florestal, apresentou maior intensidade na queda durante a estação seca, o que é interessante verificar como cada grupo de vegetação, devido suas características intrínsecas, desempenham dinâmicas em resposta às condições impostas pelo meio (clima, solo, luminosidade, entre outros).

Embora os índices tenham capturado o padrão esperado, vale destacar que o índice LSWI apresentou maior sensibilidade à condição hídrica, sendo possível verificar o potencial das imagens do sensor MODIS em capturar a resposta da floresta e conseqüentemente contribuir de forma significativa para estudos de mudanças climáticas.

## Referência Bibliográfica

AB'SABER, A. N. Domínio dos mares de morros no Brasil. *Geomorfologia*, São Paulo, n. 2, p. 1-9, 1966.

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. New York: Dover, 1965. 1046 p.

AGEVAP, 2014. Plano Integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do sul e planos de ação de recursos hídricos das bacias afluentes. Relatório de diagnóstico.

AGUIAR A. P., CHIARELO A. G., MENDES S. L. AND MATOS E. N. The Central e Serra do Mar Corridors in the Brazilian Atlantic Forest. In: GalindoLeal, C.; Gusmão Câmara, I. (eds.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity Status, Threats, and Outlook*. São Paulo: Island Press, 2003. Chapter 11, p.118–132.

ALGARVE, V.R. Impactos do uso e cobertura da terra na região da Mata Atlântica Paulista: clima presente. 2013. 134p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

ANGELOCCI, L. R; SENTELHAS, P. C. Variabilidade, anomalia e mudança climática. In: Angelocci, L. R; SENTELHAS, P. C. Material didático da disciplina LCE306 -Meteorologia Agrícola. ESAL/USP, 2007.

BARBOSA, H.A. Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil, em 1982-85. 1998. 164p. (INPE-7237-TDI/690). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1998.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T.; The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian forest region of northern Brazil using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v.18, n.15, p. 3195-3210, Jan. 1997.

BLAIN, G. C. Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo, 2005, 120p, Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-tropical) – Instituto Agrônômico, Campinas – SP.

BUSTAMANTE BECERRA, J. A; CARVALHO S.M.I ; OMETTO, J. P. H. B. INFLUENCE OF THE RAINFALL SEASONAL VARIABILITY IN THE CAATINGA VEGETATION OF NE BRAZIL BY THE USE OF TIME-SERIES. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 4, p. 31, 2014.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; KOUSKY, V.E., 1982. Análise de um caso de atividade convectiva associada a linhas de instabilidade na Região Sul e Sudeste do Brasil. INPE-2574-PRE/222.

CAVALCANTI, I.F.A, 1982: Um estudo sobre as interações entre os sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais. INPE 2494 TDL/097.

CAMARA I. G. Brief History of de Conservation in the Atlantic Forest. In: The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, 2003, Threats, and Outlook: Chapter 4, 31–47.

CARNEIRO, R. L. C. Observações do padrão de circulação do vento em escala regional e local na Serra do Mar, SP. 2012. 158 p. (sid.inpe.br/mctm18/2012/02.07.13.26-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

CARVALHO, L.M.V., e B. LIEBMANN, 2004: The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *J. Climate*, 17, 88-108.

CHEN, B., CHEN, J. M., Ju, W. Remote sensing-based ecosystem-atmosphere simulation scheme (EASS)- Model formulation and test with multiple-year data. *Ecological Modelling*, v. 209, p. 277-300, 2007.

CRESSIE, N. A. C. *Statistics For Spatial Data Revised Edition*. [S.l.]: Wiley-Interscience, 1993. 928 p. ISBN 0-471-00255-0.

COELHO, C.A.S; OLIVEIRA, C.P; AMBRIZZI,T; REBOITA, M.S; CARPENEDO, C.B; CAMPPS, J.L.P.S; TOMAZIELLO, A.C.N; PAMPUCH, L.A; CUSTÓDIO, M.S; DUTRA, L.M.M; ROCHA, R.P; REHBEIN,A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Revista: climate dynamics* (2015).

COLLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v.3, n.3, p. 175-183, 1974.

DANIEL WW. *Applied nonparametric statistic*. Boston: Houghtin-Mifflin, 1978.

DANTAS, M. E.; COELHO NETTO, A. L.. Resultantes geo-hidroecológicas do ciclo cafeeiro (1780-1880) no médio vale do rio Paraíba do Sul: uma análise quali-quantitativa. *Anu. Inst. Geocienc.*, Rio de Janeiro (1996).

DEAN, W. *A Ferro e Fogo: A História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira*. Trad. Cid K. Moreira, São Paulo: Companhia das Letras, 2007, 484 p.

DESSAY, N.; SHIMABUKURO, Y. E.; BATISTA, G. T.; DURIEUX, L. Dados NOAA-AVHRR para a avaliação do impacto El Niño sobre a vegetação. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 10, 2001, Foz do Iguaçu. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1575-1578.

DEVIDE,A.C.P. *História Ambiental do Vale do Paraíba*. Tese (Doutorado em Agroecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

DOMINGOS, S. I. S. Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI). 2006. 62 p. Tese (Licenciatura em Meteorologia) - Universidade de Lisboa, Portugal.

DUCHEMIN, B.; et al. Monitoring wheat phenology and irrigation in entral Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. *Agriculture Water Manage*, v. 79, p. 1-27, 2006.

EITEN, G. A vegetação do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Botânica, 1970. 147p.

EIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FAZIO, V.S. Interpolação espacial: Uma comparação analítica entre redes RBF e Krigagem. 2013. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F. da; AMORIM, A. de O.; CARDOSO, A.S. Índices para a quantificação da seca. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 45p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 244).

FOODY, G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80: 185-201.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. 2005. Status do *hotspot* Mata Atlântica: uma síntese. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I. G. (Eds.). *Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas*. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica e Conservação Internacional.

GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. *International Journal of Remote Sensing*. v.24, n.18, p.3595-3609, 2003.

GUTTMAN, G.B. Comparing the Palmer Drought Index and the “Standardized Precipitation Index”. *Journal of the American Water Resources*, Washington, v.16, n.2, p. 113-121, 1998.

HABERLANDT, U. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. *Journal of Hydrology*, v. 332, n. 1-2, p. 144-157, 2007.

HARDISKY, M.A., KLEMAS, V., SMART, R.M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49 (1), pp. 77-83, 1983.

HUETE, A.; et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, n. 83, p. 195-213, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de vegetação do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1988. 1 mapa, color., 79 x 95 cm. Escala 1:5.000.000.

JENSEN, J. R. (1949) Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres / tradução José Carlos Neves Epiphanyo et al. São José dos Campos. SP. 2009.

JIN, S.; SADER, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. *Remote Sensing of Environment*, v. 99, n. 4, p. 462-470, Feb. 2005.

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, pp.1228-1247,1998.

KATZ, R.W. Sir Gilbert Walker and a connection between El Niño and Statistic. *Statistical Science*, v.17, n.1, p.97-112,2002.

KODAMA, Y.. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating STCZs. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 71, p.581-610, 1993.

KOSHIBA, L.P.; Frayse, D. M. *História do Brasil*. São Paulo: Atual Editora Ltda., 1979, 312 p.

LEITÃO-FILHO, H. F. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. Campinas: Editora Unesp – Unicamp, 1993. 184p.

LIU, W.T.; MASSAMBANI, O.; Festa, M. Normalized difference vegetation index for the South American continent used as a climatic variability indicator. In: *International Symposium of Remote Sensing of the Environment*, 24., Rio de Janeiro. Proceedings. Rio de Janeiro (Ann Arbor: ERIM), 1991. p. 725-732.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P.; MELO, D. C. R. Mapeamento Espacial, Temporal e Sazonal das Chuvas no Bioma Amazônico do Estado do Tocantins. In: *X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 10, 2010.

MARENGO, J.A e ALVES, L.M. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. *INPE*, v1 2005-05-12.

MARENGO,J.A.; RUSTICUCCI,M.;PENALBA,O.;REMON, M. An Intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: Part 2 - historical trends. *Climate Change*, v.98, p.509-529, 2010.

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: *ConferenCe on Applied ClimAtology*, 8.,1993, Boston. *Anais. American Meteorological Society*, Boston: PREPRINTS, p.179 – 184, 1993.

MENEZES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M.(org) *Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais*. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control*. Tradução de Ana Maria Lima de Farias e Vera Regina Lima de Farias e Flores. 4th Edition, New York: John Wiley, 2004.

MORA, F.; IVERSON, L. R. Dynamic stratification of the landscape of Mexico: analysis of vegetation patterns observed with multitemporal remotely sensed images. *Geocarto International*, v. 12, n. 2, p. 73-87, 1997.

MOREIRA, M. A.; ASSUNÇÃO, G. V. Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura. INPE, São Jose dos Campos, 1984.

MONTEIRO, C.A.F. (1976). O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas. São Paulo: IGEOG.

NASA, (2002). MODIS web. <[Http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS/index.html](http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS/index.html)> Acesso em 20 dezembro 2002.

NERY, J. T.; MARTINS, M. L. O. F. Variabilidade Interanual: Oscilação Sul - EL NIÑO. *Apontamentos*, n. 75, 1998.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. (1999). Estrutura da Precipitação do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, RS, v. 4, n.4, pp. 5161.

NERY, J. T. SILVA, E. S.; CARFAN, Ana Claudia. Distribuição da precipitação pluvial no Estado de São Paulo. VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, v. 6, 2004.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.

OLIVEIRA, G. S. O El Niño e Você - o fenômeno climático. Editora Transtec, São José dos Campos, 2001.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. & MACHADO, J. N. DE.M. Composição florística de uma floresta semidecídua montana, na Serra de São José, Tiradentes, Minas Gerais. *Acta bot. bras.*, 7(2). 1993.

PALMER, W.C. Meteorological drought. *US Weather Bureau Res. N° 45*. Washington, 58p, 1965.

PELZELN, A. von. *Zur ornithology brasiliens: resultate von Johann Natterers reisen in den jahren 1817 bis 1835*. Wien: A. Pichler's Witwe, 1871. 462p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPPLICH, T. M. *Sensoriamento Remoto da Vegetação*. 2 a Edição. Cubatão: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

PRENTICE, I. C.; CRAMER, W.; HARRISON, S. P.; LEEMANS, R.; MONSERUD, R. A.; SOLOMON, A. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, v.19, p.117-134, 1992.

PRESS, W. H.; FLANNERY, B. P.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T. *Numerical recipes in C*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 768 p.

Projeto MapBiomias – Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 29/11/2017 através do link: [http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas\\_collection](http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection).

QUADRO, M. F. L. Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 1994.

RIZZINI, C. T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica (florístico-socioecológica) do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 3-64, 1963.

ROMARIZ, D. A. A vegetação. In: AZEVEDO, A. Brasil: a terra e o homem. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964. v. 1. p. 521-572.

ROSENDO, J. S. R. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - 2005.

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto, Uberlândia: EDUFU, 2007.

SANTANA, M.F, et. Al. Variabilidade da Mata Atlântica baseado no índice EVI e variáveis climáticas em Cunha-SP, Brasil. V.14, n.1 (2016). *Revista de Ciências Agroambientais*.

SANCHEZ, M., Pedroni, F., Leitão-Filho, H.F. & César, O. 1999. Composição florística de um trecho de floresta ripária na Mata Atlântica em Picinguaba, Ubatuba, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 22: 31-42.

SANSIGOLO, C.A. Análise comparativa do desempenho dos Índices de Seca de Palmer (PDSI) e da Precipitação Normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917 – 2001). *Revista Brasileira de Meteorologia*, Santa Maria, v.19, n.1, p. 51-56, 2004

SILVA, V. V. Médio Vale do Paraíba: fragmentação e vulnerabilidade dos remanescentes da Mata Atlântica. Dissertação – Universidade Federal Fluminense. Niterói, agosto de 2002.

SIEL S. Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil; 1975.

STEIN, A.; MEER, F. van der; GORTE, B. Spatial Prediction by Linear Kriging. In: *Spatial Statistics for Remote Sensing*. [S.l.]: Kluwers Academic Publishers, 2002. cap. 6, p. 100–131.

STONE, T. A.; SCHLESINGER, P.; HOUGHTON, R. A.; WOODWELL, G. M. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 60, n. 5, p. 541-551, 1994.

TADESSE, T.; WILHITE, D.A.; MICHAEL J. HAYES, M.J. Discovering Associations between Climatic and Oceanic Parameters to Monitor Drought in Nebraska Using DataMining Techniques, *Journal of Climate*, Boston, v.18, p.1541-1550, 2005.

TEIXEIRA, R. F. B. Índice de vegetação IVDN a partir do NOAA e do Terascan na Funceme. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*. v.27, n.01, p12-18. 2003.



THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. The water balance. *Climatology*, v.8, n.1, p.1 – 40, 1955.

THOM, H. C. S. Same methods of climatological analyses. World Meteorological Organization, Geneva, 53p, 1966. (WMO, 199; TP, 103; Technical note. ,81.).

THOM, H.C.S. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, v.86, p.117-122, 1958.

TOTTI, M. E. F. Gestão das águas na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul: Governança, instituição e atores. Tese. Campos dos Goytacases, junho de 2008.

ZAR J. *Biostatistical Analysis*. Upper Saddle River – NJ: Prentice-Hall, 4<sup>a</sup> edition, 1999.

ZARISTA, S. Monitoramento da dinâmica de inundação no Pantanal Norte com uso de Índices EVI e LSWI do MODIS. 2013. 60 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.99+9.

WAGNER, A. P. L. Dinâmica Temporal de Índices de Vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas Relações com os Elementos Meteorológicos Regionais. 2013. 160 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 11, p.2345-2364, June 2003.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, v. 11, p. 41-76, 1947.

WILSON, E. H.; SADER, S. A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, p. 385-396, 2002.

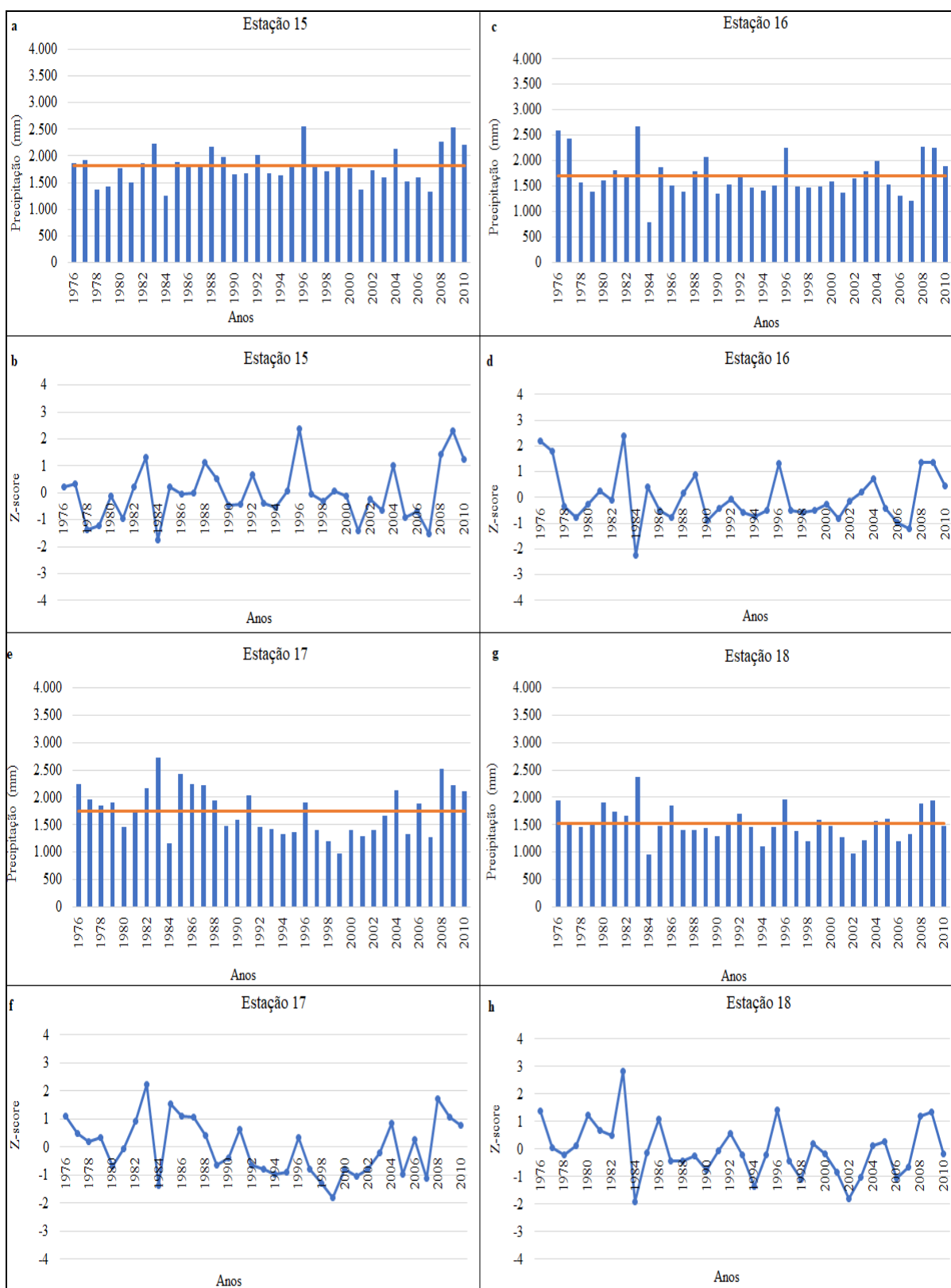
WOLFE, R. E., NISHIHAMA, M., FLEIG, A. J., KUYPER, J. A., ROY, D. P., STOREY, J. C., PATT, F. S. (2002). Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. *Remote Sens. Environ.* 83: 31– 49.

## ANEXO 1

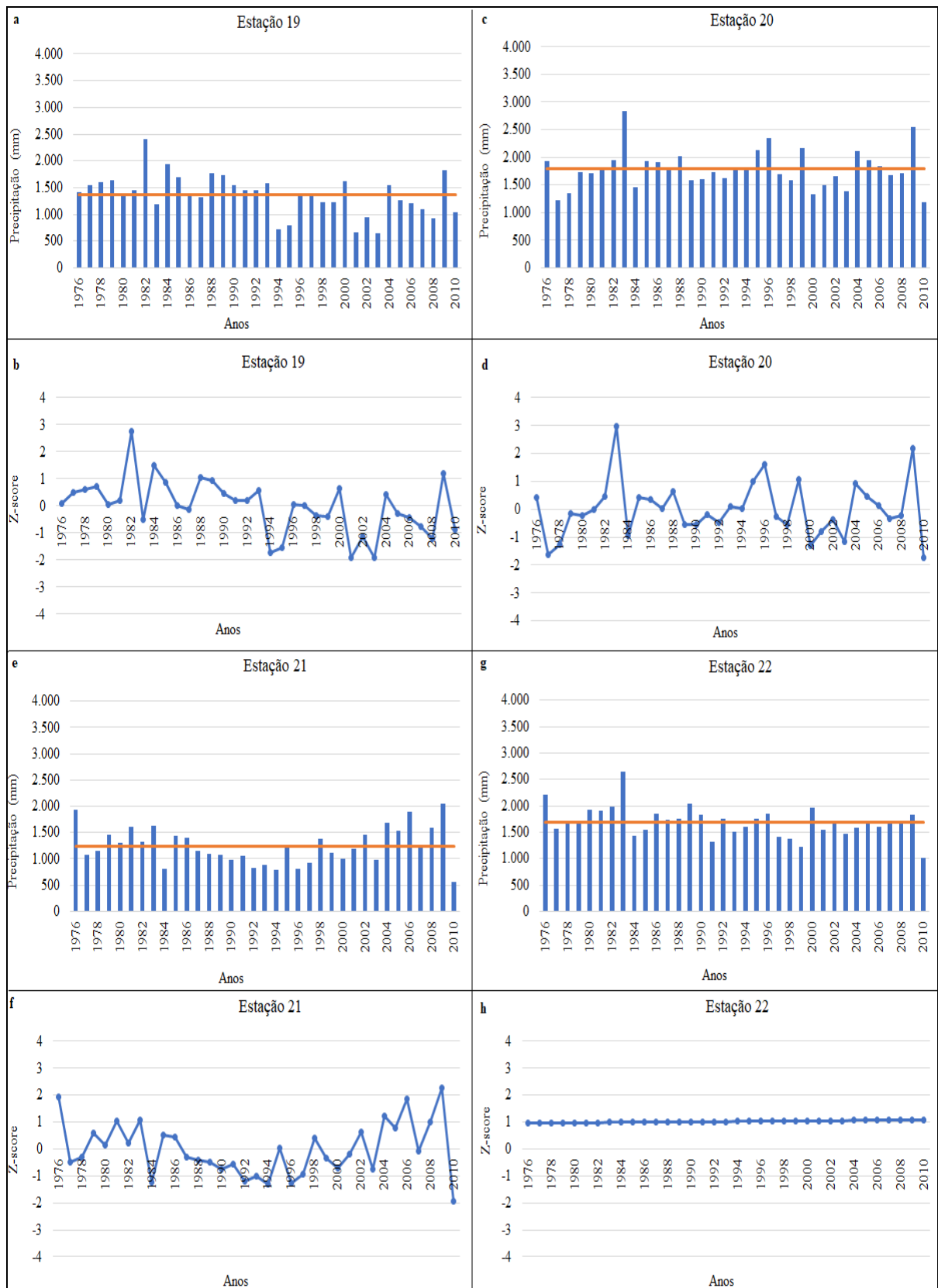
Figura A1 - Precipitação e média climatológica das estações 11, 12, 13 e 14.



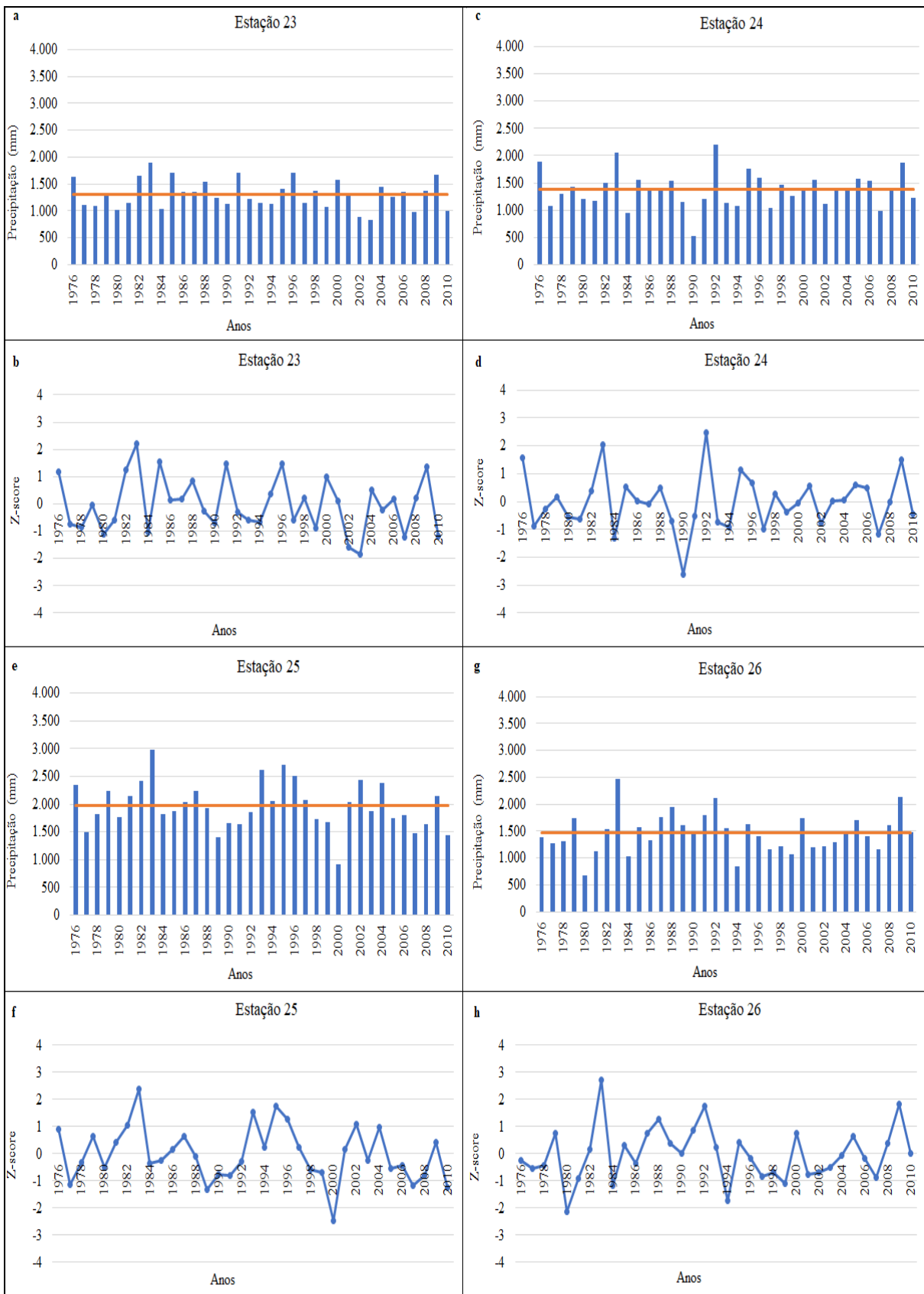
**Figura A2** - Precipitação e média climatológica das estações 15, 16, 17 e 18.



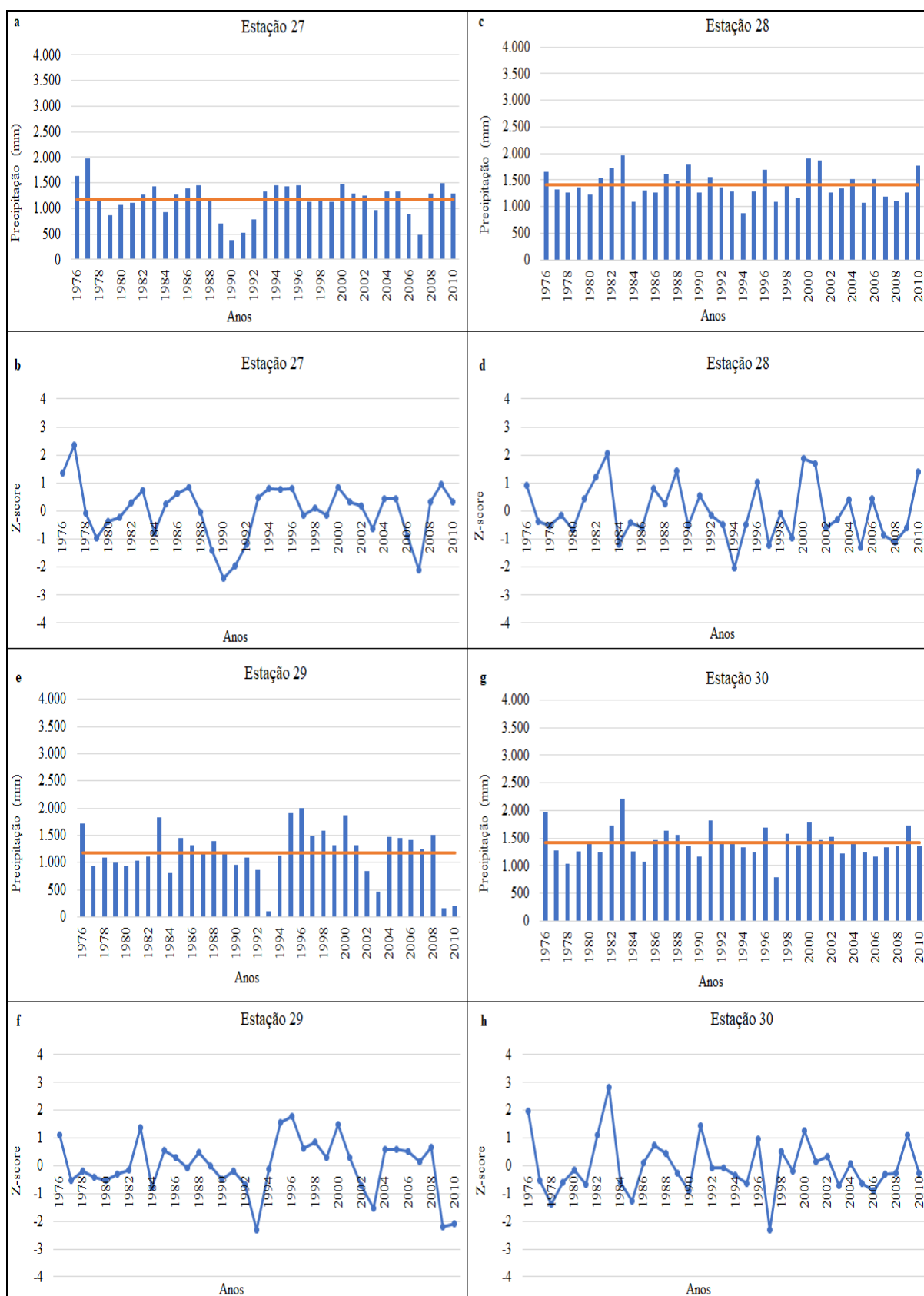
**Figura A3 - Precipitação e média climatológica das estações 19, 20, 21 e 22.**



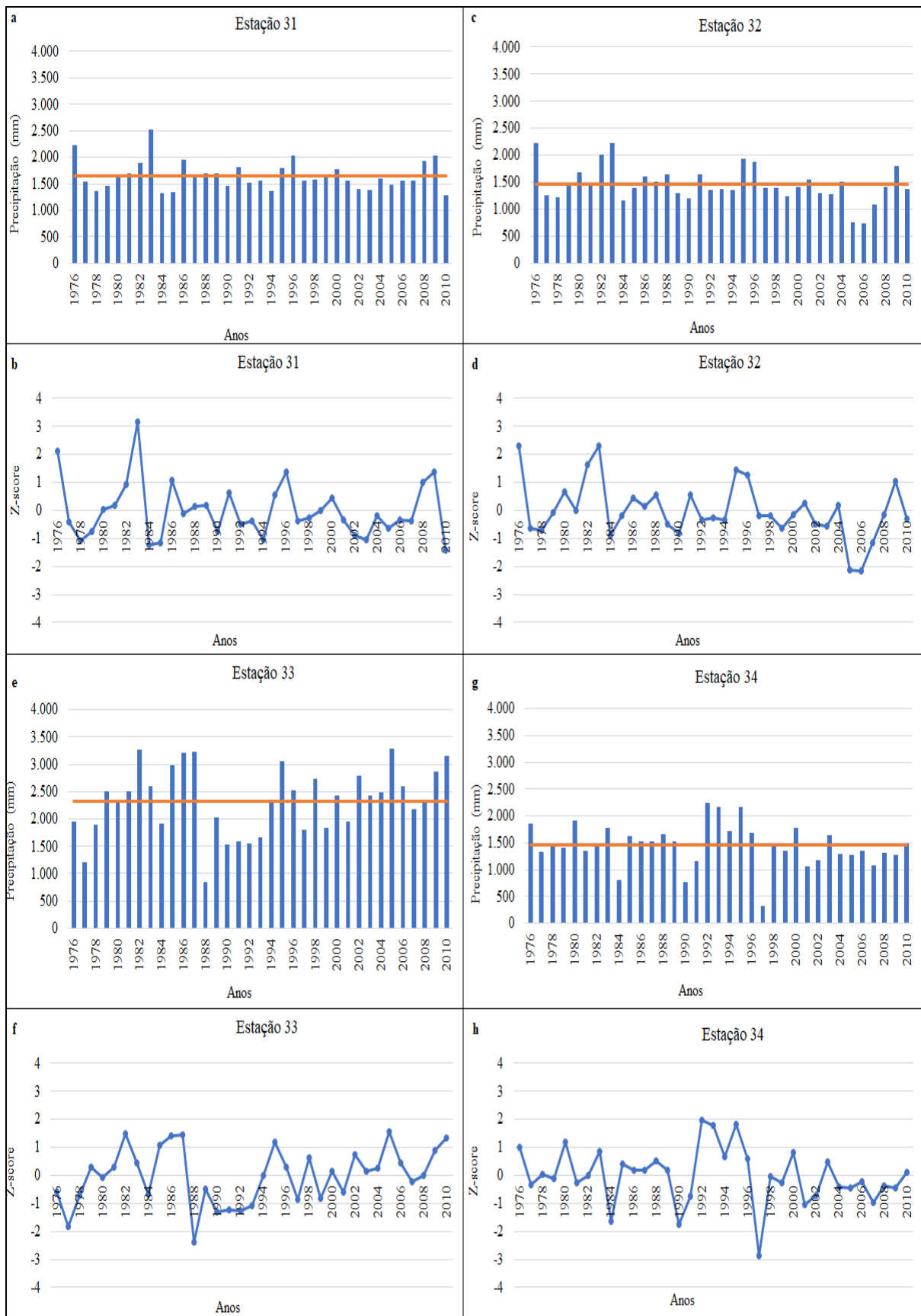
**Figura A4 - Precipitação e média climatológica das estações 23, 24, 25 e 26.**



**Figura A5 - Precipitação e média climatológica das estações 27, 28, 29 e 30.**



**Figura A6 - Precipitação e média climatológica das estações 31, 32, 33 e 34.**



## ANEXO 2

Figura A7 – Ocorrência de El Niño.

1877 - 1878	1888 - 1889
1896 - 1897	1899
1902 - 1903	1905 - 1906
1911 - 1912	1913 - 1914
1918 - 1919	1923
1925 - 1926	1932
1939 - 1941	1946 - 1947
1951	1953
1957 - 1959	1963
1965 - 1966	1968 - 1970
1972 - 1973	1976 - 1977
1977 - 1978	1979 - 1980
1982 - 1983	1986 - 1988
1990 - 1993	1994 - 1995
1997 - 1998	2002 - 2003
2004 - 2005	2006 - 2007
2009 - 2010	-

Legenda: Forte Moderada Fraco

Fonte: Cptec INPE 2018.

Figura A8 – Ocorrência de La Niña.

1886	1903 - 1904
1906 - 1908	1909 - 1910
1916 - 1918	1924 - 1925
1928 - 1929	1938 - 1939
1949 - 1951	1954 - 1956
1964 - 1965	1970 - 1971
1973 - 1976	1983 - 1984
1984 - 1985	1988 - 1989
1995 - 1996	1998 - 2001
2007 - 2008	-

Legenda: Forte Moderada Fraco

Fonte: Cptec INPE 2018.



A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.