



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

JOÃO FRANCISCO FERREIRA SOBREIRO

Mudanças climáticas e conservação:  
caracterização climática e futuros microrrefúgios de vegetação na  
Cadeia do Espinhaço Meridional (Brasil)

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de  
Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP  
2016

JOÃO FRANCISCO FERREIRA SOBREIRO

Mudanças climáticas e conservação:  
caracterização climática e futuros microrrefúgios de vegetação na  
Cadeia do Espinhaço Meridional (Brasil)

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de  
Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Thiago Sanna Freire Silva (orientador)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leonor Patricia Cerdeira Morelato

Prof. Dr. David Montenegro Lapola

Rio Claro, 02 de Dezembro de 2016.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

## Dedicatória e Agradecimento

Primeiramente, **FORA TEMER.**

À minha Vó Wanda; inspiração, razão, orgulho.

À minha mãe, Débora; existência, ternura, amor.

Ao meu Pai, Marcelo; segurança, cuidado, paciência.

Ao meu irmão, Bernardo; sonhos, caminhos, vontade.

Às minhas Tias, Patrícia, Maura, Eliza, Ana Cláudia, Andréia, Loló, Mara; admiração e carinho.

Aos meus primos; alegria.

À amizade sincera de Poeta, Rod, Júlião, Azeitona, Beig, Psico, Silvão, Maresia, Pança e agregados, companheiros de Paraíso; eternidade.

Ao Bituca, Lisa, Frida, Tieta, Jorge, Mujica e Nelson; esperança.

Aos parceiros de EcoDyn Thiago, Annia, Rafa, Camilla, Bia, Swanni, Jeff, Say, Luiz, Cotia, Carlos, Brunão; apoio e horizontes.

Ao meu Tio Léo... saudades.

À todos vocês, minha dedicação.

Gratidão por me fazerem ser.

*“Eu tô te explicando pra te confundir,  
Eu tô te confundindo pra te esclarecer,  
Tô iluminado pra pudê cegá  
Tô ficando cego pra pudê guiá...”*  
*(Tom Zé)*

## RESUMO

Diante dos cenários de mudanças climáticas, os ecossistemas serão afetados por diversas modificações, dentre elas alterações nos padrões de precipitação e temperatura, com potencial impacto sobre a distribuição da vegetação. A Cadeia do Espinhaço Meridional, localizada no estado de Minas Gerais (Brasil) abarca áreas de Cerrado e Mata Atlântica, biomas inseridos na lista de "hotspots" de biodiversidade, evidenciando a importância da compreensão de suas dinâmicas ecossistêmicas para viabilizar a preservação destes. A compreensão das características climáticas regionais e suas relações com os microclimas e traços fisiográficos locais possibilita não apenas a compreensão de eventos passados, mas também a identificação e localização de áreas potenciais para o estabelecimento de microrrefúgios sob climas adversos futuros, tendo importância significativa para o estabelecimento de estratégias de conservação. O objetivo deste trabalho é a caracterização climatológica da Cadeia do Espinhaço Meridional e a identificação de áreas climáticas dissociadas dos padrões regionais, buscando detectar locais favoráveis à migração, manutenção e reprodução de espécies vegetais (microrrefúgios) em cenários de mudanças climáticas. Observou-se padrões latitudinais bem demarcados para a precipitação, e padrões longitudinais para a temperatura, padrões estes, diretamente relacionados com a atuação da ZCAS e mTa, respectivamente. A topografia da Cadeia do Espinhaço apresentou-se como um divisor de temperaturas, além de apresentar indícios de atuação enquanto barreira orográfica para a precipitação. Realizou-se uma análise de componentes principais e, posteriormente, uma classificação através do algoritmo *k-means*, que possibilitou a identificação de diferentes regiões topoclimáticas, e áreas dissociadas do contexto adjacente, apontando para indícios de possíveis microrrefúgios de vegetação, dentre estas áreas, uma foi analisada em detalhes.

## ABSTRACT

In the face of climate change scenarios, ecosystems will be affected by several changes, among them, changes in patterns of precipitation and temperature, with potential impact on the distribution of vegetation. The Southern Espinhaço Range, in the State of Minas Gerais (Brazil) covers areas of Cerrado and Atlantic Forest, biomes that are included in the list of "hotspots" of biodiversity, highlighting the importance of understanding their ecosystem dynamics to enable their preservation. The understanding of regional climate characteristics and its relations with the microclimates and local physiographic features enables not only the understanding of past events, but also to identify and locate potential areas for the establishment of microrefugia under future adverse climates, having significant importance for the establishment of conservation strategies. The objective of this study is the climatological characterization of the Southern Espinhaço Mountains and the identification of areas disassociated from the regional climate standards, seeking to detect favorable local for migration, maintenance and reproduction of plant species (microrefugia) under climate change scenarios. We observed well defined latitudinal patterns for precipitation, and longitudinal patterns for temperature, these, directly related to the performance of SACZ and Atlantic Tropical Mass, respectively. The topography of the Espinhaço acted as a temperature divider, and presented evidences of activity as orographic barrier for precipitation. We conducted a principal component analysis (PCA) and then a classification by *k-means* algorithm, which enabled the identification of different climatic regions, and dissociated areas of the adjacent context, indicating possible microrefugia for vegetation, among these areas, one was analyzed in detail.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. OBJETIVOS.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	12
3.1 <i>Área de estudo</i> .....	12
3.2 Dados de topografia .....	14
3.3 <i>Dados de precipitação</i> .....	15
3.3.1 Dados da Agência Nacional de Águas (ANA).....	15
3.3.2 <i>Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)</i> .....	16
3.3.3 Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) .....	17
3.4 Temperatura .....	17
3.5 Análise dos padrões longitudinais de precipitação.....	18
3.6 Identificação de possíveis microrrefúgios .....	19
3.6.1 Análise de Componentes Principais.....	19
3.6.2 Classificação através do algoritmo k-means .....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1 Precipitação.....	21
4.1.1 Validação dos dados de satélite TRMM e CHIRPS .....	21
4.1.2 Análise dos padrões temporais e espaciais de precipitação .....	22
4.2 Temperatura .....	26
4.3 Identificação de possíveis microrrefúgios.....	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

## 1. INTRODUÇÃO

A diversidade de espécies não está distribuída aleatoriamente no espaço, mas segue padrões espaciais distintos, estando muitas vezes distribuída ao longo de gradientes ambientais heterogêneos (HORTAL et al. 2013; SLATON, 2015). A hipótese ecológica mais disseminada é a de que a heterogeneidade ambiental das condições bióticas e abióticas aumenta a amplitude disponível de nichos, e assim possibilita a coexistência de um maior número de espécies (STEIN; KREFT, 2015).

Em largas escalas espaciais e temporais, a heterogeneidade ambiental pode influenciar as taxas de diversificação e extinção através do isolamento, especiação e também do fornecimento de refúgios onde populações podem persistir durante períodos de mudanças climáticas (STEIN; KREFT, 2015).

Em paisagens heterogêneas, diversos gradientes ambientais se sobrepõem e interagem entre si, especialmente gradientes afetados pela topografia e pelo clima (SLATON, 2015). Assim, o estudo da distribuição de espécies em paisagens complexas requer a caracterização detalhada dos diferentes gradientes atuantes sobre a biota.

As dinâmicas bióticas e abióticas que compõem a heterogeneidade de uma paisagem possuem uma relação estreita de interdependência com o clima, uma vez que os processos geomorfológicos, pedológicos, ecológicos, e as formas que eles originam só podem ser devidamente compreendidos com referência ao clima predominante na atualidade e no passado (AYOADE, 2011). O clima de uma determinada região da superfície terrestre, por sua vez, é determinado por uma combinação de fatores que passa pelas condições de comportamento atmosférico em escala global, regional e local, sendo também determinado pelas condições de relevo, posição continental e latitude (MANOSSO, 2013).

Diante dos possíveis cenários de mudanças climáticas, os ecossistemas terrestres serão afetados por alterações tais como reduções das coberturas de gelo e neve e o conseqüente aumento do nível do mar, acidificação dos oceanos, mudanças na intensidade e padrões de precipitação e alterações na direção e velocidade dos ventos (GROVES et. al, 2012). As concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera já excederam todas as observações dos últimos 650.000 anos e, sem uma intervenção substancial, espera-se um aumento entre 540-970ppm (140-263% relativos às observações dos anos 2000) até 2100. Projeta-se um aumento médio da temperatura global para o ano 2100 entre 1.4 –

5.8°C, com diminuição da variação das temperaturas diárias e sazonais (WILLIAMS; JACKSON; KUTZBACH, 2007).

Existem evidências de que as mudanças climáticas já observadas nas últimas décadas estão alterando os padrões de diversidade, migração, abundância e interação entre espécies, além de afetar a produtividade primária dos ecossistemas (GROVES et al, 2012). Estas mudanças podem vir a alterar a organização espacial da biodiversidade e suas dinâmicas ecológicas nos mais diversificados biomas, resultando em futuros padrões de organização espacial diferentes dos observados para os ecossistemas atuais, com consequências, em muitos casos, incertas.

Os biomas brasileiros abrigam uma porção significativa da biodiversidade mundial, constituindo importantes centros de diversidade pela combinação de altos níveis de riqueza e de endemismo (ALEIXO et al., 2010). No entanto, altíssimos níveis de degradação, aliados à singularidade ecossistêmica, já colocaram dois biomas brasileiros – a Mata Atlântica e o Cerrado – na lista dos “hotspots” de biodiversidade, conjuntos de ecorregiões prioritárias para conservação em nível mundial (MYERS et al., 2000). A pluralidade dos fatores que compõem as paisagens dos biomas brasileiros, a complexa relação que estabelecem entre si e os atuais cenários de mudanças climáticas desafiam a elaboração de planos de conservação efetivos, que permaneçam efetivos mesmo em situações desfavoráveis.

Através das previsões de cenários futuros do clima desenvolvidas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), pesquisadores que compõem os grupos de investigação do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) geraram modelos de projeções de mudanças ambientais utilizando a técnica de *downscaling* dinâmico, que consiste em usar um modelo climático regional aninhado a um modelo climático global (PBMC, 2014). De acordo com o relatório do PBMC de 2014, as projeções climáticas para o Cerrado, para a porção Sul/Sudeste da Mata Atlântica e para a Caatinga são as seguintes:

- **CERRADO:** Aumento de 1°C na temperatura superficial com diminuição percentual entre 10% e 20% na pluviosidade durante as próximas três décadas (até 2040). Para meados do século (2041-2070), estima-se um aumento entre 3° a 3,5 °C na temperatura do ar e redução entre 20% e 35% da pluviosidade. No final do século (2071-2100), o aumento de temperatura poderá atingir valores entre 5° e 5,5 °C e a

diminuição da pluviosidade poderá ser mais crítica, entre 35% e 45%. Além disso, espera-se acentuação das variações sazonais.

- *MATA ATLÂNTICA Porção Sul/Sudeste (S/SE)*: até 2040 as projeções indicam aumento relativamente baixo de temperatura, entre 0,5° e 1 °C, com um aumento de 5% a 10% na pluviosidade. Para meados do século (2041-2070), mantêm-se as tendências de aumento gradual de 1,5° a 2 °C na temperatura, e de aumento de 15% a 20% na pluviosidade, sendo que essas tendências poderão se acentuar ainda mais no final do século (2071-2100), com padrões de clima entre 2,5° e 3 °C mais quente e 25% a 30% mais chuvoso.
- *CAATINGA*: A temperatura da Caatinga deverá aumentar entre 0,5 °C e 1 °C e as chuvas no bioma diminuirão entre 10% e 20% até 2040. Entre 2041 e 2070 o clima da região deverá ficar de 1,5 °C a 2,5 °C mais quente e o padrão de chuva diminuir entre 25% e 35%. Até o final do século, a temperatura do bioma deverá aumentar progressivamente entre 3,5 °C e 4,5 °C e a ocorrência de chuva diminuir entre 40% e 50%. Tais mudanças podem desencadear o processo de desertificação do bioma.

Nestas condições de expansão dos ambientes desfavoráveis para espécies sensíveis às flutuações climáticas, uma das possíveis respostas adaptativas da biota é a ocupação de refúgios climáticos. O termo “refúgios climáticos” comumente se refere a regiões nas quais os organismos “refugiaram-se” durante os períodos de mudanças ambientais resultantes dos avanços e retrações glaciais do Pleistoceno, os quais posteriormente atuaram como fontes de colonização durante períodos climáticos mais favoráveis (DOBROWSKI, 2010). Nos trópicos, o efeito da glaciação não possui relação direta com o gelo em si, mas sim com mudanças na temperatura e precipitação associadas às grandes mudanças na cobertura de gelo.

Evidências demonstram que os refúgios climáticos também podem ser observados em escalas locais, mesmo durante períodos interglaciais, sendo conhecidos como microrrefúgios. A conceituação do termo “microrrefúgio” e sua importância para os estudos em mudanças climáticas é realizada por Dobrowski;

Microrrefúgios são áreas que localmente apresentam climas favoráveis em meio a climas regionais desfavoráveis, e que permitem às populações de espécies persistirem fora de suas principais áreas de distribuição. O conhecimento de áreas de microrrefúgio possui implicações importantes para as pesquisas em mudanças climáticas, uma vez que ampliam nosso entendimento sobre as distribuições espaciais das espécies através do tempo, seus padrões de diversidade genética, e as potenciais taxas de dispersão em resposta à mudanças climáticas (DOBROWSKI, 2010, tradução do autor).

O termo “microrrefúgio”, foi utilizado primeiramente por Rull et al. (1988), buscando explicar a existência, por um longo período, de uma espécie típica de altas montanhas nos Tepuis Venezuelanos (BARBOSA et al., 2015). Acredita-se que durante os momentos de seca do Pleistoceno na América do Sul, pequenos locais com microclimas favoráveis podem ter favorecido a manutenção de algumas espécies em ecossistemas montanhosos, conhecidos por possuírem características favoráveis ao surgimento de microrrefúgios. (BARBOSA et al., 2015). Com a chegada de climas mais úmidos ao fim do Pleistoceno, muitas dessas espécies puderam, rapidamente, recolonizar áreas adjacentes (RULL, 2009).

Devido à dificuldade em prever e localizar microrrefúgios, muitos autores discutem sua localização através de abordagens qualitativas ou então generalizam sua ocorrência em habitats, tais como depressões topográficas, afloramentos rochosos ou vales sombreados (ASHCROFT et al., 2012). Afim de sistematizar a localização de futuros microrrefúgios, Ashcroft (2012) apresenta uma abordagem quantitativa. Esta abordagem consiste na quantificação de áreas que: (1) possuem as maiores e menores temperaturas quando analisadas através de gradientes topoclimáticos; (2) possuem climas relativamente estáveis; (3) são dissociadas do clima das áreas adjacentes.

A topografia complexa dos ambientes montanhosos cria diferentes tipos de microclimas, que são criticamente importantes para a distribuição e diversidade das espécies, assim como, para a existência dos microrrefúgios (BARBOSA, et al., 2015). Dessa maneira, a compreensão das características climáticas regionais e suas relações com os microclimas e traços fisiográficos locais, principalmente em ambientes montanhosos, possibilita não apenas a compreensão de eventos passados, mas também a identificação e localização de áreas potenciais para o estabelecimento de microrrefúgios sob climas adversos futuros. Este tipo de previsão pode ser usados para orientar estratégias de proteção, conservação e manejo dos recursos naturais envolvidos, sob diferentes cenários de mudanças climáticas.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a caracterização climatológica da Cadeia do Espinhaço Meridional e a identificação de áreas climáticas dissociadas dos padrões regionais, buscando detectar locais favoráveis à migração, manutenção e reprodução de espécies vegetais (microrrefúgios) em cenários futuros de mudanças climáticas. Para tanto, serão buscados os seguintes objetivos específicos:

- (1) Caracterizar os padrões temporais e espaciais de temperatura e precipitação ao longo da Cadeia do Espinhaço Meridional através de produtos de sensoriamento remoto e observações meteorológicas *in situ*;
- (2) Identificar os fatores climáticos regionais limitantes para a distribuição de espécies vegetais, observando, principalmente, extremos de temperatura e precipitação em relação à variações no relevo;
- (3) Identificar os locais na Cadeia do Espinhaço Meridional que possuam características topoclimáticas dissociadas do contexto climático regional, e que possam favorecer a migração, manutenção e reprodução de espécies vegetais, assinalando-os como possíveis futuros microrrefúgios.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na Cadeia do Espinhaço Meridional e adjacências. Esta região foi escolhida por apresentar alta complexidade topográfica, alto nível de endemismo de espécies vegetacionais e por localizar-se em uma região de transição climática, fatores estes, propícios ao estabelecimento de microrrefúgios de biodiversidade.

A Cadeia do Espinhaço se estende por cerca de 1000 km, desde o Estado de Minas Gerais chegando até a Chapada Diamantina, na Bahia. Sua porção meridional, alvo de estudo deste projeto, abrange uma área compreendendo desde o centro até o norte do Estado de Minas Gerais (Brasil), encontrando-se entre as faixas latitudinais de 15° e 20° Sul (Figura 1). Segundo Saadi (1995):

—A Serra do Espinhaço — grande divisor hidrográfico interposto entre as bacias do centro-leste brasileiro e a do rio São Francisco — constitui, em Minas Gerais, um conjunto de terras altas, com forma de bumerangue de direção geral norte-sul e convexidade orientada para oeste. A denominação "serra" esconde, no entanto, uma realidade fisiográfica que seria melhor definida pelo termo —planalto".

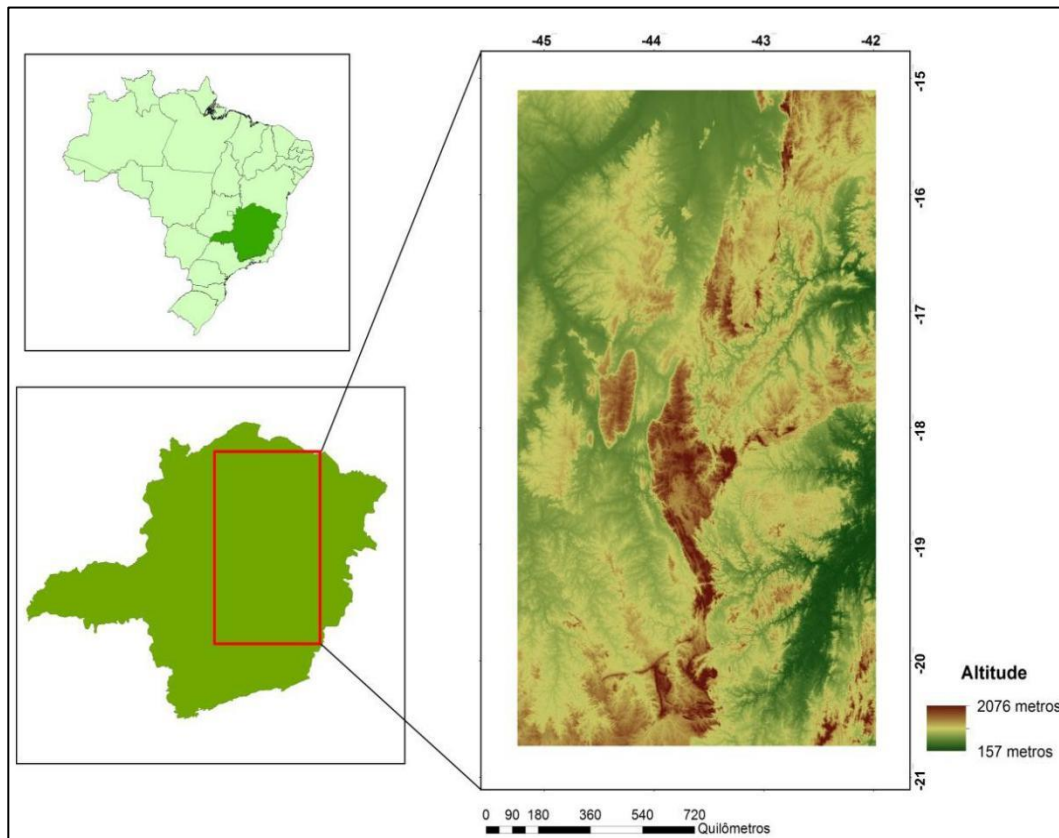


Figura 1: Localização da área de estudo. À esquerda, localização do estado de Minas Gerais na região sudeste do Brasil, e a área correspondente à Cadeia do Espinhaço Meridional. À direita, modelo digital de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), correspondente à área de estudo, evidenciando a complexidade topográfica da região.

Segundo Cupolillo (2008), a região sudeste do Brasil é caracterizada por ser uma faixa latitudinal marcada pela transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos de tipo temperado de latitudes médias. O macroclima de Minas Gerais se caracteriza por uma sazonalidade responsável por duas estações distintas e bem definidas, um verão úmido e quente e um inverno seco e ameno, bem como duas estações de transição, o outono e a primavera (CUPOLILLO, 2008).

A Cadeia do Espinhaço Meridional, localizada no estado de Minas Gerais (Brasil), está inserida entre os domínios do Cerrado e da Mata Atlântica, possuindo transição para a Caatinga em sua porção norte, evidenciando a importância da compreensão de suas dinâmicas ecossistêmicas para viabilizar a preservação destes biomas.

Os Neotrópicos abrigam quase 40% de todas as espécies de plantas, sendo que o Brasil contém aproximadamente  $\frac{1}{3}$  dessas espécies e mais da metade destas são endêmicas (BITENCOURT, 2013). A Cadeia do Espinhaço é caracterizada pelo alto nível de endemismo da vegetação; a região representa cerca de 1% do território brasileiro mas abriga aproximadamente 10% da diversidade de plantas já relatadas para todo o país (RAPINI, 2010). Bitencourt, 2013 descreve os domínios fitogeográficos presentes na região;

A Cadeia do Espinhaço, no leste do Brasil, encontra-se em uma zona de transição por conta de diferentes esferas: (1) trata-se de um divisor entre as bacias do São Francisco e do Atlântico Leste, além de estar no entremeio de diversas sub-bacias; e (2) é intersectada por três domínios fitogeográficos: a Caatinga ao norte, a Mata Atlântica a sudeste e o Cerrado a sudoeste. Nos topos de morros, ela abriga uma vegetação aberta associada a solos quártzicos denominada campos rupestres. Essas áreas são caracterizadas pela alta diversidade de espécies, em grande parte microendêmicas (Harley, 1988; Giulietti et al., 1997; Rapini et al., 2008). (BITENCOURT, 2013)

### 3.2 Dados de topografia

Os padrões topoclimáticos da área de estudo foram analisados através de modelos digitais de elevação obtidos dos produtos do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM).

A missão usou o mesmo instrumento utilizado em 1994 no programa Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR), a bordo do ônibus espacial Endeavour. Porém o arranjo foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria. Para tanto, a nave foi munida de um mastro de 60m, em cuja extremidade foram instaladas antenas para bandas C e X, além de melhorados os dispositivos de controle e navegação. (VALERIANO, 2004)

Utilizamos o produto com resolução de 3 arcos segundo (a rigor,  $3''$  ou  $0,000833^\circ$ ), que corresponde à uma resolução aproximada de 90 metros, tendo dados de altitude em metros inteiros. Os modelos digitais de elevação foram adquiridos através do site do *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS), que é controlado pela *U.S. Geological Survey* (<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM> e posteriormente, relacionados com os produtos de precipitação e temperatura, sendo analisados no software QGIS 2.16.1.

### 3.3 Dados de precipitação

#### 3.3.1 Dados da Agência Nacional de Águas (ANA)

Para a realização deste trabalho, foram selecionadas todas as 112 estações de solo (Figura 2), localizadas na área de estudo, que possuísem no mínimo 30 anos de dados de precipitação disponíveis, contemplando diferentes combinações de latitudes, longitudes e altitudes. Os dados brutos de cada estação foram adquiridos no site *hidroweb.ana.gov.br*, coordenado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

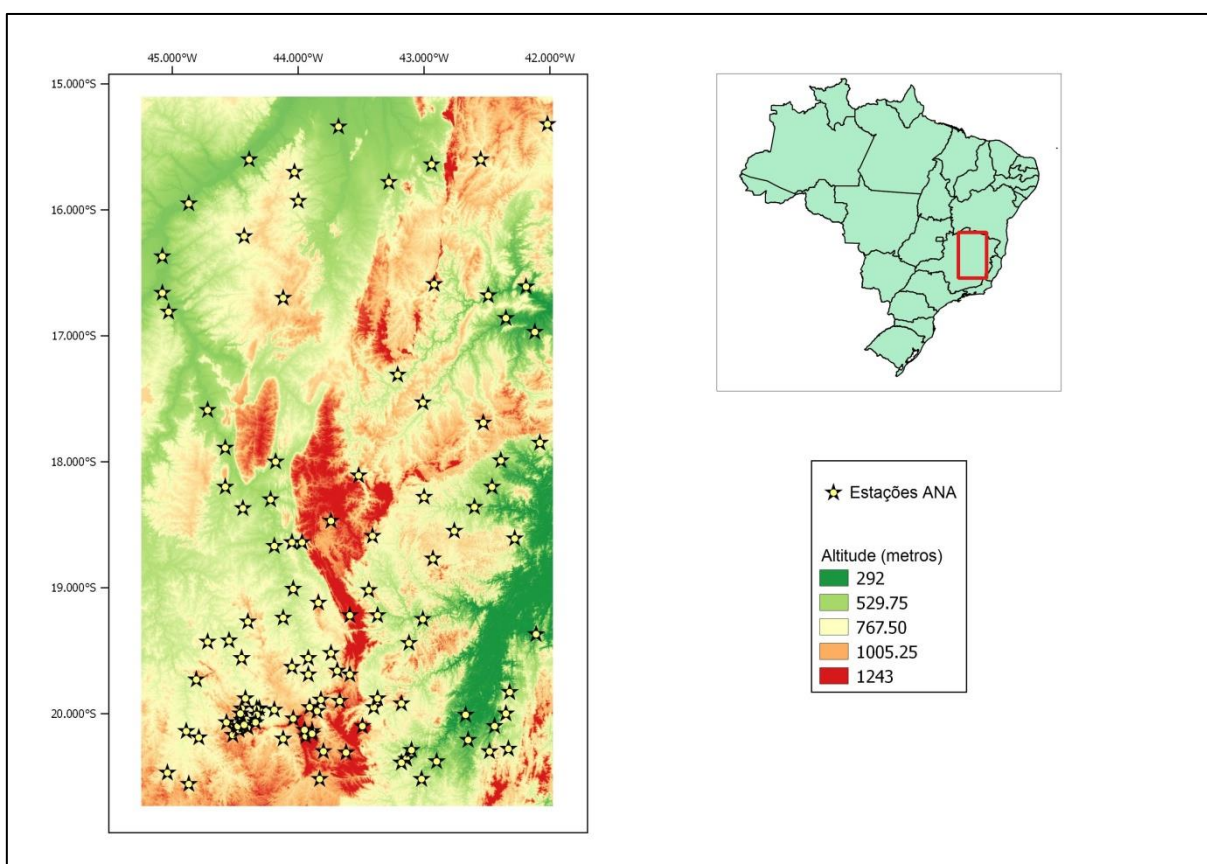


Figura 2: Localização das 112 estações pluviométricas, com no mínimo 30 anos de dados, controladas pela Agência Nacional de Águas.

Os dados das estações de solo foram utilizados para a validação dos produtos de satélite e também para a identificação dos padrões latitudinais de precipitação na área de estudo. Para tanto, foram realizadas regressões lineares afim de validar os dados de satélite, além de médias dos dados mensais de precipitação, observando a localização latitudinal de cada estação. Os dados foram analisados utilizando-se os softwares Microsoft Excel 2010 e R versão 3.03 (R Development Core Team, 2010).

### 3.3.2 Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)

A *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) resultou de uma parceria entre a Agência Espacial Americana (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). O objetivo da missão TRMM foi a obtenção de dados de precipitação nas regiões tropicais e subtropicais do planeta, através de um conjunto de sensores orbitais: *Precipitation Radar* (PR), *Microwave Imager* (TMI), *Visible and Infrared Scanner* (VIIRS), *Cloud and Earth Radiant Energy Sensor* (CERES) e *Lightning Imaging Sensor* (LIS). A missão TRMM foi operacional por 17 anos (1997-2015), coletando dados que promoveram o melhor entendimento de fenômenos climatológicos em diferentes escalas, desde a estrutura e evolução de ciclones tropicais até a estimativa da precipitação pluviométrica acumulada (FLEMING et. al, 2015)

Para o presente estudo, foi utilizado o produto TRMM 3B43, resultante de um algoritmo que produz uma série temporal da precipitação mensal média (em  $\text{mm hr}^{-1}$ ) inferida através dos dados provenientes de múltiplos sensores da missão TRMM, e também de dados de pluviômetros disponibilizados pelo *Global Precipitation Climatological Center* (GPCC) e pelo *Climate Assesment and Monitoring System* (CAMS, produzido pelo *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA)) (FLEMING et. al, 2015). A resolução espacial do produto TRMM 3B43 é de  $0.25^\circ$  por  $0.25^\circ$  (aproximadamente 25 por 25 km)), disponibilizados como uma imagem global que se estende de  $50^\circ$  Sul à  $50^\circ$  Norte de latitude. As imagens TRMM 3B43 foram obtidas através do site *mirador.gsfc.nasa.gov*

O processamento das imagens foi realizado no software ENVI 4.8, onde a imagem original foi rotacionada em  $90^\circ$  e os valores de precipitação foram convertidos de mm/hora para mm/mês. A fim de avaliar a viabilidade do uso das imagens TRMM na análise dos padrões de chuva ao longo da Cadeia do Espinhaço, as séries temporais de valores dos pixels correspondentes à localização das estações de campo da ANA foram extraídos, e correlacionados com as séries temporais de valores medidas em cada estação.

Para a análise dos padrões latitudinais, calculou-se as médias climatológicas mensais de precipitação para o período de Janeiro/1999 a Fevereiro/2015, em faixas sucessivas de  $1^\circ$  de latitude. Também foram calculadas as normais climatológicas mensais para o mesmo período, e os totais anuais dos valores de precipitação de cada estação de solo da ANA. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R, versão 3.03 (R Development Core Team,

2010). A interpretação das imagens da missão TRMM foram realizados utilizando o software QGIS 2.16.1.

### 3.3.3 Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS)

O produto *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS), foi desenvolvido por cientistas da Universidade da Califórnia, Santa Barbara e do *U.S. Geological Survey Earth Resources Observation and Science Center* (FUNK *et al*, 2014). Este produto quasi-global de precipitação está disponível em escalas temporais diárias à sazonais, com resolução espacial de 0.05° (aproximadamente 5.5 por 5.5 km), e com dados a partir de 1981 até o presente. Os três tipos de informação principais usadas na produção do produto CHIRPS são: (1) precipitação global em 0.05° de resolução, (2) *grids* de estimativa de precipitação em infravermelho através da duração de nuvens frias (*cold cloud duration – CCD*) e (3) observação de precipitação *in situ*. O *Climate Hazards Group* (CHG) desenvolveu uma extensa base de dados do total de precipitação diária, pentadal e mensal através de observações *in situ*, somando mais de um bilhão de dados. A maioria destas observações vêm de quatro conjuntos: *Global Historical Climate Network version 2* (mensal), *Global Historical Climate Network* (diário), *Global Summary of the Day (GSOD)*, e do *Global Telecommunication System – GTS* (diário) disponibilizado pelo *NOAA's Climate Prediction Center (CPC)*. Um procedimento de triagem foi desenvolvido para remover suspeitas de "falsos zeros" das *GTS* diárias e dados *GSOD*, uma vez que estes dados podem artificialmente suprimir os totais de chuva (FUNK *et al*, 2014).

Foram adquiridos os dados de precipitação mensal global de toda a série histórica (1981-2016) em formato GeoTIFF. O processamento, estatísticas e análises dos dados foram realizados utilizando o software R, versão 3.03 (R Development Core Team, 2010) e em ambiente SIG utilizando o software QGIS 2.16.1, respectivamente. Os procedimentos de análise e validação foram realizados da mesma forma que para os dados TRMM (seção 3.3.2).

## 3.4 Temperatura

Para as análises de temperatura, utilizamos o produto *Terra Day Land Surface Temperature MOD11A2*, versão 5, produzido a partir de imagens do sensor orbital *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. Este produto compreende estimativas de temperatura da superfície terrestre (*land surface temperature, LST*) em uma resolução

espacial de 1km e em resolução temporal com intervalos de 8 dias, gerados a partir da agregação (composição) de observações diárias. A composição de 8 dias foi escolhida em lugar do produto de observações diárias (MOD11A1) buscando a minimização de *gaps* e erros de observação devido à cobertura de nuvens. Para a realização do *download*, mosaico e reprojeção da série temporal de 2001 à 2015 dos produtos MODIS LST, foram utilizados o pacote *MODISTools* do software R (TUCK et al, 2014), em conjunto com o software *Modis Reprojection Tool*, software produzido pelo *NASA Land Process Distributed Active Archive Centers (DAAC)* ([https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis\\_reprojection\\_tool](https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool)). Os produtos foram adquiridos no endereço <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>.

Os valores de LST foram convertidos para graus Celsius (°C), utilizando-se a equação  $LST * 0.02 - 273.15$  (NASA LP DAAC, 2016), e então foram calculados os percentis de 90% e 10% para toda a série, com o intuito de caracterizar a distribuição geográfica e topográfica dos extremos de temperatura, uma vez que esses valores podem ser limitantes para a manutenção da vegetação. Extremos de temperatura ocorrem através de condições climáticas específicas de cada local, desta maneira, os percentis são utilizados uma vez que é possível analisar as temperaturas extremas mesmo que elas não ocorram simultaneamente ou em dias consecutivos (ASHCROFT et al, 2012), além disso, os percentis minimizam problemas de aquisição dos dados, como interferência da cobertura de nuvens que pode resultar em valores não condizentes com a realidade, especialmente, temperaturas mínimas. Também foi calculada a amplitude de temperatura entre os percentis máximos e mínimos (STREHER et al, 2016).

### 3.5 Análise dos padrões longitudinais de precipitação e temperatura

A área de estudo foi dividida em três regiões, sendo elas: oeste, montanha e leste (Figura 3). Desta maneira foi possível observar os padrões de precipitação em cada um destes locais, levando em consideração as áreas rebaixadas à oeste e leste da área de estudo, e área montanhosa que compreende a Cadeia do Espinhaço. Esta análise foi realizada afim de avaliar a influência da topografia no contexto regional de precipitação e temperatura, além de identificar se há diferenças significativas de precipitação entre as porções oeste e leste da Cadeia do Espinhaço, uma vez que a presença de florestas de Mata Atlântica na face leste são atribuídas à um maior volume de chuvas nessa região (COELHO et. al, 2016).

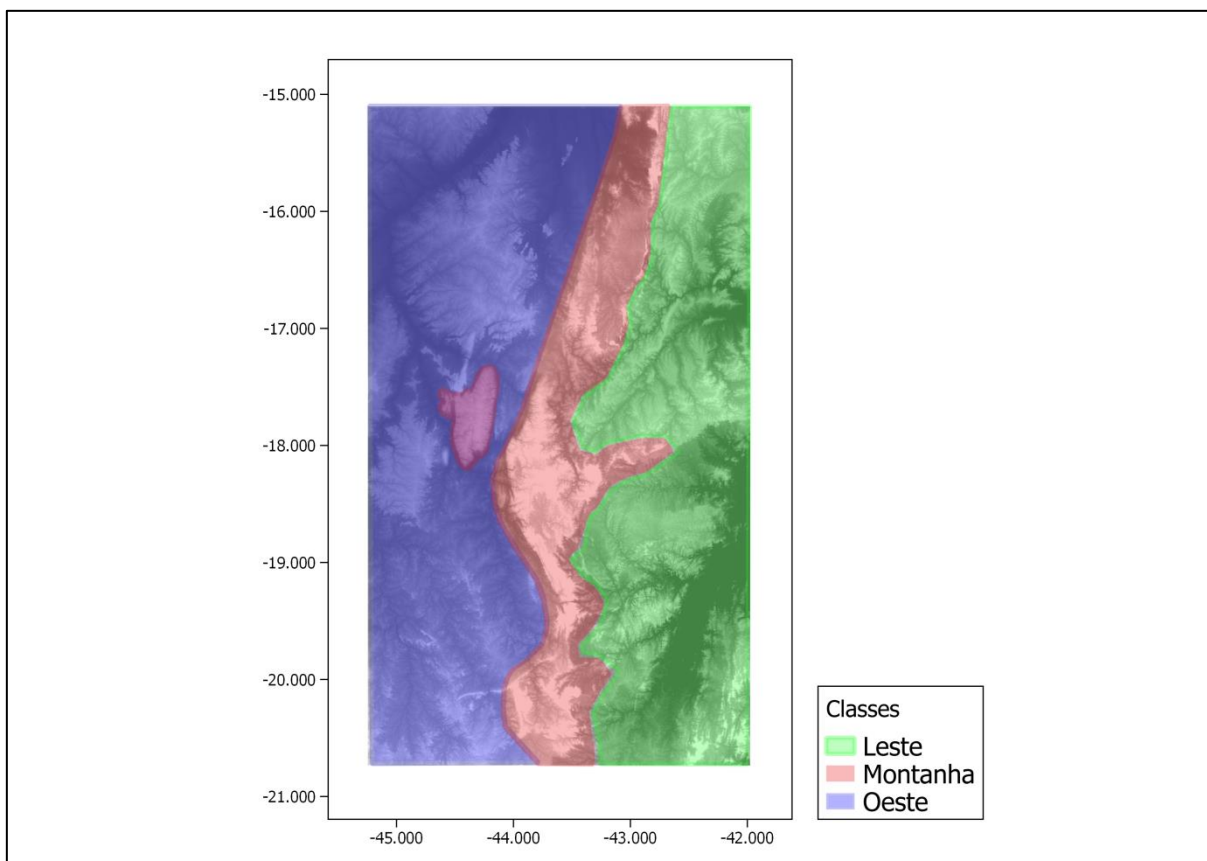


Figura 3: Regiões selecionadas levando em consideração áreas rebaixadas à Leste e Oeste, e a cadeia de montanhas que compreende a Cadeia do Espinhaço Meridional.

### 3.6 Identificação de possíveis microrrefúgios

Nesta etapa, foi realizada uma Análise de Componentes Principais e, posteriormente, uma classificação não-supervisionada através do algoritmo *k-means*, afim de identificar áreas dissociadas do contexto climático circundante e possíveis microrrefúgios. Para a identificação destas áreas favoráveis ao estabelecimento de um microrrefúgio, foi realizado o cálculo de extensão dos polígonos resultantes da classificação, gerando um histograma que foi analisado e filtrado através de um limiar estabelecido de acordo com a área (km<sup>2</sup>) de cada polígono. Estas análises foram realizadas utilizando o software R, versão 3.03 (R Development Core Team, 2010), software ENVI 4.8 e o software QGIS 2.16.1.

#### 3.6.1 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão, denominadas de componentes principais (VARELLA, 2012). As componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal

é uma combinação linear de todas as variáveis originais, as componentes são independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (VARELLA, 2012). Desta maneira, a análise de componentes principais auxilia na redução da massa de dados, sem que haja grandes perdas da informação.

Neste trabalho, a Análise de Componentes Principais foi aplicada com o intuito de buscar a maior variabilidade entre as camadas selecionadas, e assim reduzir à um número mínimo de componentes capazes de explicar a variação máxima dos dados. As camadas de entrada para a ACP foram selecionadas afim de identificar as maiores variações entre topografia, precipitação e temperatura (Tabela 1).

### 3.6.2 Classificação através do algoritmo k-means

A classificação através do algoritmo *k-means* é um método comumente utilizado para particionar dados automaticamente, em  $k$  grupos. O procedimento inicia-se com a seleção de  $k$  centros de agrupamento e, em seguida, refina-os de forma iterativa, como se segue:

1. Cada instância  $d_i$  é direcionada para o centro de agrupamento mais próximo.
2. Cada centro de agrupamento  $C_j$  é atualizado para que seja a média das instâncias que o constituem.

O algoritmo converge quando não há mais mudanças entre os direcionamentos de instâncias para centros de agrupamento (WAGSTAFF et al., 2001)

A aplicação do algoritmo de classificação não-supervisionada *k-means* deu-se sobre as componentes principais que agregaram a maior variação em relação os dados originais. Foram realizados testes de classificação com diferentes números de classe, dentre eles, aquele que melhor representou a variação agregada dos dados originais nas componentes principais através de interpretação visual, foi o de 20 classes. Assim, foram geradas 20 classes, em um processo de 20 iterações. As classes geradas foram analisadas afim de delinear regiões com regimes climáticos distintos, e posteriormente, pequenas áreas de regime distintos ao circundante, apontando para indícios de microrrefúgios.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Precipitação

#### 4.1.1 Validação dos dados de satélite TRMM e CHIRPS

Observou-se alta correspondência entre os dados adquiridos pelas estações meteorológicas em solo e os dados gerados pela missão TRMM, obtendo-se uma correlação de  $R^2 = 0,96$  (Figura 4). Esta concordância entre os valores de precipitação nos possibilitou realizar análises confiáveis sobre a variabilidade do regime de precipitação através das informações fornecidas pelos produtos dos satélites. Os dados CHIRPS apresentaram correspondência ainda maior com os dados das estações meteorológicas, obtendo-se  $R^2 = 0,98$  (Figura 5). É possível observar, em ambos os gráficos, a presença de um *outlier* que corresponde à um volume de precipitação de 473,3mm no mês de Dezembro para a estação Colégio Caraça, apontando para um possível erro na aquisição dos dados, uma vez que esta estação não possui características específicas que a distingue das outras estações analisadas.

Tendo em vista os coeficientes adquiridos das regressões executadas, as análises espaciais dos padrões de precipitação e os produtos cartográficos aqui apresentados foram realizados com o produto CHIRPS, uma vez que ele possui resolução espacial mais refinada e amplitude temporal maior que os produtos TRMM.

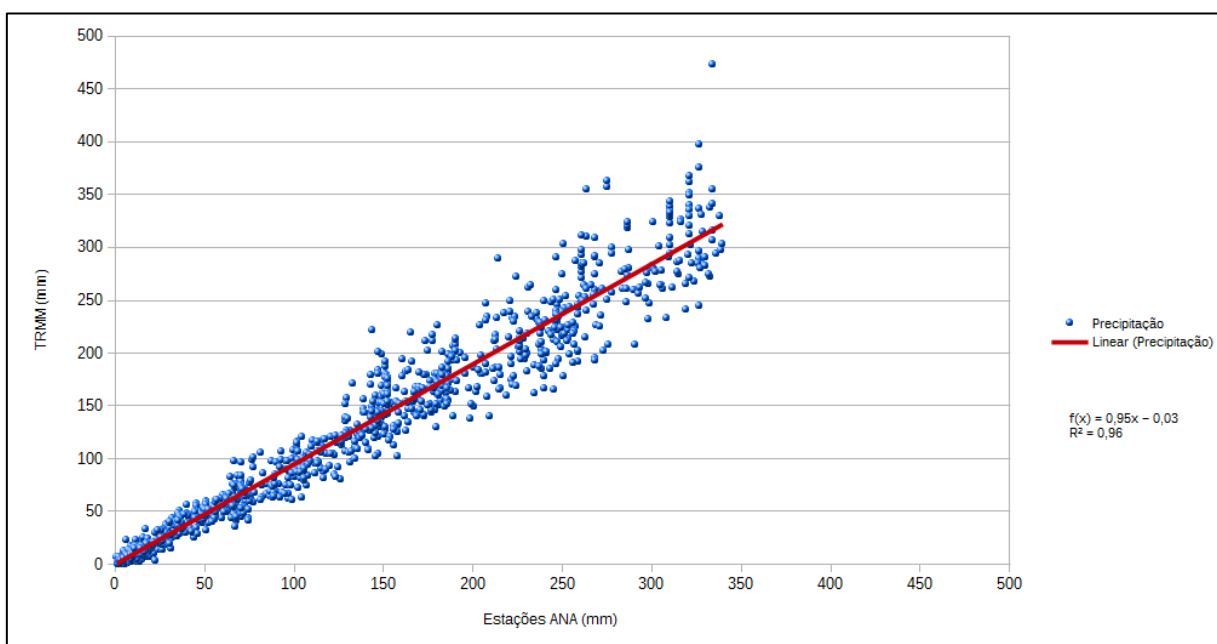


Figura 4: Relação entre os dados brutos de precipitação da missão TRMM e das estações meteorológicas de solo selecionadas.

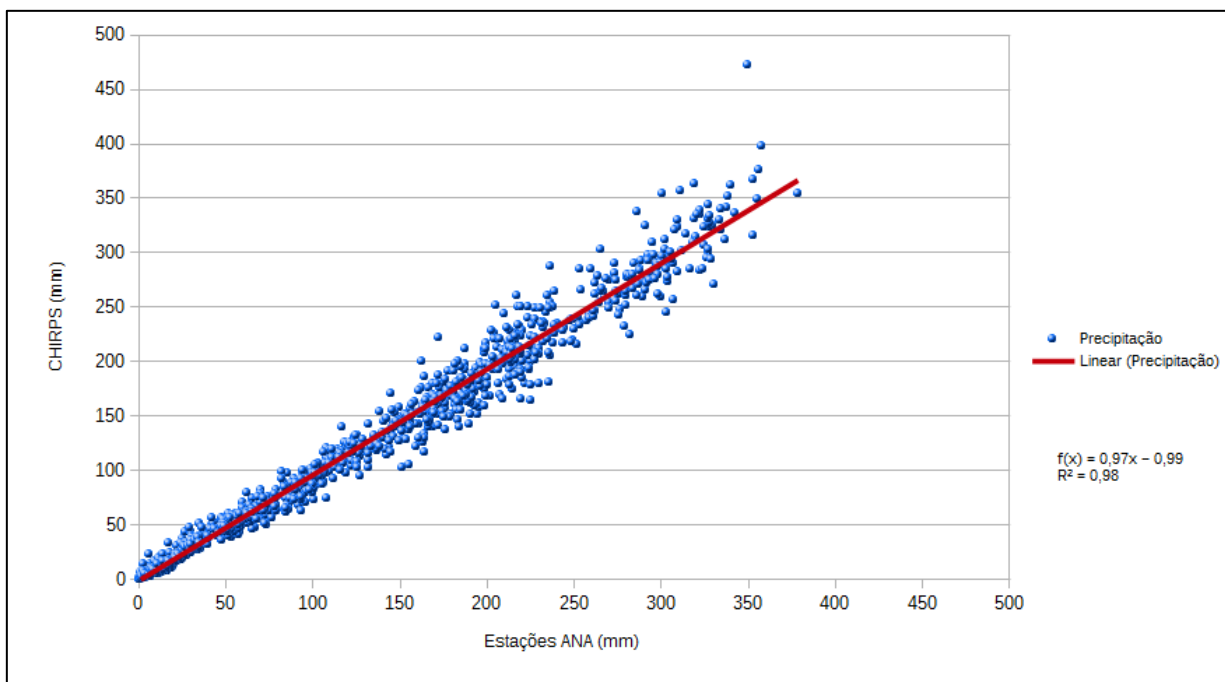


Figura 5: Relação entre os dados brutos de precipitação CHIRPS e das estações meteorológicas de solo selecionadas.

#### 4.1.2 Análise dos padrões temporais e espaciais de precipitação

Os dados médios de precipitação mostraram que a região de estudo possui uma distribuição temporal bem demarcada. O Estado de Minas Gerais, por sua localização geográfica, sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que conferem à região características de um clima de Transição (ABREU, 1998). A distribuição temporal se dá em duas estações bem demarcadas, uma chuvosa e uma seca; a estação chuvosa abarca os meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março e Abril, e a estação seca engloba os meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro (Figura 6).

Foi possível observar que durante o mês de Fevereiro há uma tendência de redução da precipitação durante a estação chuvosa, a qual pode ser explicada pela ocorrência de um bloqueio atmosférico que ocorre na passagem do 3º decêndio de Janeiro para o 1º decêndio de Fevereiro (CUPOLILLO, 2008). Este fenômeno impede a chegada de sistemas frontais sobre o Estado de Minas Gerais, o que favorece o estabelecimento de certa estabilidade atmosférica sobre a superfície. Estas condições geram um mecanismo de subsidência responsável pela formação de um Veranico Climatológico, explicando a brusca redução no volume de precipitação para este período. Esta situação persiste até o 1º decêndio de março (CUPOLILLO, 2008).

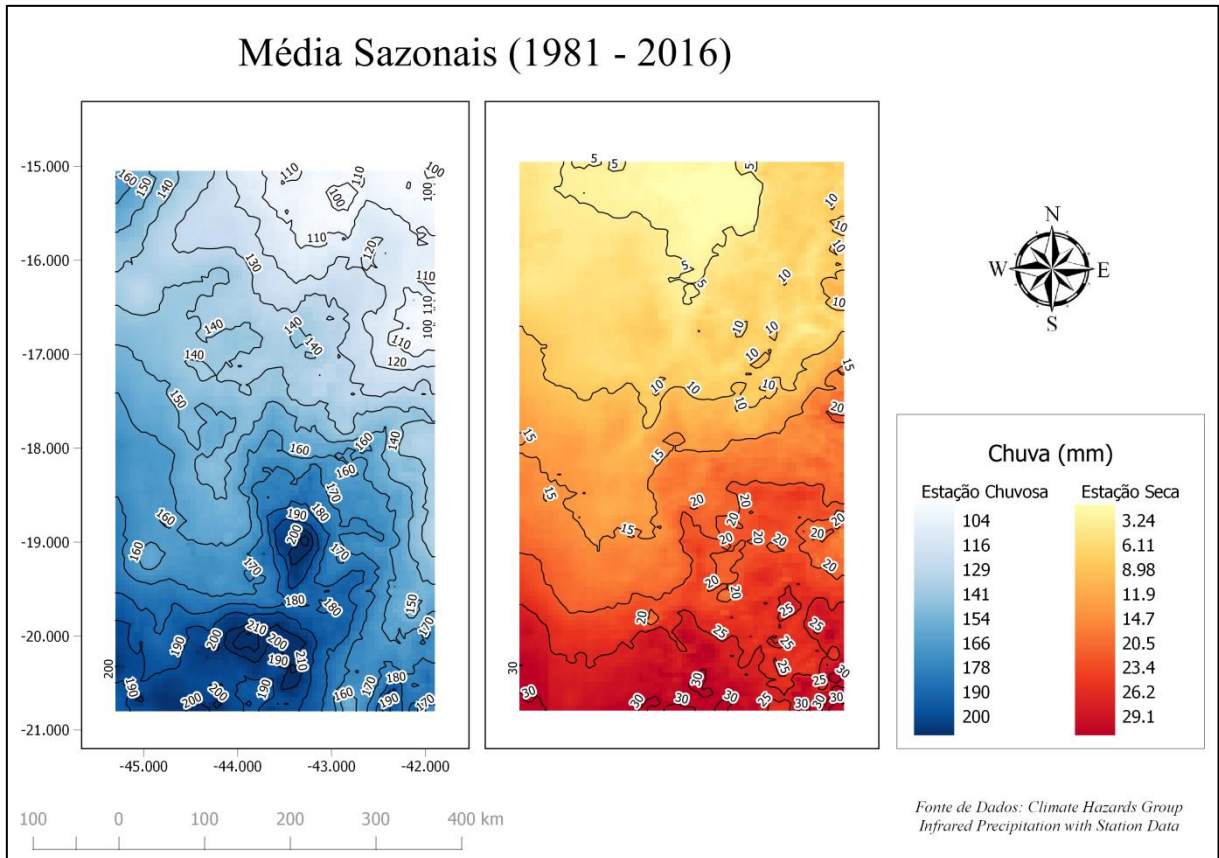


Figura 6: Médias climatológicas extraídas dos valores mensais de precipitação CHIRPS para o período chuvoso (Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março e Abril), a esquerda e, a direita, para o período seco (Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro), ao longo da Cadeia do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil.

Observou-se que nas latitudes mais altas há um considerável aumento do volume médio de chuvas em relação às latitudes mais baixas (Figuras 7 e 8), variando entre 15 aos 17 graus de latitude até 18 aos 20 graus de latitude, uma diferença de 321,77 mm na precipitação média anual (32,1% em relação ao menor valor). A precipitação no Estado de Minas Gerais durante a estação chuvosa está estreitamente ligada aos efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS é formada pela Frente Polar Atlântica (FPA) em conjunto com a convecção tropical originária principalmente da Amazônia, possuindo uma orientação noroeste – sudeste.

A ZCAS atua em Outubro/Novembro principalmente no norte de Minas Gerais e Sul da Bahia, sendo que ao adentrar o verão ela desloca-se para o centro-sul de Minas Gerais (ABREU, 1998). Isto sugere que a máxima atuação da ZCAS possui variabilidade espacial, deslocando-se latitudinalmente de norte (no início da estação chuvosa) para sul (no meio da estação chuvosa) (ABREU, 1998). Desta maneira, a ZCAS atua de forma estacionária,

principalmente nas latitudes 19° e 20° sul, o que corresponde à porção sul da Cadeia do Espinhaço, justificando a presença marcante do maior volume de chuvas nestas faixas latitudinais.

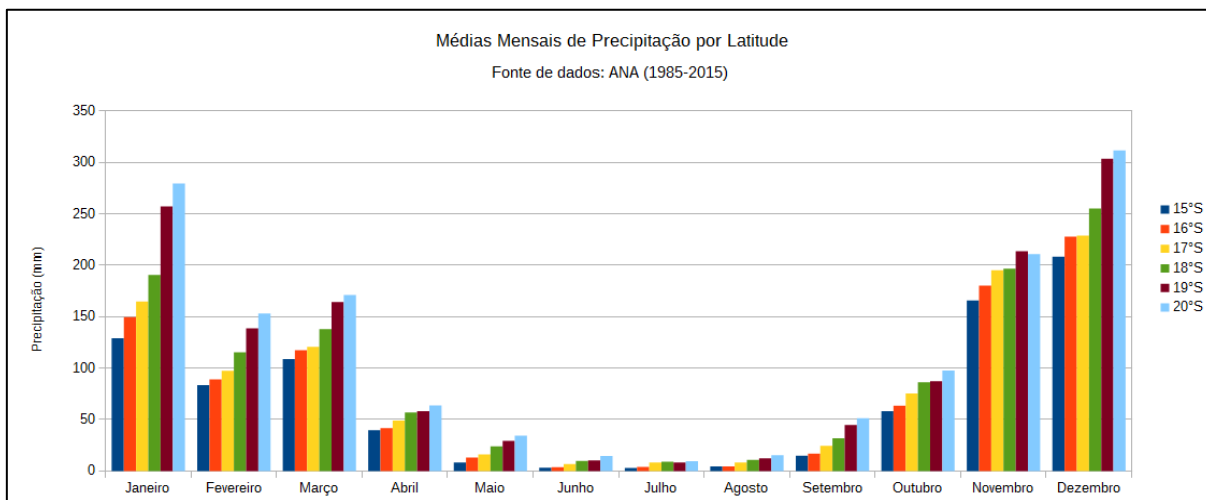


Figura 7: Médias mensais de precipitação extraídas por faixa latitudinal de 15°S à 20°S. Os dados são referentes às 112 estações da Agência Nacional de Águas, no período 1985-2015.

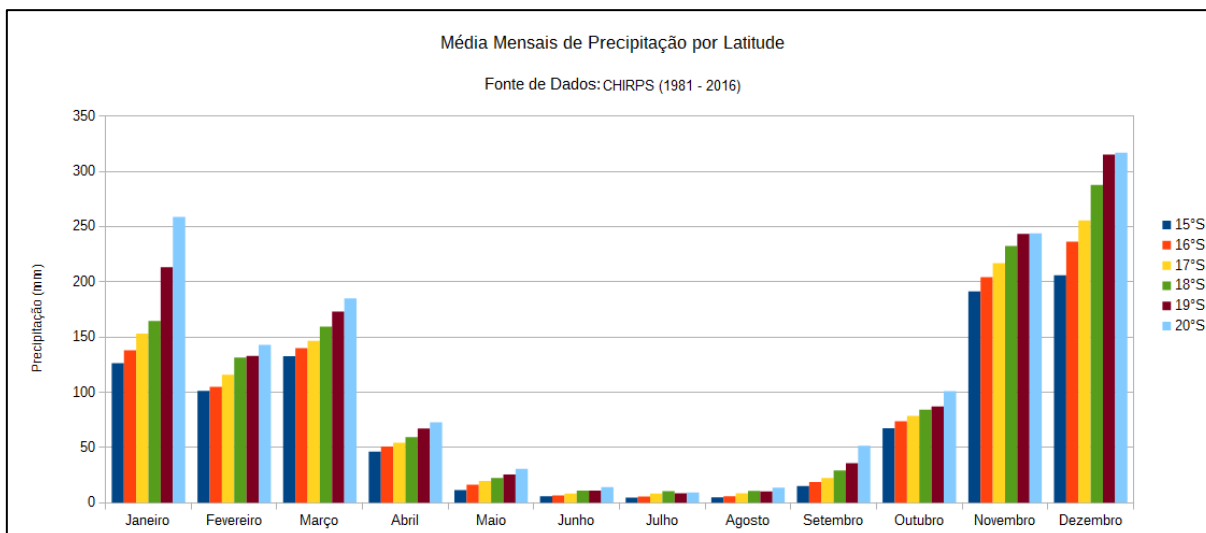


Figura 8: Médias mensais de precipitação extraídas por faixa latitudinal de 15°S à 20°S. Os dados são referentes aos dados CHIRPS no período 1981-2016.

Durante a estação seca, observou-se certa homogeneização dos padrões de precipitação, colocando toda a região em um período de estiagem. Mesmo assim, o volume de precipitação ainda foi maior nas faixas de 18° a 20° de latitude Sul. Sugere-se que tal comportamento deve-se às condições atmosféricas, como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul semi-estacionário à superfície, favorecendo o processo de subsidência do ar atmosférico e bloqueando a entrada de sistemas frontais na Região Sudeste, favorecendo, assim, a longa estiagem que caracteriza o inverno seco na região (CUPOLILLO, 2008).

Foi possível observar um maior volume de precipitação na maioria dos meses chuvosos, tanto para as médias das regiões quanto para as médias dos locais onde existem estações meteorológicas, na porção oeste e na área montanhosa quando comparadas com a porção leste, apontando para evidências da atuação da ZCAS, com orientação noroeste/sudeste, e também de atuação da topografia como barreira para precipitação e consequente maior volume de chuvas em altitude.

Com base nas observações em solo, a maior diferença observada foi para o mês de Janeiro, onde a face oeste teve precipitação 43,3 mm maior do que a face leste (Figura 10). Contudo, esta diferença se torna bem menos pronunciada ao se observarem os dados derivados do produto CHIRPS (diferença máxima de 22,0 mm), sugerindo que a afirmação corrente na literatura sobre a significância do efeito orográfico regional, resultando em um ambiente mais chuvoso na porção leste, pode ter sido influenciada por um viés introduzido pela disponibilidade limitada e disposição particular das estações de monitoramento. Entretanto, a maior diferença absoluta deu-se no mês de Janeiro, entre o lado Leste e a região de montanha (diferença máxima de 60,1mm) para os dados de solo, sugerindo a existência de um efeito orográfico mais localizado.

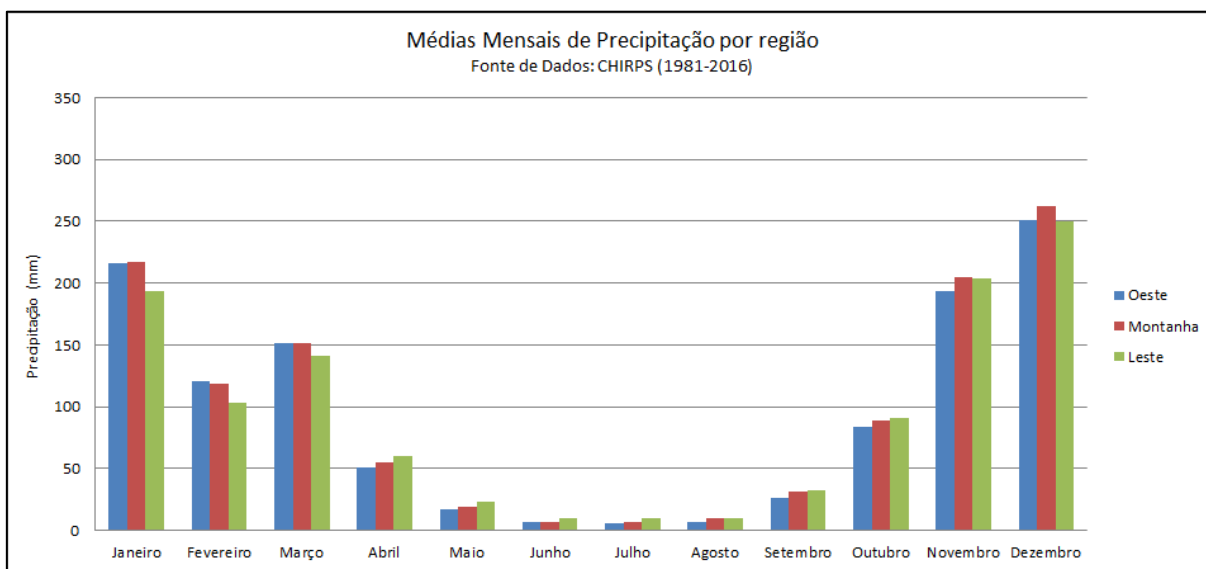


Figura 9: Médias mensais de precipitação por região. As regiões foram selecionadas de acordo com a topografia, sendo áreas rebaixadas à oeste e leste, e a cadeia de montanhas que corresponde à Cadeia do Espinhaço Meridional. Os dados de precipitação foram extraídos dos produtos CHIRPS (1981-2016).

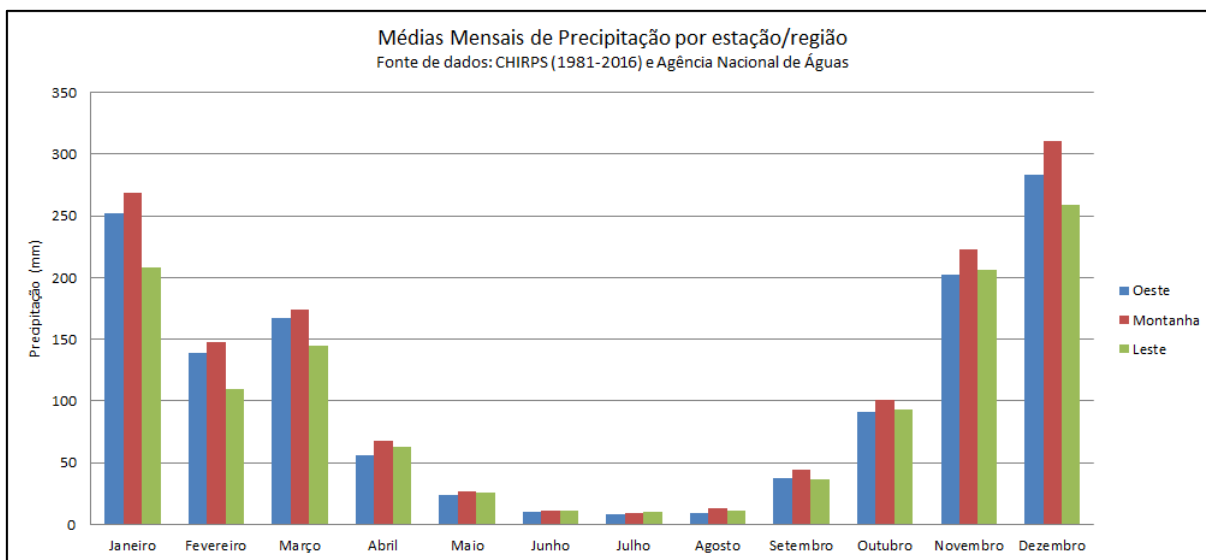


Figura 10: Médias mensais de precipitação por localização de estações meteorológicas (ANA). As regiões foram selecionadas de acordo com a topografia, sendo áreas rebaixadas à oeste e leste, e a cadeia de montanhas que corresponde à Cadeia do Espinhaço Meridional. Foi realizada a extração dos dados de precipitação CHIRPS (1981-2016) respeitando as localizações das estações meteorológicas, controladas pela Agência Nacional de Águas, e as regiões pré-estabelecidas (leste; oeste; montanha).

## 4.2 Temperatura

Os extremos de temperatura observados, extraídos de toda a série histórica, apresentaram distribuição espacial equivalente (Figura 11), uma vez que as menores temperaturas concentraram-se na porção leste da Cadeia do Espinhaço, entre as latitudes aproximadas de 17°S à 20°S, e as maiores temperaturas, em sua maioria, estabeleceram-se na porção oeste do Espinhaço, com destaque para as latitudes de 15°S à 17°S. O percentil de 90% exibiu temperaturas variando entre 27,5°C e 40,4°C, enquanto o percentil de 10%, temperaturas entre 19,2°C e 27,6°C.

Foi possível observar a forte influência da topografia nos padrões espaciais de distribuição das temperaturas, uma vez que as maiores temperaturas encontraram-se na porção oeste e as menores ao leste da Cadeia do Espinhaço (Figura 12). Este padrão pode ser explicado pela forte influência da ação da Massa Tropical Atlântica sobre a região, sendo possível identificar uma concentração de nuvens que se estende por toda porção leste da Cadeia do Espinhaço, relacionando-se com a maior umidade e também com temperaturas mais baixas devido à menor incidência dos raios solares na superfície. (COELHO et. al, 2016).

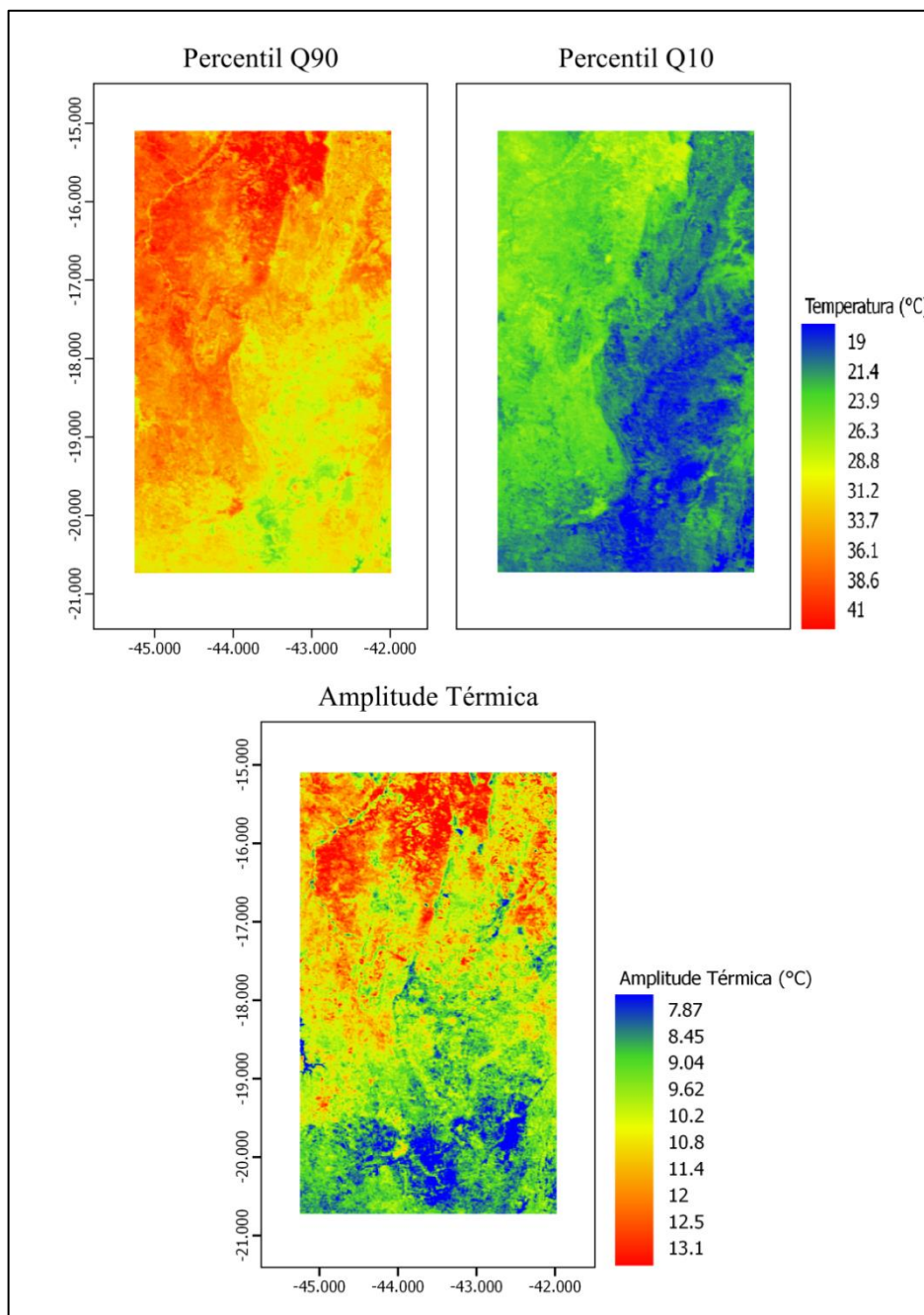


Figura 11: Extremos de temperatura de toda a série histórica (2000-2015) calculados através dos percentis de 90 e 10, utilizando o produto MOD11A2 LST do sensor MODIS.

Outro fenômeno capaz de justificar o padrão de temperatura observado é o gradiente variável de temperatura em regiões montanhosas (BONAN, 2016). O ar ascendente na vertente à barlavento, proveniente da Massa Tropical Atlântica, resfria seguindo a taxa de resfriamento adiabático do ar seco ( $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) até este ar tornar-se saturado. A partir deste momento há o surgimento de nuvens e o resfriamento do ar decresce seguindo a taxa de resfriamento adiabático do ar úmido ( $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ). Caso a formação de nuvens resulte em precipitação, o ar torna-se insaturado e descende na vertente à sotavento seguindo a taxa de

aquecimento adiabático do ar seco ( $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ), desta maneira, o ar ao chegar à porção oeste do Espinhaço, apresentaria temperatura maior do que aquela encontrada inicialmente na porção leste.

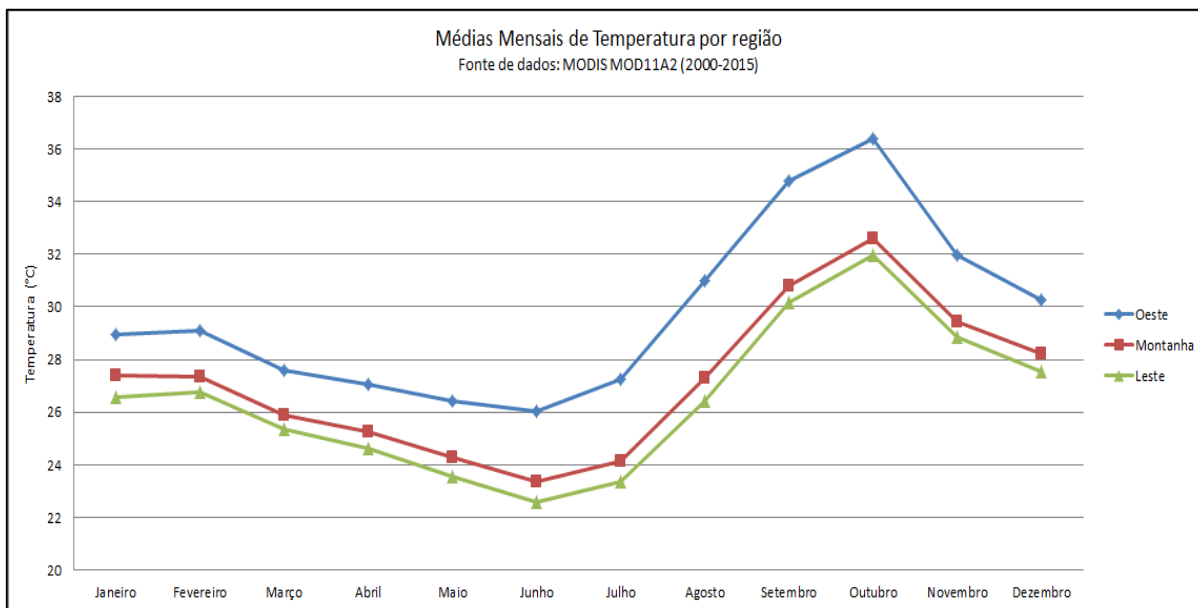


Figura 12: Média mensais de temperatura por região. As regiões foram selecionadas de acordo com a topografia, sendo áreas rebaixadas à oeste e leste, e a cadeia de montanhas que corresponde à Cadeia do Espinhaço Meridional. Os dados foram analisados através de médias calculadas do produto MODIS MOD11A2 (2000-2015).

A amplitude térmica na Cadeia do Espinhaço (Figura 11) apresentou um gradiente de maiores amplitudes na porção norte e menores na porção sul. Ao norte foi possível observar áreas atingindo amplitudes entre  $10,9^{\circ}\text{C}$  e  $13,1^{\circ}\text{C}$ , enquanto ao sul, em sua maioria, a amplitude variou entre  $7,8^{\circ}\text{C}$  e  $9,8^{\circ}\text{C}$ . Desta maneira, a porção norte do Espinhaço exibe menor estabilidade térmica quando comparada com sua porção sul. Entretanto, nota-se pequenas áreas que não obedecem à este padrão, adquirindo característica dissociada daquela ao seu redor, sendo este, um dos indícios para a configuração de um microrrefúgio de acordo com a proposta de Ashcroft, et. al, 2012.

Os percentis de 90% e 10% também foram gerados para as estações chuvosa e seca (Figura 12). Ambas as estações apresentam o mesmo padrão espacial dos extremos de temperatura observado para toda a série histórica, apresentando maiores temperaturas à oeste da Cadeia do Espinhaço. As maiores diferenças foram observadas entres os extremos mínimos de temperatura, uma vez que na estação seca as menores temperaturas ( $18,5^{\circ}\text{C}$  –  $21,1^{\circ}\text{C}$ ) apresentaram uma distribuição quase que contínua à leste do Espinhaço, com exceção de

áreas de baixa altitude no extremo leste. Já na estação chuvosa predominaram temperaturas entre 21.1°C e 26.3°C neste mesmo local.

As menores temperaturas que estendem-se, de modo homogêneo, à leste do maço no período de seca, também estão relacionadas com a atuação da Massa Tropical Atlântica, uma vez que, a umidade permanece estacionária com condensação de nebulosidade, mesmo nos períodos secos, apontando para temperaturas mais baixas (RIBEIRO, 2009).

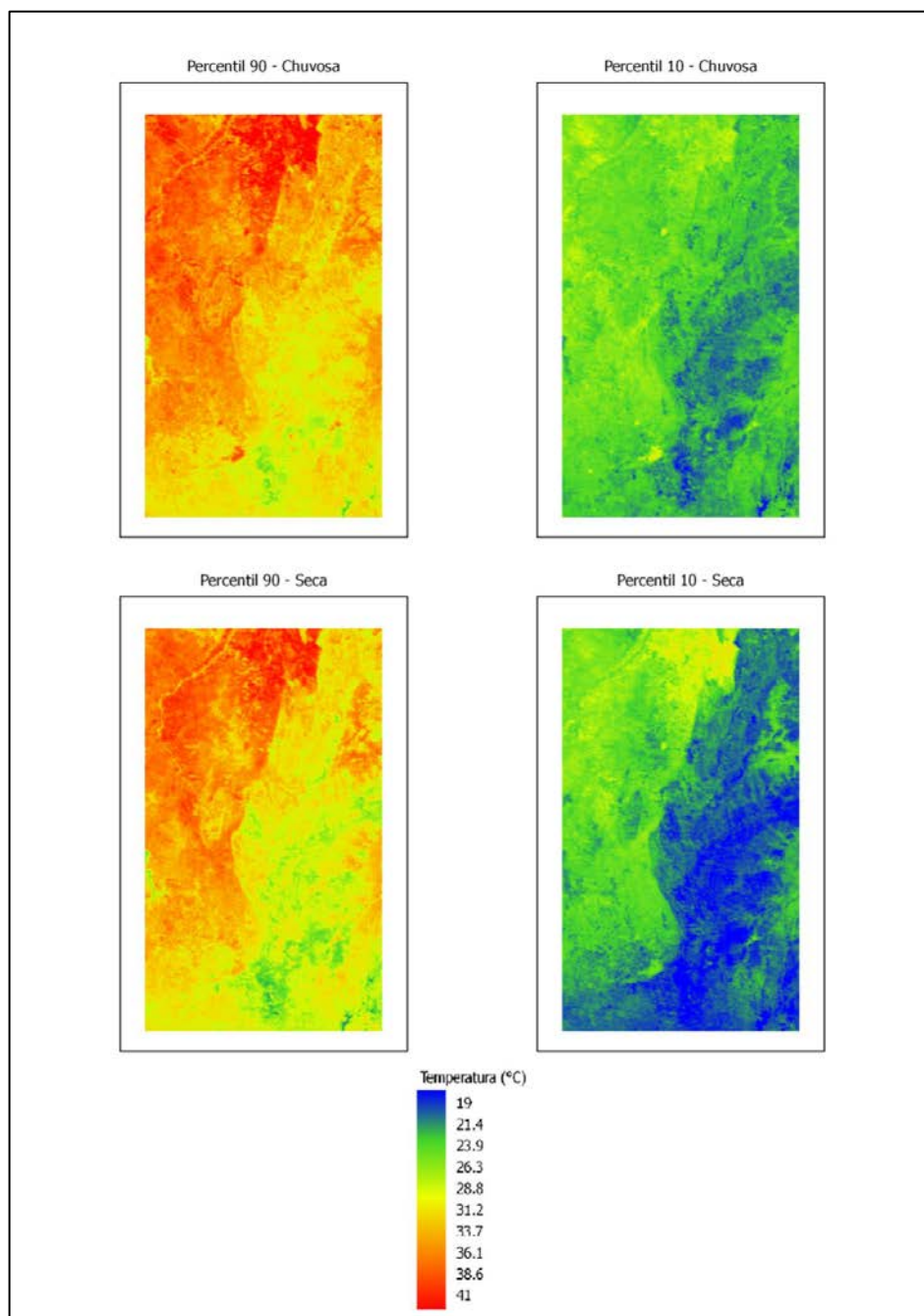


Figura 12: Percentis de 90 e 10 para as estações chuvosa e seca (2000-2015) na Cadeia do Espinhaço. Dados do produto MOD11A2 LST do sensor MODIS.

### 4.3 Identificação de possíveis microrrefúgios

A Análise de Componentes Principais foi gerada com base nas 14 camadas de entrada descritas pela Tabela 16 (abaixo), gerando 14 componentes que explicam a variação dos dados. Das 14 componentes geradas, as 3 primeiras componentes (PC1; PC2; PC3), conseguiram explicar 87% da variância total dos dados (Figura 13), sendo PC1 = 74%; PC2 = 7%; PC3 = 5%.

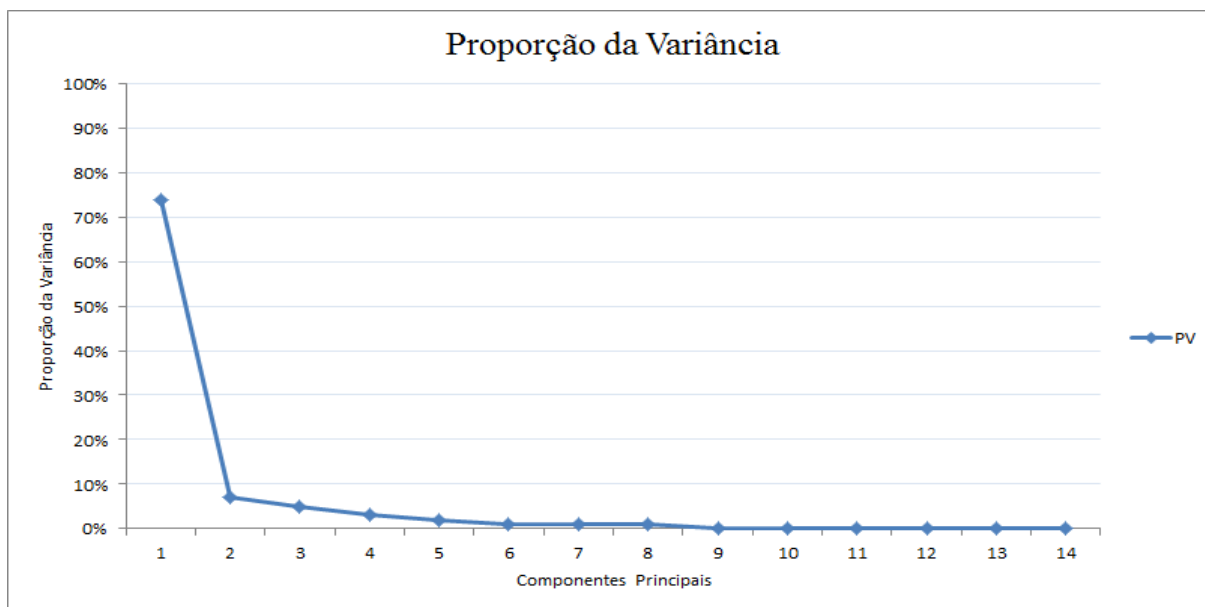


Figura 13: Proporção da variância dos dados para cada uma das componentes geradas através da Análise de Componentes Principais.

Os pesos atribuídos a cada uma das componentes geradas podem ser observados na Figura 14. Os valores indicam a capacidade das camadas em explicar a variação dos dados. Assim, a PC2 é uma boa indicadora da variação topográfica do relevo, por possuir um peso maior atribuído à camada referente à elevação do terreno (SRTM), mas captura pouco da variação térmica (Ampl\_Temp). Os espaços em branco indicam pesos insignificantes, que não influenciaram o resultado da Análise de Componentes Principais.

Tendo em vista a capacidade das 3 primeiras componentes PC1, PC2 e PC3 em explicar cerca de 87% da variação dos dados, elas foram selecionadas para as análises subsequentes. Os autovalores atribuídos à cada uma das componentes e a espacialização destes, para as componentes PC1, PC2 e PC3, podem ser observados na Figura 15.

	Pesos Atribuídos às Camadas													
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14
SRTM		0.859	-0.429		-0.169			-0.113						
Ampl_Temp	-0.241		0.348		-0.879	-0.115		-0.123			0.104			
prec_01	0.278	0.175	0.344	-0.171		-0.279	0.153	0.158		0.407		-0.426	0.344	-0.382
prec_02	0.271	0.191	0.402	-0.243		0.117	0.171	-0.106	0.157	0.221	-0.335		0.461	0.462
prec_03	0.278	0.208	0.316	-0.104		0.257		0.115	0.134	-0.78			0.167	-0.142
prec_04	0.279	-0.155		0.311	-0.148	0.471	-0.399	-0.42		0.207	-0.224	-0.277	0.225	
prec_05	0.293	-0.212		-0.102				0.117	-0.123	0.135		0.722	-0.403	-0.322
prec_06	0.282	-0.145	-0.191	-0.282	-0.18	-0.103	-0.308	0.194	-0.543		-0.235		-0.423	-0.259
prec_07	0.264	-0.211	-0.359	-0.104	-0.204	0.196	0.736				-0.227		0.222	
prec_08	0.286		-0.217	-0.102	-0.123	-0.391	-0.176	-0.244	0.651		-0.134	0.251		-0.292
prec_09	0.294			-0.249		-0.351	-0.231		-0.189		0.139	0.108	0.469	0.609
prec_10	0.285			0.246	-0.251	0.246	-0.109	0.733	0.217	0.23	0.136	0.244		
prec_11	0.247			0.742		-0.454	0.179		-0.117	-0.204	-0.13	-0.147	-0.172	0.128
prec_12	0.288		0.282	0.119	0.111			-0.303	-0.33	0.117	0.337	0.632		-0.264

Figura 14: Pesos atribuídos às camadas de entrada da Análise de Componentes Principais. Espaços em branco indicam valores insignificantes para o resultado final da Análise de Componentes Principais. Elevação do terreno (SRTM); Amplitude da temperatura (Ampl\_Temp); Precipitação média mensal (prec\_01 – prec\_12).

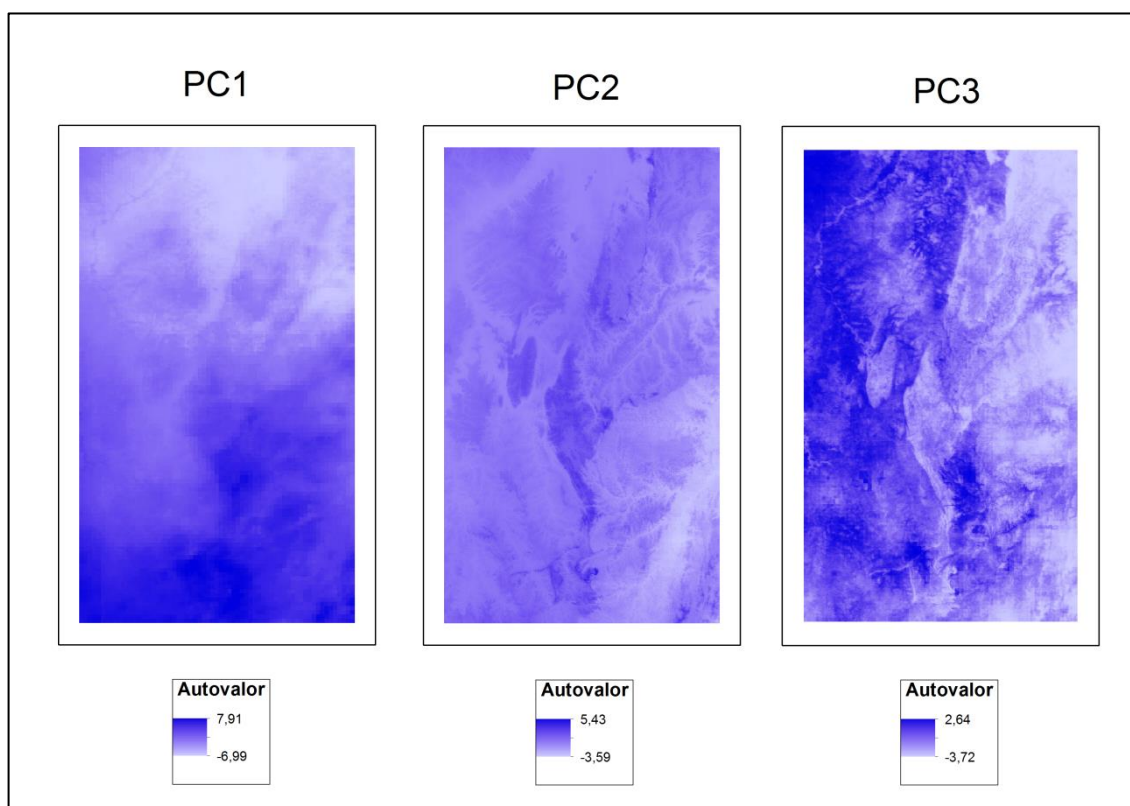


Figura 15: Espacialização dos autovalores atribuídos para as componentes PC1, PC2 e PC3.

Após a análise dos resultados da Análise de Componentes Principais e a seleção das componentes PC1, PC2 e PC3, foi aplicada a classificação não-supervisionada à estas componentes através do algoritmo *k-means*, afim de identificar regiões com características topoclimáticas distintas. O resultado da classificação pode ser observado na Figura 16.

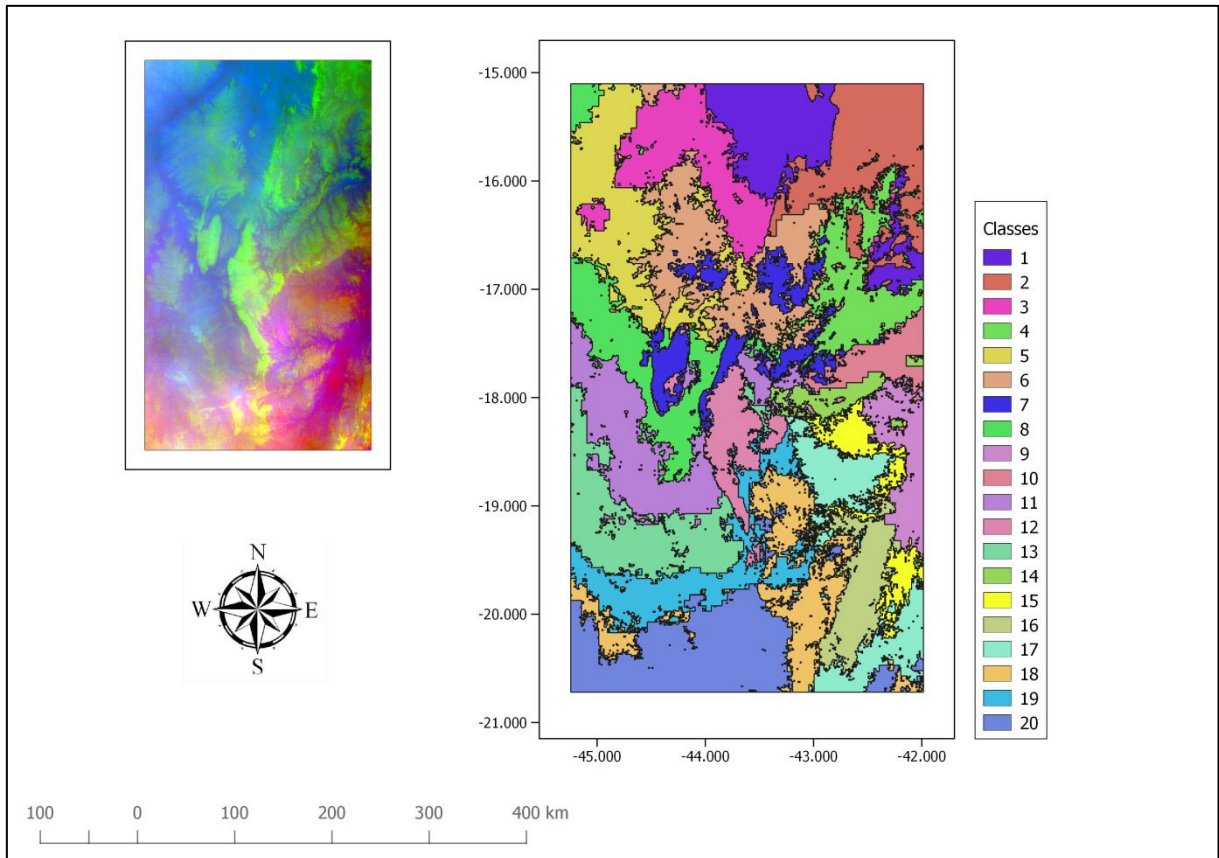


Figura 16: À esquerda, composição falsa-cor RGB das componentes principais: R:PC1, G:PC2 e B:PC3. À direita as 20 classes geradas através da aplicação da classificação não-supervisionada às componentes PC1, PC2 e PC3, utilizando-se o algoritmo *k-means*.

Para a análise das características topoclimáticas de cada classe gerada após a aplicação do algoritmo *k-means*, extraiu-se os valores correspondentes de cada uma das classes para precipitação média mensal (Prec\_01 – Prec\_02), amplitude térmica (Ampl\_Temp) e altitude (SRTM). Com os valores obtidos, foram gerados 14 *boxplots* (Figura 17), correspondentes às camadas climáticas de entrada que subsidiaram a análise de componentes principais.

É possível observar que as classes geradas possuem regimes climáticos heterogêneos, ou seja, não apresentam uma espacialização contínua, sendo indetectáveis áreas menores de uma determinada classe que estão inseridas em uma região dominada por características topoclimáticas de outra classe. Essas áreas menores possuem características dissociadas da classe que as envolve, apontando para um possível microrrefúgio para espécies vegetais que possuam distribuição espacial correlacionada com estas características topoclimáticas.

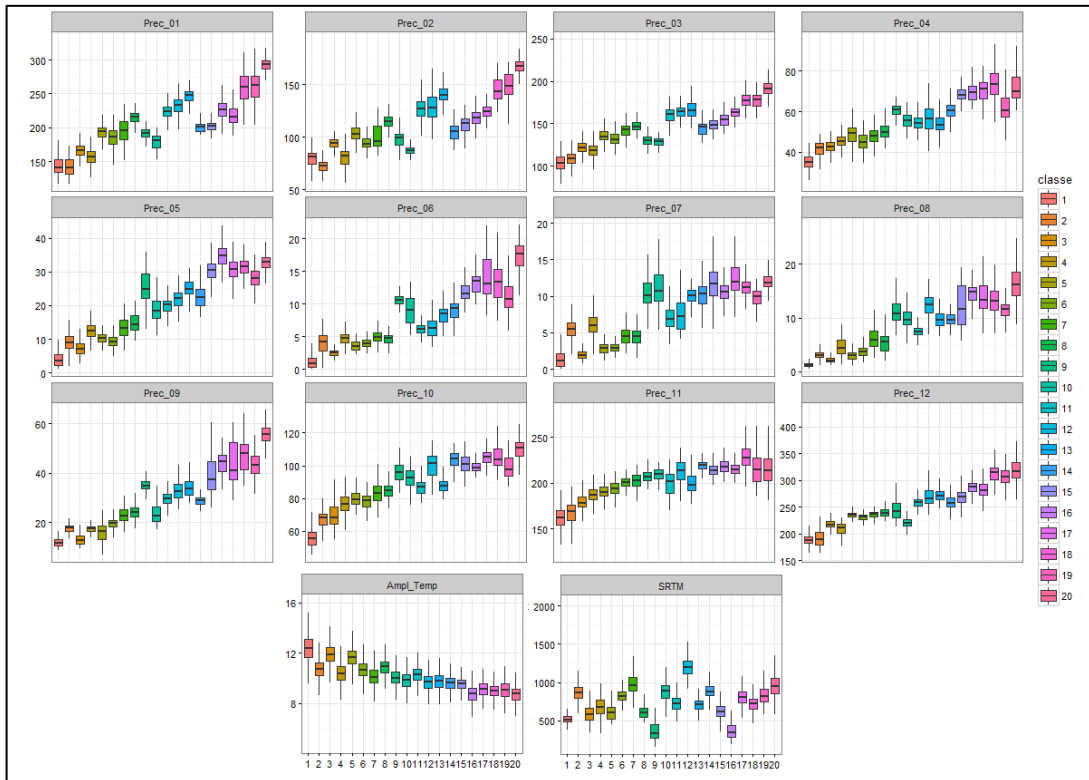


Figura 17: Valores extraídos por classe (1 – 20), que foram geradas através da aplicação do algoritmo *k-means*. Precipitação média mensal (Prec\_01 – Prec\_12); Amplitude térmica (Ampl\_Temp); Altitude (SRTM).

Através do histograma (Figura 18), foi estabelecido um limiar de 50km<sup>2</sup> - 1500km<sup>2</sup> para as áreas de interesse, uma vez que áreas abaixo do limiar não possuem informações significantes levando-se em consideração a resolução dos produtos utilizados, e acima do limiar descaracterizam o teor do conceito de microrrefúgio. Na Figura 21 é possível observar um exemplo de seleção de região que respeita o critério de dissociação do contexto climático adjacente, e também o limiar de área estabelecido.

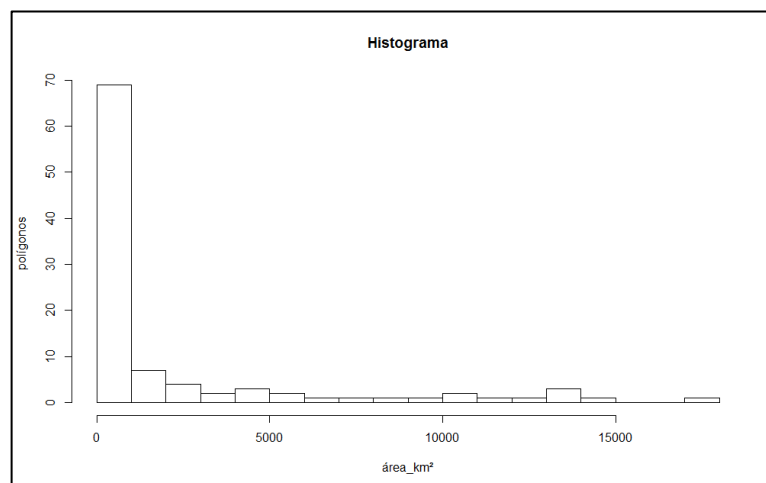


Figura 18: Histograma gerado através do cálculo de área por polígono resultante da classificação.

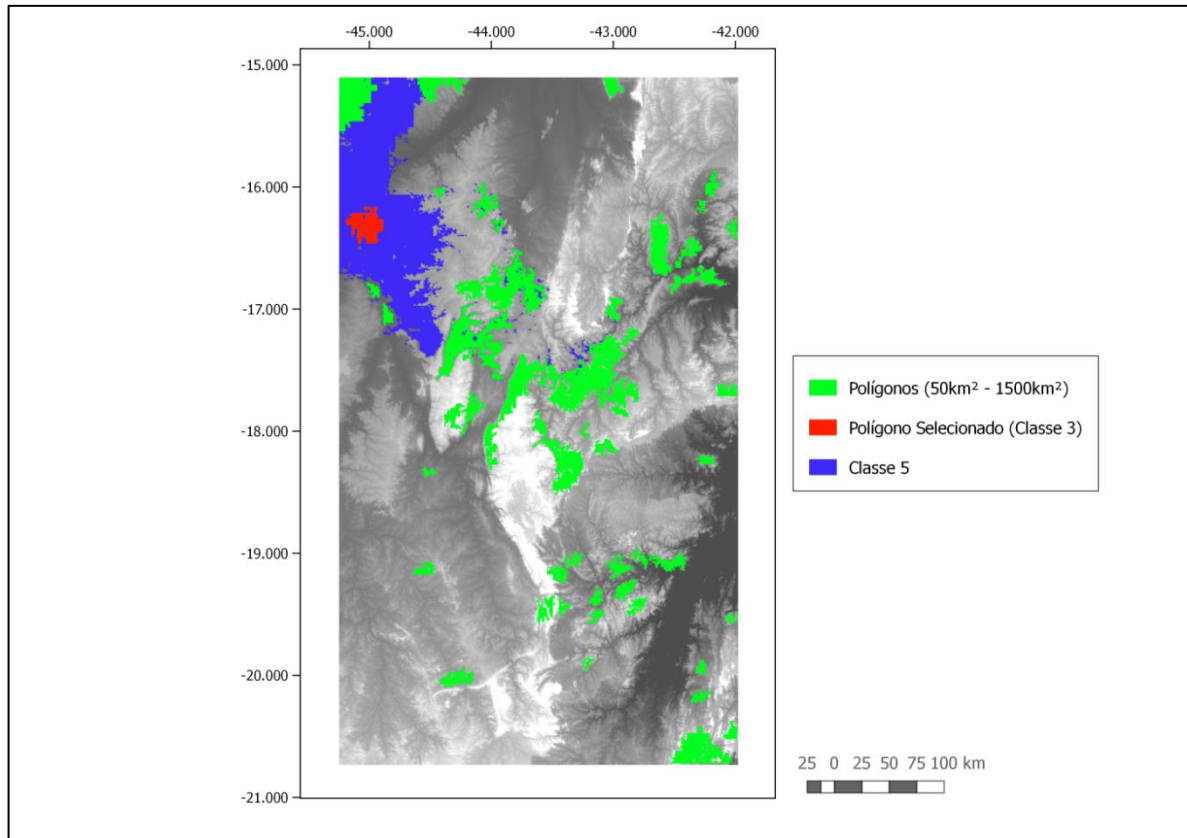


Figura 19: Exemplo de identificação dos polígonos correspondentes a possíveis refúgios, gerados através da classificação, por área em km<sup>2</sup>.

Dentre as áreas observadas na Figura 19, a que está em destaque foi selecionada, de maneira representativa, para a realização das análises de suas características topoclimáticas, e a identificação de possíveis indícios de atuação enquanto um microrrefúgio. Esta área, pertencente à classe 3 encontra-se isolada em uma região dominada pela classe 5. A Figura 20 expressa os valores máximos e mínimos, medianos e o 1º e 3º quartis, para os dados de precipitação, amplitude térmica e altitude para a região selecionada (Classe 3) e para a região dominante (Classe 5). As médias dos valores de precipitação anual, amplitude térmica e altitude estão descritas na Figura 21.

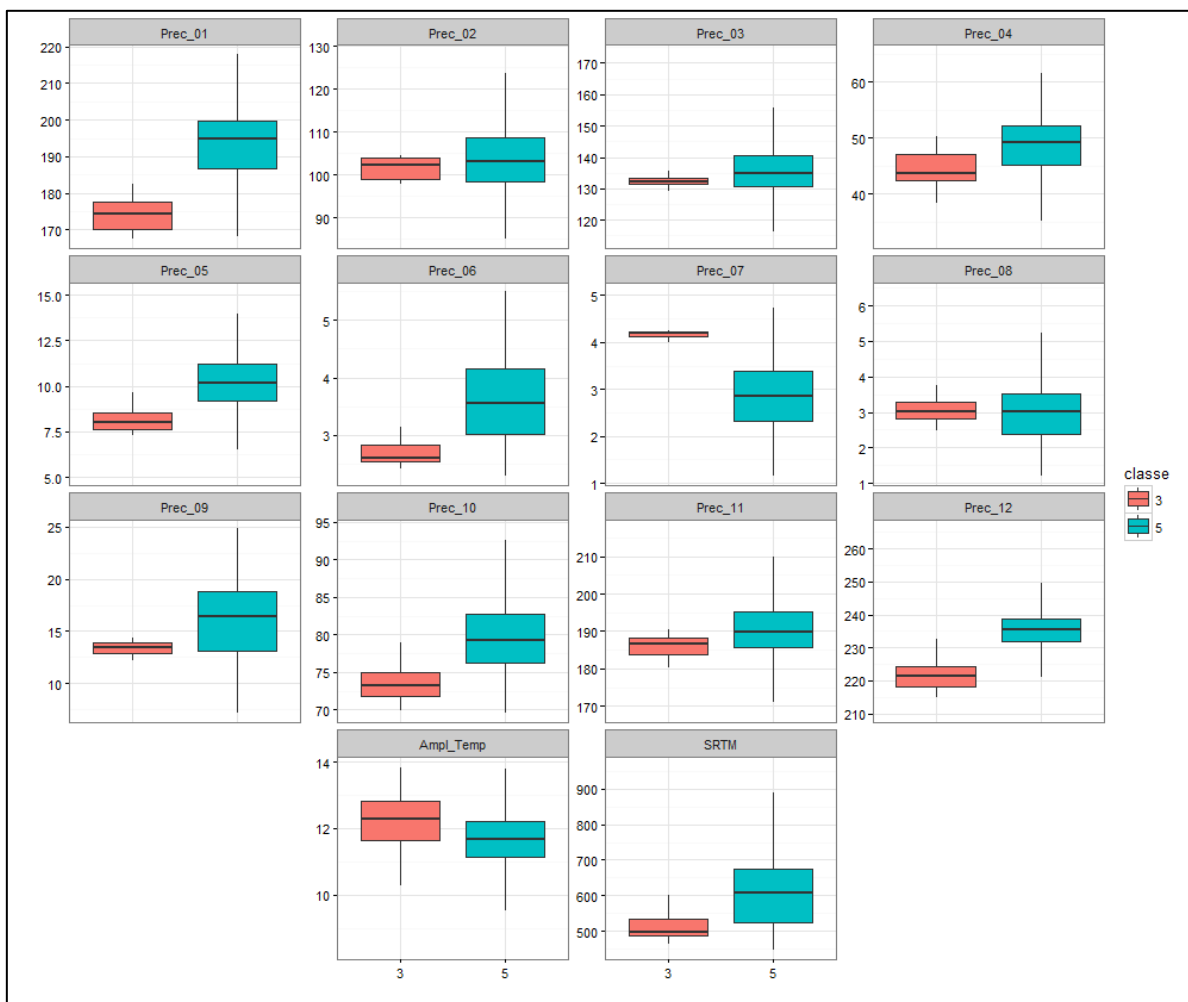


Figura 20: Valores extraídos da região selecionada de maneira representativa (Classe 3) e da região à qual está inserida (Classe 5). Precipitação média mensal (Prec\_01 – Prec\_12); Amplitude térmica (Ampl\_Temp); Altitude (SRTM).

	Classe 3	Classe 5
Prec_Total_Anual	1043.56	1024.30
Ampl_Temp	11.33	11.65
Altitude	641.73	603.81

Figura 21: Valores médios da região selecionada de maneira representativa (Classe 3) e da região à qual está inserida (Classe 5). Precipitação anual média (Prec\_Total\_Anual); amplitude térmica (Ampl\_Temp).

É possível observar que a região selecionada (Classe 3) possui maior estabilidade dos valores de precipitação, com valores mais restritos de mínimos e máximos para esta categoria, do que a Classe 5, onde encontra-se inserida. Além disso, apresenta um ligeiro aumento de 1,85% do volume de precipitação médio anual em relação à Classe 5. A região (Classe 3) ainda apresenta menor variabilidade térmica, tanto em valores máximos e mínimos quanto em

valor médio. A Classe 5 possui maior complexidade topográfica que a região selecionada, entretanto, possui uma altitude média menor que esta.

Através das análises realizadas, é possível afirmar, que a região selecionada (Classe 3) apresenta características favoráveis ao estabelecimento de um microrrefúgio para espécies vegetais, uma vez que possui maior estabilidade climática, maior volume de precipitação anual média e altitude elevada, em relação à Classe 5, predominante na região, sendo estes fatores fundamentais para a manutenção de um microrrefúgio de biodiversidade (ASHCROFT, 2012).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi possível caracterizar os padrões de precipitação e temperatura para a Cadeia do Espinhaço Meridional, observando-se padrões latitudinais bem demarcados para as chuvas, e padrões longitudinais para a temperatura. O maior volume de chuvas deu-se na porção sul da área de estudo, enquanto as maiores temperaturas apresentaram-se na porção oeste da região. Estas características estão diretamente ligadas à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul e da Massa Tropical Atlântica, respectivamente. Este trabalho proporcionou a visualização destes padrões através de produtos de sensoriamento remoto, dando continuidade espacial aos fenômenos observados, extrapolando a ótica pontual das observações de campo, comum em estudos deste gênero, e que muitas vezes mascaram as reais condições climáticas regionais.

Não foram encontradas diferenças importantes de precipitação em relação ao gradiente longitudinal da região (face leste vs. face oeste), mas sim diferenças significativas em relação ao gradiente latitudinal. Entretanto, foi possível observar ligeiros aumentos de precipitação devido à altitude, apontando para indícios de atuação local da Cadeia do Espinhaço como barreira orográfica para a distribuição das chuvas.

Sabe-se que a face leste da Cadeia do Espinhaço é dominada por formações vegetais de Mata Atlântica e a face oeste por formações de Cerrado. O volume de precipitação não parece justificar sozinho esta divisão, por apresentar um padrão latitudinal mais pronunciado que o padrão longitudinal. Entretanto, os padrões de temperatura em conjunto com a formação de nuvens estacionárias, provenientes da Massa Tropical Atlântica, parecem propiciar um ambiente com temperaturas mais amenas, o que pode resultar em redução da perda por evapotranspiração e formar assim um ambiente mais úmido na face leste, favorecendo a

manutenção das formações florestais de Mata Atlântica, enquanto a face oeste experimenta um volume de precipitação similar ao da face leste mas com temperaturas mais altas, gerando maior perda de água atmosférica e propiciando características favoráveis às formações vegetacionais do Cerrado.

Através da análise de componentes principais e, posteriormente, a classificação utilizando o algoritmo *k-means*, encontrou-se diferentes regimes topoclimáticos, e pequenas áreas dissociadas das classes adjacentes, indicando possíveis regiões para o estabelecimento de microrrefúgios de vegetação. Uma destas áreas foi analisada em detalhes, e apresentou características propícias ao estabelecimento de um microrrefúgio.

Entretanto, com a escala da área de estudo e a escala dos produtos utilizados, não foi possível identificar com clareza, as pequenas variações topoclimáticas que ocorrem em um ambiente montanhoso. Assim, deve-se explorar futuramente, através de uma escala mais refinada, as áreas dissociadas do contexto adjacente, para que seja possível identificar estas pequenas variações, imprescindíveis, para se diferenciar um microrrefúgio dentro da paisagem.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. **Climatologia da Estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul.** GEONOMOS, 6(2): 17-22.

ALEIXO, A.; ALBERNAZ, A. L.; GRELE, C. E. V.; VALE, M. M.; RANGEL, T. F. **Mudanças Climáticas e a Biodiversidade dos Biomas Brasileiros: Passado, Presente e Futuro.** Natureza & Conservação 8(2):194-196, December 2010

ASHCROFT, M. B. et al. **A novel approach to quantify and locate potential microrefugia using topoclimate, climate stability, and isolation from the matrix.** Global Change Biology, v. 18, n. 6, p. 1866–1879, jun. 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** – 15ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BARBOSA, N. P. DE U.; FERNANDES, G. W.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A. **A relict species restricted to a quartzitic mountain in tropical America: an example of microrefugium?** Acta Botanica Brasilica, v. 29, n. 3, p. 299–309, 2015.

BITENCOURT, CÁ. **Biogeografia das Asclepiadoideae ( Apocynaceae ) na Cadeia do Espinhaço : o futuro incerto dos refúgios glaciais de Campos Rupestres Biogeografia das Asclepiadoideae ( Apocynaceae ) na Cadeia do Espinhaço : o futuro incerto dos refúgios glaciais de Campos.** 2013.

BONAN, GORDON. **Ecological Climatology,** 2016

COELHO, S. M.; FERNANDES, G. W.; PACHECO, P.; DINIZ, V.; MEIRELES, A.; DOS SANTOS, R. M.; CARVALHO, F. A.; NEGREIROS, D. **Archipelago of Montane Forests Surrounded by Rupestrian Grasslands: New Insights and Perspectives.** Springer International Publishing Switzerland 2016 G.W. Fernandes (ed.), Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil, 2016.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico hidroclimatológico da bacia do Rio Doce.** Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação do curso de Geografia – Análise Ambiental –UFMG, 2008.

DOBROWSKI, S. **A climatic basis for microrefugia: the influence of terrain on climate.** Global Change Biology (2010), doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02263.x

FUNK, C.C., PETERSON, P.J., LANDSFELD, M.F., PEDREROS, D.H., VERDIN, J.P., ROWLAND, J.D., ROMERO, B.E., HUSAK, G.J., MICHAELSEN, J.C., and VERDIN, A.P., 2014, **A quasi-global precipitation time series for drought monitoring**: U.S. Geological Survey Data Series 832, 2014.

FLEMING, K.; AWANGEL, J. L.; KUHN, M.; FEATHERSTONE, W.E. **Evaluating the TRMM 3B43 monthly precipitation product using gridded rain-gauge data over Australia**, 2015.

GROVES, C. R.; GAME, E. T.; ANDERSON, M. G.; CROSS, M.; ENQUIST, C.; FERDAÑA, Z.; GIRVETZ, E.; GONDOR, A.; HALL, K. R.; HIGGINS, J.; MARSHALL, R.; POPPER, K.; SCHILL, S.; SHAFER, S. L.; **Incorporating climate change into systematic conservation planning**. Biodiversity and Conservation, 2012.

HORTAL, J.; CARRASCAL, L. M.; TRIANTIS, K.A; THEBAULT, E. MEIRI S.; SFENTHOURAKIS, S. **Species richness can decrease with altitude but not with habitat diversity**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110, E2149–E2150

JUNIOR, B. S. G.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. **Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES)**. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 8 N. 1 Jan./ Abr. 2012.

MANOSSO, F. C; GOMES, M. F.; AOKI, A.; MANOSSO, D. C. **Distribuição Espacial e Temporal da Precipitação e Temperatura Média na Região da Serra do Cadeado (PR)**. *Revista Brasileira de Climatologia - Ano 9 - Vol. 12 - JAN/JUL 2013*.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature* 403, 853-858, 2000.

NASA LPDAAC, NASA EOSDIS Land Processes DAAC, USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (<https://lpdaac.usgs.gov>), accessed [10 10 2016], at [https://lpdaac.usgs.gov/data\\_access/daac2disk](https://lpdaac.usgs.gov/data_access/daac2disk).

PBMC, 2014: **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

RAPINI A (2010) **Revisitando as Asclepiadoideae (Apocynaceae) da Cadeia do Espinhaço**. BolBot Univ São Paulo 28:97–123.

RIBEIRO, L. C. **Aferição dos limites da Mata Atlântica na Serra do Cipó, MG, Brasil, visando maior compreensão e proteção de um mosaico vegetacional fortemente ameaçado**. v. 7, p. 30–49, 2009.

RULL, V. **Microrefugia**. Journal of Biogeography, v. 36, n. 3, p. 481–484, 2009.

SAADI, A. **A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens**. Geonomos 3 (1): 41-63, 1995

SLATON, M.R. **The roles of disturbance, topography and climate in determining the leading and rear edges of population range limits**. Journal of Biogeography, 42, 255–266, 2015.

STEIN, A.; KREFT, H. **Terminology and quantification of environmental heterogeneity in species-richness research**. Biological Reviews, v. 90, n. 3, p. 815–836, 2015.

STREHER, A. S. **Leaf phenology in the tropics: the role of climate and topography in a snow-free mountain**, 2016.

TUCK, S. L. et al. 2014. **MODISTools - downloading and processing MODIS remotely sensed data in R**. - Ecol. Evol. 4: 4658–4668.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados srtm disponíveis para a américa do sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-10550-RPQ/756, São José dos Campos, 2004.

VARELLA, C. A. A. **Análise factorial de componentes principais**. p. 1–27, 2012.

WAGSTAFF, K. et al. **Constrained K-means Clustering with Background Knowledge**. **International Conference on Machine Learning**, p. 577–584, 2001.

WILLIAMS, J. W.; JACKSON, S. T.; KUTZBACH, J. E. **Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD**. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 14, p. 5738–5742, 2007.