INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Minas Gerais
Campus Bambuí

CRISTIANO ALEXANDRE VIEIRA

ESTUDO DA ATUAÇÃO DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL (ASAS) SOBRE A REGIÃO DO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD) E SEU ENTORNO

BAMBUÍ/MG
2020

CRISTIANO ALEXANDRE VIEIRA

ESTUDO DA ATUAÇÃO DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL (ASAS) SOBRE A REGIÃO DO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD) E SEU ENTORNO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Ciências Ambientais

Linha de Pesquisa: Ecologia Aplicada

Orientador: Prof. Doutor Fulvio Cupolillo

BAMBUÍ-MG
2020

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria Geral
Diretoria de Inovação, Pesquisa e Pós-graduação Coordenadoria de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

FICHA DE APROVAÇÃO

Mestrando: **Cristiano Alexandre Vieira.**

Orientador: Prof. Dr. **Fulvio Cupolillo.**

Dissertação de Mestrado, intitulada **"Estudo da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre a região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno",** de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental**, Cristiano Alexandre Vieira,** aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 28/08/2020, com a média de pontuação dos baremas de **90,0 pontos.**

Bambuí (MG), 28 de agosto de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Ronaldo dos Reis Barbosa**, **Assistente em Administração**, em 28/08/2020, às 17:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por **Fulvio Cupolillo**, **Professor**, em 01/09/2020, às 11:23, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por **Wellington Lopes Assis**, **Usuário Externo**, em 01/09/2020, às 21:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por **Taíza de Pinho Barroso Lucas**, **Usuário Externo**, em 04/09/2020, às 14:13, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por **Carlos Wagner G Andrade Coelho**, **Usuário Externo**, em 11/09/2020, às 13:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs informando o código verificador **0627143** e o código CRC **9F9FC0B7**.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus pela oportunidade de realizar este trabalho e concluir mais uma importante etapa de formação acadêmica, na qual dediquei-me nos últimos anos.

Sou muito grato à minha família, em especial minha mãe Maura, pelo apoio e incentivo ao longo deste período de estudos.

Obrigado ao meu orientador, professor Doutor Fulvio Cupollilo por tamanha dedicação e auxílio, desde o ingresso ao programa de Mestrado, assim como nas longas conversas, sugestões e apoio incansável. Saiba que sou eternamente grato por permitir que este sonho esteja se tornando realidade e por mostrar o quanto a pesquisa e a ciência são importantes.

Agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho, que tiveram paciência e compreenderam o valor que este curso possui, e desta forma puderam me amparar e auxiliar nos momentos difíceis. Em especial, aos amigos Daniel, pelo acolhimento em meio as longas e cansativas viagens até Bambuí, com parada em Belo Horizonte e, também, ao João Bosco pela parceria e por abraçar este projeto, principalmente nos elementos gráficos e artísticos.

Aos professores e toda a coordenação do Programa de Pós-graduação *strictu sensu* em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais por oferecerem um curso que proporciona aprendizado e subsídios para desenvolver e promover a ciência em nosso país. Sou grato ao servidor Ronaldo dos Reis Barbosa pela atenção e competência conferida ao longo do curso.

Aos meus colegas de mestrado, em especial aos “pupilos” do professor Fúlvio, e aos mestres Denise Antunes e Jean Lima pelo apoio sem medida em todas as fases deste projeto, pela parceria, auxílio e suporte oferecidos.

Sou grato aos professores Wellington Lopes, Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho e Taiza Pinho Barroso Lucas que acompanharam este projeto e contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa. Também agradeço a professora Sandra Perpétuo pelo acolhimento e incentivo.

“Um trabalho te dá um propósito e um significado. A vida é vazia sem ambos”
(Stephen Hawking)

BIOGRAFIA

CRISTIANO ALEXANDRE VIEIRA

Nasceu a 07 de dezembro de 1987, na cidade de Caratinga - MG. Filho de José Pedro de Jesus e Maura Corrêa Vieira. Fez o curso de Licenciatura em Geografia pelo Centro Universitário de Caratinga – UNEC, e formou-se no ano de 2009. Iniciou sua carreira profissional como professor, no ano de 2011, lecionando na rede Estadual de Ensino no distrito de Santo Antônio do Manhuaçu, pertencente à cidade de Caratinga. No ano de 2012, iniciou outra graduação, pedagogia, na Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, na modalidade EAD com polo na cidade de Caratinga, concluindo esta etapa no ano de 2016. Também em 2012, realizou o concurso público da Secretaria de Estado da Educação de Minas Gerais, cuja posse, no cargo de Professor da Educação Básica em Geografia, ocorreu no ano de 2014 para a cidade de Governador Valadares. Nesta cidade realizou sua primeira Pós-Graduação *Latu Senso* em Docência do Ensino Superior em 2014, pelo Instituo Mineiro de Educação – IMES Mercosul. Logo na sequência, em 2015, realizou outra Pós-Graduação em sua área específica de Geografia e Meio Ambiente pela Faculdade Vale do Cricaré – ES. Após essa formação, atuou como professor de Geografia em diferentes escolas da rede Estadual na cidade de Governador Valadares para turmas do Ensino Fundamental II e Ensino Médio. Além de ser professor efetivo na Escola Estadual Quintino Bocaiúva, também iniciou sua atuação como professor de Geografia na rede privada da mesma cidade em Instituições como o SESI, Colégio Franciscano Imaculada Conceição e Sistema Genoma de Ensino na qual possui vínculo até a presente data. Além da experiência na docência, também atuou como Vice-diretor escolar no período entre 2015-2016, no distrito de Chonim de Cima, em Governador Valadares e trabalhou como secretário acadêmico pela Faculdade Presidente Antônio Carlos – UNIPAC em Governador Valadares no período entre 2016-2017. Com interesse em ampliar seu campo de estudos e voltado para questões pertinentes à sua formação inicial, buscou por uma especialização *stricto sensu* que pudesse ser desenvolvida em modalidade semipresencial, em detrimento de seu cargo efetivo no Estado de Minas Gerais. Acompanhou os editais de disciplinas isoladas do Programa de Pós-graduação do curso de Mestrado Profissional e Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental pelo IFMG – Campus Bambuí, em 2017, e resolveu se inscrever para a disciplina isolada de Sensoriamento Remoto ofertada no campus de Ouro Preto. Iniciou, concomitantemente à esta disciplina, o curso Técnico em Meio Ambiente na cidade de Governador Valadares, da qual ampliou seu interesse de tentar o processo seletivo, como aluno regular no Programa de Mestrado Profissional, para o ano de 2018. Concluiu neste mesmo ano o curso de Técnico em Meio Ambiente e atualmente busca proporcionar uma aprendizagem de qualidade e de forma significativa para seus alunos, sendo que lecionar e desenvolver projetos de cunho ambiental são seus principais projetos.

E-mail: vieira_cristianoalexandre@hotmail.com

RESUMO

VIEIRA, Cristiano Alexandre. **Estudo da atuação do anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre o Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno.** Dissertação do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Bambuí/MG, 2020.

Este trabalho aborda uma análise sobre a climatologia do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre a região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno, perpassando a avaliação sazonal e decendial dos elementos climáticos umidade relativa do ar, pressão atmosférica e temperatura média, no período entre 2005-2015. Para realizar esta análise foram utilizados dados referentes às médias decendiais dos parâmetros climáticos das estações meteorológicas de Caratinga e Timóteo, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), além de Ipatinga e PERD, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Ao espacializar os parâmetros climáticos foram elaborados cento e oito mapas decendiais, além de gráficos e o uso de setenta e dois mapas decendiais, com dados de reanálise do NCEP (*National Center for Enviroment Prediction*), correspondentes aos níveis de 200 hPa e 850 hPa, obtidos via portal do CDC/NOAA (*Climate Diagnostic Center*/*National Oceanicand Atmospheric Administration)* tendo em vista analisar a dinâmica atmosférica sobre a região do PERD e entorno. Análises sazonais e decendiais permitiram identificar cenários distintos envolvendo a atuação dos sistemas atmosféricos que exercem influência sobre a região. Os registros da estação seca demonstraram nos elementos climáticos uma reduzida variabilidade, marcada pelo decréscimo dos valores de umidade relativa e temperatura que estão ligados à elevação da pressão atmosférica. Neste período, a atuação dos mecanismos atmosféricos em altos níveis foi demarcada pelo recuo da Alta da Bolívia (AB) e avanço do Cavado do Nordeste (CN) sobre o continente sul-americano, já em baixos níveis, o ASAS manteve-se persistente com o seu centro posicionado sobre o oceano Atlântico e sua borda localizada sobre a região do PERD, na qual verificou-se a configuração de um bloqueio atmosférico no 3° decêndio de abril. Quanto à estação chuvosa, identificou-se que a umidade relativa e temperatura média demonstraram um acréscimo, enquanto a pressão atmosférica apresentou pequena oscilação sobre a variabilidade, marcada por redução na maioria dos decêndios nas cotas barométricas e ligeira elevação nos decêndios de janeiro e fevereiro. A dinâmica atmosférica, neste período, foi marcada por intensa atuação de mecanismos atmosféricos nos decêndios de janeiro e fevereiro, com a presença da AB em sua posição climatológica, além do CN que configurou a formação de um bloqueio atmosférico, no qual juntamente com a posição do ASAS, resultaram em movimentos subsidentes do ar seco. Salienta-se que a subsidência adiabática do ar reduziu os valores de pressão atmosférica e dos percentuais de umidade relativa do ar em plena estação chuvosa, além de elevação dos valores de temperatura. Tal fato, contribuiu para a formação de um veranico climático, à superfície.

Palavras-chaves: Parque Estadual do Rio Doce, Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, elementos climáticos, dinâmica atmosférica, veranico.

ABSTRACT

VIEIRA, Cristiano Alexandre. **Study of the role of the subtropical anticyclone of the South Atlantic (ASAS) on the Rio Doce State Park (PERD) and its surroundings.** Professional Master's Dissertation in Sustainability and Environmental Technology - Federal Institute of Education, Science and Technology of Minas Gerais (IFMG), Bambuí/MG, 2020.

This work deals with an analysis of the climatology of the South Atlantic Subtropical Anticyclone (ASAS) over the Rio Doce State Park (PERD) region and its surroundings, passing through the seasonal and decendial assessment of climatic elements, relative humidity, atmospheric pressure and average temperature in the period between 2005-2015. In order to carry out this analysis, data were used referring to the decency averages of the climatic parameters of the meteorological stations of Caratinga and Timóteo, belonging to the National Meteorological Institute (INMET), in addition to Ipatinga and PERD, of the National Intitute for Space Research (INPE). When spatializing the climatic parameters, one hundred and eight decendial maps were created, in addition to graphs and the use of seventy-two decendial maps, with reanalysis data from the NCEP (National Center for Enviroment Prediction), corresponding to the levels of 200 hPa and 850 hPa, obtained via the CDC / NOAA portal (Climate Diagnostic Center / National Oceanicand Atmospheric Administration) in order to analyze the atmospheric dynamics over the PERD region and surroundings. Seasonal and decendial analyzes allowed to identify different scenarios involving the performance of atmospheric systems that influence the region. The records of the dry season showed a low variability in climatic elements, marked by a decrease in the values of relative humidity and temperature that are linked to the increase in atmospheric pressure. In this period, the performance of atmospheric mechanisms at high levels was marked by the retreat of Alta de Bolivia (AB) and the advance of Cavado do Nordeste (CN) over the South American continent, while at low levels ASAS remained persistent with its center positioned on the Atlantic Ocean and its border located on the PERD region, in which the configuration of an atmospheric block was verified in the 3rd ten-day period of April. As for the rainy season, it was identified that the relative humidity and average temperature showed an increase, while the atmospheric pressure showed a small oscillation over the variability, marked by a reduction in most barometric quotas and a slight increase in January and February. The atmospheric dynamics in this period was marked by an intense performance of atmospheric mechanisms in the ten days of January and February, with the presence of AB in its climatological position, in addition to the CN that configured the formation of an atmospheric block, in which together with the position of the ASAS, resulted in subsidiary movements of dry air. It should be noted that the adiabatic subsidence of the air reduced the values of atmospheric pressure and the percentages of relative air humidity in the middle of the rainy season, in addition to an increase in temperature values. This fact contributed to the formation of a climatic summer, on the surface.

Keywords: Rio Doce State Park, South Atlantic Subtropical Anticyclone, climatic elements, atmospheric dynamics, summer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Células de circulação geral, ventos globais predominantes e centros de alta (A) e baixa (B) pressão atmosférica.....22

Figura 2 – Zonas de pressão e ventos num globo terrestre homogêneo.....23

Figura 3 – Sistemas e mecanismos atmosféricos na baixa e alta troposfera que atuam.....27

Figura 4 – Imagem de Satélite no canal infravermelho 4, correspondente ao dia 18/04/2012 às 00hr.....28

Figura 5 –Ilustração esquemática do posicionamento da ZCIT em (a) anos secos, e (b) anos chuvosos no NEB.....30

Figura 6 – Identificação do VCAN no interior do NEB.....32

Figura 7 – Padrão de nebulosidade tipo "S".....32

Figura 8 – Interação entre a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste (CN).....34

Figura 9 – Baixa do Chaco representado pela letra B (sistema de baixa pressão) entre 2 anticiclones representados pela letra A (sistema de alta pressão).....35

Figura 10 – Interação entre a Alta da Bolívia (AB), o Cavado do Nordeste (CN).....37

Figura 11 – Episódio de ZCAS do dia 04/02/2013.....39

Figura 12 – Modelo de uma superfície frontal fria, com o conjunto de nuvens associadas.....42

Figura 13 – Modelo de uma superfície frontal quente, com o conjunto de nuvens associadas 43

Figura 14 – Frente Estacionária sobre a região Sul do Brasil, 11/10/2014. 44

Figura 15 – Modelo de frente oclusa do tipo fria.....44

Figura 16 – Forte difluência no escoamento entre o oeste de SP e sul do RJ em 30 out 2010 46

Figura 17 – Estágios do ciclo de vida de um CCM.....47

Figura 18 – Esquemas da fase El Niño (painel à esquerda) e La Ninã (painel à direita) do ENOS, mostrando a distribuição da nebulosidade e dos ventos (atmosfera) e das correntes e temperatura (oceano), na área tropical do Oceano Pacífico.....49

Figura 19 – Funcionamento da Célula de Walker em condições normais.....50

Figura 20 – Localização dos anticiclones.....51

Figura 21 – Seção transversal de um anticiclone.....53

Figura 22 – Campos médios mensais para o período de 1989-2010. a) Período em que o ASAS se mostra fortalecido. (b) Período em que o ASAS está enfraquecido.....57

Figura 23 – Campos médios sazonais para o período de 1989-2010. Posicionamento do ASAS no inverno (à esquerda) e posicionamento do ASAS no verão (à direita) 58

Figura 24 – Localização do Parque Estadual do Rio Doce – PERD 60

Figura 25 – Quadro geomorfológico regional do Médio Rio Doce 63

Figura 26 – Fotografia, no domínio Mares de Morros, retirada do Mirante Jacroá em Marliéria 65

Figura 27 – Mapa de perfil do relevo da região e entorno do PERD 66

Figura 28 – Clima na região do PERD.....69

Figura 29 – Remanescentes da Mata Atlântica 2015 72

Figura 30 – Mapa altimétrico do PERD e entorno, com destaque para o sistema lacustre.....74

Figura 31 – Organograma de atividades desenvolvidas no trabalho.....76

Figura 32 – Mapa de localização das estações meteorológicas em estudo 79

Figura 33 – Teste com os interpoladores Inverse Distance Weigth, Global Polynomial Interpolation, Krigagem e Spline referente ao 1º decêndio de fevereiro (2005-2015) para os parâmetros climáticos do estudo (Umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura).....85

Figura 34 Primeiro decêndio de abril sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 96

Figura 35 – Segundo decêndio de abril sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 97

Figura 36 – Terceiro decêndio de abril sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e Bloqueio Atmosférico.....98

Figura 37 – Primeiro decêndio de maio sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e Bloqueio Atmosférico. ..99

Figura 38 - Segundo decêndio de maio sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) Bloqueio Atmosférico.....100

Figura 39 – Terceiro decêndio de maio sobre os parâmetros climáticos(a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 101

Figura 40 – Primeiro decêndio de junho sobre os parâmetros climáticos(a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) 102

Figura 41 – Segundo decêndio de junho sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 103

Figura 42 – Terceiro decêndio de junho sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 104

Figura 43 – Primeiro decêndio de Julho sobre sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 105

Figura 44 – Segundo decêndio de julho sobre os parâmetros climático (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) 106

Figura 45 – Terceiro decêndio de julho sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 107

Figura 46 – Primeiro decêndio de agosto sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) 108

Figura 47 – Segundo decêndio de agosto sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) 109

Figura 48 – Terceiro decêndio de agosto sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 110

Figura 49 – Primeiro decêndio de Setembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). 111

Figura 50 – Segundo decêndio de setembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) 112

Figura 51 – Terceiro decêndio de setembro sobre os parâmetros climáticos(a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) 113

Figura 52 – Primeiro decêndio de dezembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência). 115

Figura 53 – Segundo decêndio de dezembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência). 116

Figura 54 – Terceiro decêndio de dezembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência). 117

Figura 55 – Primeiro decêndio de janeiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência). 118

Figura 56 – Segundo decêndio de janeiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste) com Bloqueio Atmosférico, JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 119

Figura 57 – Terceiro decêndio de sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 120

Figura 58 – Primeiro decêndio de fevereiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 121

Figura 59 – Segundo decêndio de fevereiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 122

Figura 60 – Terceiro decêndio de fevereiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 123

Figura 61 – Primeiro decêndio de março sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 124

Figura 62 – Segundo decêndio de março sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 125

Figura 63 – Terceiro decêndio de março sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência) 126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alta da Bolívia
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
ASAN	Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte
BC	Baixa do Chaco
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CN	Cavado do Nordeste
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONF	Confluência dos Ventos
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DPC	Durante a estação chuvosa
DPS	Durante a estação seca
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FF	Frente Fria
FP	Frente Polar
FPA	Frente Polar Atlântica
GPI	*Global Polynomial Interpolation*
GrADS	Grid Analysisand Display System
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverso do quadrado da distância
IFL	Instabilidades Frontais Locais
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
ION	Índice Oceânico Niño
IOS	Índice Oscilação Sul
JBN	Jato de Baixos Níveis
JP	Jato Polar
JS	Jato Subtropical

KRG	*Krigagem*
LI	Linhas de Instabilidade
mEc	Massa Equatorial Continental
MPA	Massa Polar Atlântica
MPP	Massa Polar Pacífica
mTa	Massa Tropical Atlântica
NCEP	National Center for Enviroment Prediction
NE	Nordeste
NNE	Norte-Nordeste
NW	Noroeste
NOAA	National Oceanicand Atmospheric Administration
OAN	Oscilação do Atlântico Norte
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
ONI	Oceanic Niño Index
OS	Oscilação Sul
PERD	Parque Estadual do Rio Doce
PELD	Programa Brasileiro de Pesquisas de Longa Duração
PNM	Pressão ao Nível do Mar
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
RBF	*Radial Basis Functions*
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SE	Sudeste
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SF	Sistema Frontais
STA	Sistema Tropical Atlântico
SW	Sudoeste
SSW	Sul-Sudoeste
TAC	Sistema Tropical Atlântico Continentalizado
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UC	Unidade de Conservação
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WMO	World Meteorological Organization
ZC	Zonas de Convergência
ZCA	Zona de Confluência dos Alísios

ZCAS	Zona de Convergência da América do Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zonas de Convergência de Umidade
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **18**

1 ASPECTOS TEÓRICOS E BASES CONCEITUAIS **21**

1.1 Escalas e hierarquia dos fenômenos meteorológicos **23**

1.2 Fatores estáticos e dinâmicos responsáveis pela dinâmica atmosférica na América do Sul **26**

1.3 Principais sistemas e mecanismos atmosféricos atuantes na América do Sul **26**

1.3.1 Zona de Convergência Intertropical – ZCIT 27

1.3.2 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis - VCAN 30

1.3.3 Cavado do Nordeste - CN 33

1.3.4 Baixa do Chaco - BC 34

1.3.5 Alta da Bolívia – AB 35

1.3.6 Corrente de Jato 36

1.3.7 Zona de Convergência da América do Sul ou Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS 377

1.3.8 Zona de Convergência de Umidade – ZCOU 41

1.3.9 Sistemas Frontais – SF 42

1.3.9.1 Frente fria 42

1.3.9.2 Frente quente 43

1.3.9.3 Frente estacionária 43

1.3.9.4 Frente oclusa 44

1.3.10 - Linha de Instabilidade – LI 45

1.3.11 Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM 46

1.3.12 Oscilação Sul – OS 48

1.3.12.1 *El Niño e La Niña* 49

1.3.13 Anticiclones 51

1.3.13.1 - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul – ASAS 54

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO **60**

2.1 Localização do Parque Estadual do Rio Doce – PERD **60**

2.2. Quadro natural do PERD **61**

2.2.1 Aspectos geológicos e geomorfológicos do PERD 62
2.2.2 Pedologia 67
2.2.3 Aspectos climáticos do PERD 68
2.2.4 Formações vegetais e fauna do PERD 71
2.2.5 Sistema lacustre do PERD 74
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 76
3.1 Identificação do Sistema Atmosférico - ASAS 77
3.2 Classificação dos eventos do ASAS em decêndios 77
3.3 Organização dos Dados 78
3.4 Cálculo das médias climatológicas 80
3.5 Espacialização dos Eventos do ASAS 81
3.6 Dinâmica atmosférica na atuação do ASAS 87
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 89
4.1 Variabilidade decendial e espacialização dos parâmetros climáticos 89
4.1.1 Umidade Relativa do Ar 89
4.1.2 Pressão Atmosférica do Ar 91
4.1.3 Temperatura Média 92
4.2 Variabilidade decendial e aspectos dinâmicos do PERD 93
4.2.1 Espacialização dos parâmetros climáticos e aspectos dinâmicos na estação seca 94
4.2.2 Espacialização dos parâmetros climáticos e aspectos dinâmicos na estação chuvosa ... 113
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 130
APÊNDICE A 139
APÊNDICE B 145
APÊNDICE C 146

INTRODUÇÃO

É possível identificar, no clima, um aspecto de influência sobre o ambiente, assim como a capacidade de ser influenciado por este. Partindo deste princípio, nota-se a relevância que os estudos climáticos possuem, uma vez que a dinâmica entre seus fatores e elementos impactam diversas atividades cotidianas, sejam elas sociais, ambientais e econômicas.

A organização de estudos que envolvem a dinâmica climática provém de investigação dos espaços e sua interação em escala espacial e temporal, uma vez que a atmosfera se encontra em constante movimento e revela-se como resultado da soma de diversos componentes como o ar, a água e diferentes fenômenos como atuação de frentes frias e quentes, ciclones e anticiclones. Conforme menciona Nimer (1979), nenhum fenômeno natural é compreendido de forma isolada e, portanto, constitui-se como produto de uma interação entre as condições que o cerca e suas possibilidades.

Neste sentido, a determinação climática envolve a relação entre fatores dinâmicos, relacionados aos movimentos e circulação atmosférica, e estáticos que compreendem às condições físicas do planeta, e a interação entre estes fatores são apontados por Nimer (1979) e Ayoade (2015), sendo complementares e fundamentais para análise da dinâmica climática.

A distribuição das terras na América do Sul, em decorrência das variadas formas de relevo e distribuição latitudinal possibilitam a atuação e o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos nos quais colaboram para a diversidade climática deste continente. Diversos sistemas e mecanismos atmosféricos contribuem e/ou inibem as atividades convectivas nesta região, dentre os quais pode-se citar a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul ou da América do Sul (ZCAS), Alta da Bolívia (AB), Cavado do Nordeste (CN), Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) e Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Para este estudo de escala regional, utilizou-se o Parque Estadual do Rio Doce – PERD como objeto central de análise. Trata-se de uma importante *Unidade de Conservação* que abriga o maior remanescente de Mata Atlântica do Estado de Minas Gerais, além de inúmeras espécies de mamíferos, répteis e anfíbios. Animais que estão inseridos no complexo sistema lacustre do parque, que se localiza na porção central da bacia do Rio Doce abrangendo os municípios de Timóteo, Marliéria e Dionísio.

O Estado de Minas Gerais apresenta grande diversidade climática, conforme apresenta Cupolillo (2015), em virtude de ser uma área composta por transição climática e pela interação

entre fatores estáticos, demarcados por uma topografia irregular, e dinâmicos pela atuação de diversos mecanismos atmosféricos, dentre eles o ASAS, que influencia na dinâmica climática ao longo do ano.

Também conhecido por Alta Subtropical, o ASAS constitui-se por um sistema de alta pressão caracterizado, dentre outros aspectos, segundo Nimer (1979), por apresentar elevadas temperaturas e umidade sobre o oceano. Quando posicionado sobre o continente, Franca (2009) destaca que o ASAS é formado por uma massa de ar seco, com temperaturas relativamente elevadas e, praticamente, sem a presença de cobertura de nuvens.

Vale ressaltar que o ASAS apresenta características distintas relacionadas à variabilidade e espacialização sazonal. De acordo com Nimer (1979), ao longo da estação chuvosa, o anticiclone mostra-se reduzido à porção leste do oceano Atlântico e, devido ao aquecimento continental e elevada umidade, ocorre a ascensão e transporte de umidade em altitude que resulta em consideráveis volumes de precipitação na costa nordeste do Brasil.

Em contrapartida na estação seca, o ASAS mostra-se estacionário e persistente no interior da América do Sul, atingindo a porção central do Brasil e região do PERD, objeto deste estudo. Dentre as características do sistema, destacam-se a forte subsidência atmosférica, a redução de umidade relativa e o aumento das temperaturas. Além desses fatores, há os apontamentos de Vianello e Maia (1986) que destacam este sistema de alta pressão como o responsável por dias de céu limpo, com ausência de chuvas e agravamento da poluição atmosférica, ocasionando bloqueio quanto à entrada de frentes frias, culminando numa inversão térmica.

Faz-se necessário observar que, mesmo estando mais posicionado à leste do continente americano na estação chuvosa, existe a possibilidade do ASAS avançar sobre o Brasil central, culminando na redução da precipitação e na elevação das temperaturas. Este fenômeno é denominado por Cupolillo (2015) como veranico climático, ou seja, curtos períodos de estiagem ao longo da estação chuvosa com duração entorno de dez a vinte dias.

Neste sentido, verifica-se que o mecanismo atmosférico de alta pressão – ASAS - possui grande influência nas condições climáticas sobre a região do PERD e seu entorno tanto na estação seca quanto na estação chuvosa. Tais interferências envolvem a variabilidade e espacialização de parâmetros climáticos como a umidade relativa, temperatura e pressão atmosférica que geram impactos sobre diferentes atividades ambientais e socioeconômicas.

A proposta de suprir a ausência de estudos que envolvem o comportamento climatológico dos elementos citados no PERD e sua variabilidade decendial, justificam o

desenvolvimento deste trabalho. Destaca-se também a relação entre os parâmetros climáticos e a atuação de sistemas atmosféricos, em especial o ASAS.

Este conjunto de informações relacionadas à atuação do ASAS e os impactos de sua variabilidade sobre a região do PERD e seu entorno possuem grande relevância, uma vez que se referem à uma importante Unidade de Conservação do Estado de Minas Gerais, o qual possui a maior área remanescente de Mata Atlântica do Estado e detém um complexo sistema lacustre.

As interfaces desta pesquisa envolvem, como objetivo geral, uma análise sobre a atuação do ASAS sobre a região do PERD, ao longo da estação seca e chuvosa correspondente ao período de 2005 a 2015 e o processamento de dados decendiais de quatro estações meteorológicas (Caratinga, Ipatinga, Timóteo e no PERD) sobre os seguintes parâmetros climáticos: umidade relativa do ar; pressão atmosférica e temperatura.

Tendo em vista que o ASAS apresenta significativa variabilidade decendial e espacial com expressiva atuação ao longo de todo o ano, o estudo propõe como objetivos específicos compreender o desempenho do anticiclone mediante a estação seca e chuvosa, por meio de análises sobre cada parâmetro climático já citado.

1 ASPECTOS TEÓRICOS E BASES CONCEITUAIS

As características gerais do clima de uma região resultam da distribuição latitudinal de energia solar e sua distribuição assimétrica. Dessa forma, a circulação geral atmosférica é destacada por Molion (1989) como um dos principais controles climáticos, juntamente com a topografia, cobertura vegetal, ciclo hidrológico e correntes oceânicas. As interações entre estes fatores climáticos levam em consideração as grandes quantidades de energia que são absorvidas e liberadas ao longo destes processos.

De acordo com Tubelis e Nascimento (1992), na dinâmica da atmosfera terrestre, o deslocamento do ar pode ocorrer de forma vertical ou horizontal, logo, o aquecimento pelo sol também irá variar por meio da expansão e ascensão do ar em regiões quentes (de baixa pressão) e a contração e subsidência em latitudes frias (de alta pressão).

De acordo com Ayoade (2015) a atmosfera encontra-se em constante movimento horizontal e vertical, sendo resultante dos movimentos dos ventos e rotação da Terra sobre o seu eixo. Este movimento é denominado de circulação geral da atmosfera que envolve a interação de diversos fatores e devido à sua complexidade foi aprimorada ao longo dos anos originando diversos modelos.

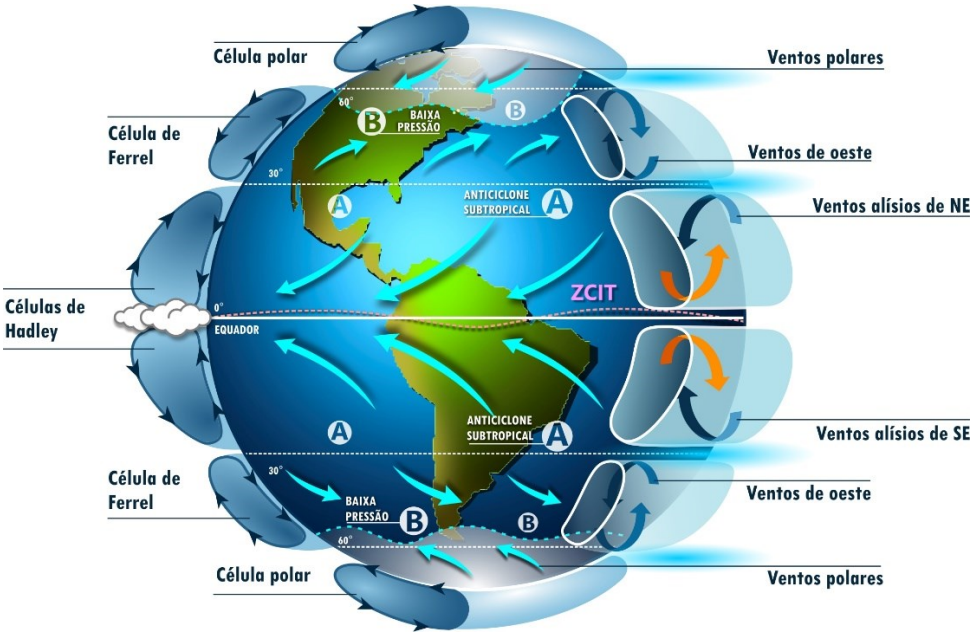
Dentre os primeiros modelos de circulação geral da atmosfera segundo Ayoade (2015), George Hadley em 1735 observou que o aquecimento desigual entre a região equatorial e as polares sugere uma circulação dos ventos partindo dos polos em direção ao equador. Tal circulação seria complementada por fluxos de ar em altos níveis das quais o ar frio, ao deslocar-se para o equador, torna-se mais quente e menos denso e, num movimento de ascensão, constitui nuvens de chuvas que posteriormente retorna aos polos por meio da altitude. Esta circulação meridional ficou conhecida como “célula de Hadley”.

Segundo Oliveira et al. (2001), o avanço nas observações e pesquisas sobre a atmosfera tiveram um significativo avanço com Gilbert Walker que propôs, em 1856, a existência de células de circulação zonal, originadas na região equatorial e organizadas entre os continentes e oceanos, apresentando um comportamento distinto de suas superfícies quanto ao aquecimento.

Nas zonas polares, de acordo com Franca (2009), ocorrem o resfriamento e elevada densidade do ar que formam os centros de alta pressão térmica, originando os ventos polares num sentido às latitudes inferiores, organizando uma área de convergência entre os ventos de alta polar a alta subtropical, estabelecendo uma zona dinâmica de baixa pressão.

Segundo Ayoade (2015), o aquecimento desigual de nosso planeta e seu movimento de rotação resultam numa circulação meridional, na qual ocorre uma diferença de energia entre a região equatorial e as zonas polares. Esse desequilíbrio energético promove o deslocamento de ar entre as latitudes, na busca pela redução entre as diferenças. Ressalta-se que o movimento de rotação é responsável pela Força de Coriolis[1] e interfere na direção dos ventos e formação de centros de pressão que são deslocados por movimentos verticais e horizontais em baixa e alta atmosfera, constituindo as células de circulação geral dos hemisférios, conforme apresentada a seguir na Figura 1.

Figura 1 – Células de circulação geral, ventos globais predominantes e centros de alta (A) e baixa (B) pressão atmosférica



Fonte: Christhopherson (2017) modificado por Vieira (2020).

Inseridos na circulação geral da atmosfera, encontram-se os sistemas produtores de tempo sendo "como sistemas de circulação acompanhados por padrões e tipos característicos de tempo" (AYOADE, 2015, p. 98). Essas ondas de ventos são consideradas perturbações e causam as variações diárias e semanais do tempo; destacam-se os ciclones e anticiclones – em médias latitudes, além dos ciclones tropicais e das monções.

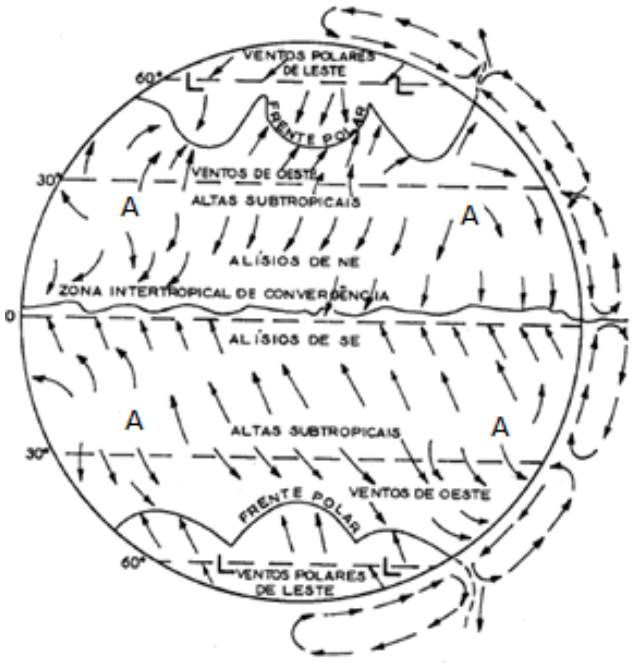
[1] Força de Coriolis Corresponde a uma força defletora que se deve ao movimento de rotação da Terra. Por meio deste movimento ocorre um aparente desvio de objetos, inclusive o ar, no sentido leste (direita) no hemisfério Norte e oeste (esquerda) no hemisfério Sul. Este efeito apresenta para uma dada velocidade, valor máximo nos polos e reduz nas baixas latitudes que chega a zero na linha do Equador. BRITO, Érika Gomes; Chagas, Marcus Vinícius; da Silva, Andrea Bezerra Crispim. *Climatologia* - Fortaleza: Ed. UEC, 2015. 106 p.

1.1 Escalas e hierarquia dos fenômenos meteorológicos

A escala climática corresponde à dimensão espacial e temporal na qual ocorrem os fenômenos climáticos, sendo determinados por diferentes mecanismos atmosféricos. Conforme apresentado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007), as escalas ganham maior destaque na abordagem geográfica do clima e são subdivididas numa hierarquia de grandezas climáticas tanto espaciais quanto temporais em *grande escala*, *meso escala* e *escala local*.

Os sistemas climáticos dentro da atmosfera podem ser classificados, segundo Ayoade (2015), em diferentes escalas sobre a área e o tempo na qual ocorrem. Dentre os tipos de classificações, a *circulação primária* corresponde a circulação geral da atmosfera (Fig.2), com padrões de larga escala de vento e pressão ao longo do ano, responsável por determinar os climas do mundo. Inserido nesse modelo, encontra-se a *circulação secundária*, composta por sistemas circulatórios como depressões e anticiclones de latitudes médias e perturbações tropicais, sendo breves e compostos por movimentos rápidos. Já na *circulação terciária*, encontram-se os ventos locais como brisas, ondas de sotavento, ventos catabáticos (transporta o ar de alta densidade descendo uma encosta pela força da gravidade) e anabáticos (transporta o ar de alta densidade subindo as encostas), sendo controlados por fatores locais e de curta duração.

Figura 2 – Zonas de pressão e ventos num globo terrestre homogêneo



Fonte: Ayoade (2015) adaptado por Vieira (2019)

Ao investigar os modelos de circulação geral da atmosfera, Ayoade (2015) apresenta que o modelo apresentado por Edmund Halley (1686) esboçou uma circulação térmica com aquecimento máximo em baixas latitudes explicando o fluxo dos ventos alísios em direção ao Equador. Tal modelo, foi posteriormente aperfeiçoado por George Hadley (1735) introduzindo os efeitos da rotação da Terra para explicar os alísios de nordeste e sudeste, além de uma contracorrente compensatória de sudoeste sobre os alísios. Somente em 1856, Ferrel propõe um novo modelo que insere as zonas de ventos de oeste, com células trimeridionais pela primeira vez, e posteriormente apresentadas por Bergeron em 1928 e Rossby em 1941.

Ainda no âmbito das escalas e suas subdivisões o quadro síntese, a seguir, demonstra as dimensões de maior aceitação no meio climático-meteorológico embasado numa flexibilidade entre grandezas, sendo os climas regionais e o topoclima, como escalas transitórias entre as grandezas média, superior e inferior (Quadro 1).

Quadro 1 – Organização das escalas espaciais e temporal do clima

Ordem de Grandeza	**Subdivisões**	**Escala Horizontal**	**Escala Vertical**	**Temporalidade das variações mais representativas**	**Exemplificação espacial**
Macroclima	Clima sazonal Clima regional	> 2.000 Km	3 a 12 Km	Algumas semanas a vários decêndios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, os mares
Mesoclima	Clima regional Clima local Topoclima	2.000 Km a 10 Km	12 Km a 100 m	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade, etc.
Microclima		10 Km a alguns m	Abaixo de 100 m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação/casa etc.

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007)

Uma vez que as oscilações do espaço e tempo são características marcantes do clima e tempo atmosféricos, os estudos sobre às escalas temporais permitem compreender como era o clima terrestre em diferentes momentos. Para os autores Mendonça e Danni-Oliveira (2007) as escalas geológica, histórica e contemporânea permitem identificar os fenômenos climáticos e estudo da atmosfera em viés distintos.

Compreende à escala geológica os fenômenos que marcam desde a formação do planeta aos estudos direcionado à Paleoclimatologia, além das variações e mudanças climáticas ocorridas em centenas e várias dezenas de milhões de anos passados. De acordo com Salgado-Labouriau (1994), os estudos sobre o tempo geológico remontam à 1669, quando Nicolau Steno conclui que as rochas se sobrepunham numa ordem cronológica em camadas horizontais, introduzindo a Lei da superposição, que posteriormente foi adaptada e tornou-se mais precisa, como na classificação das rochas em ígneas, metamórficas e sedimentares, porém sem a construção de um mapa geológico. Somente em 1815, o cientista William Smith conclui que os fósseis conferem um importante instrumento de datação das rochas, sendo este confiável e que permite distinguir as unidades geológicas. Neste sentido, por meio da Lei da superposição, é possível construir uma ordem cronológica, com base nos fósseis, para determinar as unidades geológicas e organizar uma Escala de Tempo Geológico.

A escala geológica, portanto, é representada em ordem estratigráfica na qual segundo Salgado Labouriau (1994) seguiu uma superposição inicial de estratos que foram estudadas por diversos geólogos e inseridas em subdivisões que compõem as *Eras*, *Períodos* e *Épocas* (Séries), todas marcadas por um conjunto de fósseis que se mantêm em estudos constantes sob diferentes métodos de observação na qual permitem identificar como estava o clima em determinada região em detrimento do período analisado.

A escala histórica perpassa aos registros de elementos atmosféricos descritos em instrumentos meteorológicos como em relatos de viagens e desenhos em paredes. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a partir de diferentes métodos de observação e registros sobre o comportamento da atmosfera e seus fenômenos, foi possível desenvolver conceitos e, posteriormente, instrumentos capazes de medir e monitorar a dinâmica atmosférica.

Para Mendonça e Danni-Oliveira (2007) a escala contemporânea aborda a maioria dos climatólogos tendo em vista a elaboração de estudos com séries de dados meteorológicos. O atual desenvolvimento de instrumentos e aperfeiçoamento de técnicas que mensuram elementos atmosféricos com exatidão, auxiliam nas análises que diariamente fornecem informações meteorológicas em nível global, contribuindo na elaboração de pesquisas sobre a dinâmica dos fenômenos atmosféricos.

1.2 Fatores estáticos e dinâmicos responsáveis pela dinâmica atmosférica na América do Sul

Para organizar um estudo sobre a dinâmica atmosférica da América do Sul, é necessário investigar a realidade dos espaços e suas interações, na qual podem ser verificados diversos processos em constante (re)arranjo sobre as escalas espaciais e temporais. Conforme apresenta Sorre (1951), o ambiente atmosférico é constituído por uma série de estados da atmosfera sobre determinado local, em uma habitual sucessão de tempo, da qual são estabelecidas diferentes combinações e relações entre a superfície terrestre e a sociedade.

Partindo desse pressuposto, identifica-se no clima um aspecto de influência sobre o ambiente, assim como a capacidade de ser influenciado por este. Tal situação pode ser embasada nos estudos de Nimer (1979) na qual menciona que nenhum fenômeno natural pode ser compreendido de maneira isolada, devendo considerar a ligação entre às condições que o rodeiam possibilitando sua compreensão.

Ao investigar uma área de estudo é possível estabelecer que diversos fatores dinâmicos e estáticos influem sobre a determinação climática local; os fatores dinâmicos são representados pela dinâmica atmosférica e os estáticos relacionam-se com a morfologia do relevo e sua posição em relação ao oceano. Segundo Nimer (1979), o relevo, a latitude e a continentalidade são fatores geográficos que complementam o fator mais importante que é a circulação atmosférica.

Sabe-se que a atmosfera está em constante movimento, sendo resultado da soma entre diversos componentes como os ventos e o movimento de rotação da terra. De acordo com Ayoade (2015), diversos fatores como o desequilíbrio na radiação e na umidade; baixas e altas latitudes entre a superfície da Terra e atmosfera, além da topografia; correntes oceânicas; distribuição de superfícies continentais e oceânicas que se encontram relacionadas com o movimento atmosférico horizontal ou vertical.

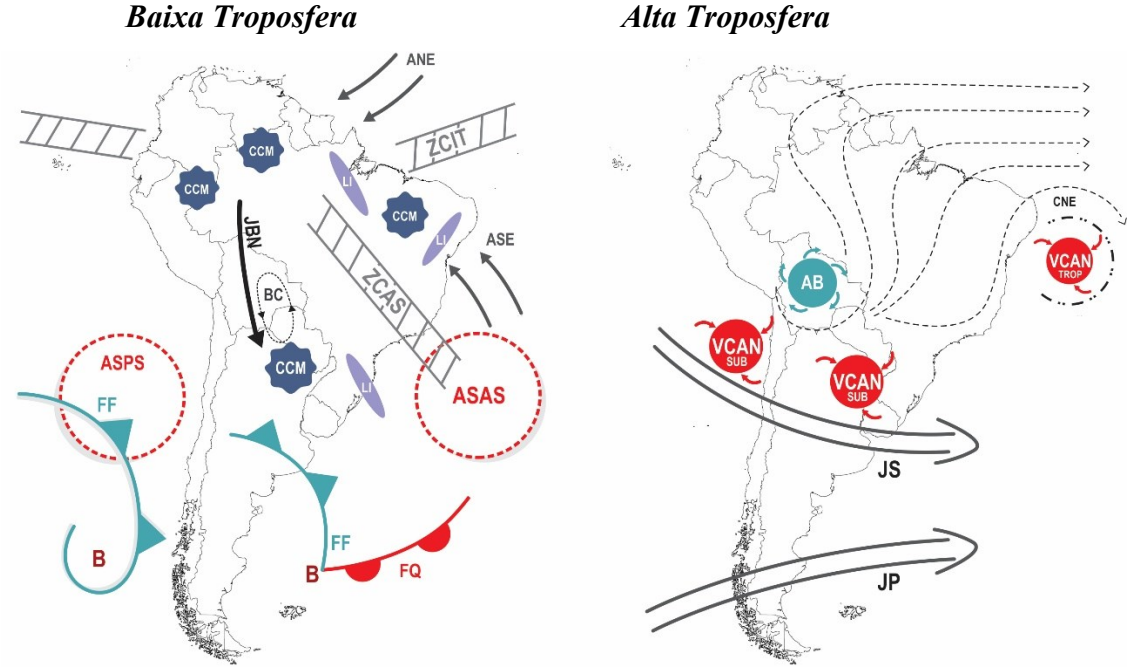
1.3 Principais sistemas e mecanismos atmosféricos atuantes na América do Sul

A distribuição das terras na América do Sul, em decorrência das variadas formas de relevo e diferentes latitudes possibilitam a atuação e o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos, na qual colaboram para a diversidade climática desta região.

As características dos principais sistemas e mecanismos atmosféricos que contribuem e/ou inibem as atividades convectivas na América do Sul, será apresentada de forma ilustrativa na Figura 3, seguindo adaptações do estudo de Reboita et al. (2009), considerando a baixa e

alta troposfera. Na sequência, serão apresentados os principais sistemas e mecanismos atmosféricos que respondem pela diversidade climática da região em estudo e suas características como meio de compreender melhor a dinâmica atmosférica que ocorre na região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e entorno, tal como analisar e compreender os resultados que serão apresentados na sequência deste estudo.

Figura 3 – Sistemas e mecanismos atmosféricos na baixa e alta troposfera que atuam na América do Sul



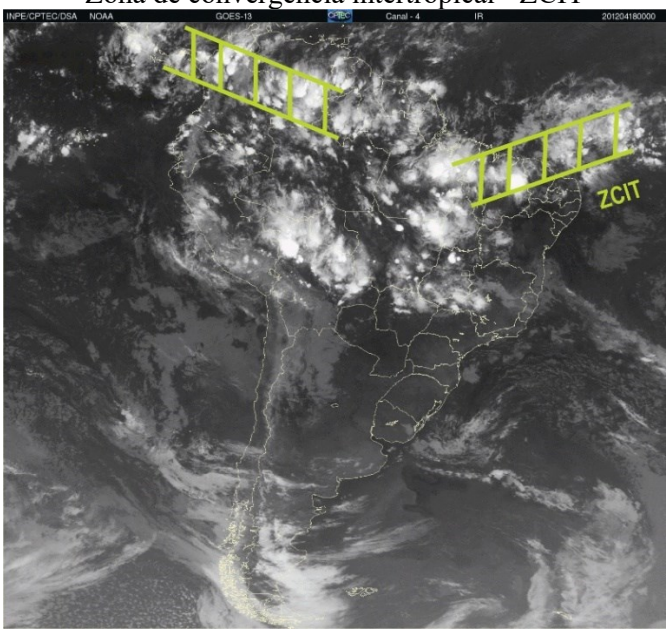
Fonte: adaptado de Reboita et al., 2010.
Baixa troposfera: **ANE** ventos alísios de nordeste; **ASE** ventos alísios de sudeste; **ASAS** anticiclone subtropical do Atlântico Sul; **ASPS** anticiclone subtropical do Pacífico Sul; **B** baixa pressão; **BC** baixa do chaco; **CCM** complexo convectivo de mesoescala; **FF** frente fria; **FQ** frente quente; **JBN** jato de baixos níveis; **LI** linhas de instabilidade; **ZCAS** zona de convergência da América do Sul; **ZCIT** zona de convergência intertropical. Alta troposfera: **AB** alta da Bolívia; **CNE** cavado do nordeste do Brasil; **JS** jato subtropical; **JP** jato polar **VCAN** vórtices ciclônicos de altos níveis (tropicais e subtropicais)

1.3.1 Zona de Convergência Intertropical – ZCIT

Constitui-se por um ramo ascendente da *Célula de Hadley* que é caracterizada, segundo Hastenrath (1985), pela importação de vapor d'água concentrado nas camadas inferiores da atmosfera e exportação de energia geopotencial e calor sensível pela alta troposfera, contribuindo assim para a manutenção do balanço térmico global. Na América do Sul, essa célula, conforme apresentada na Figura 4, pode ser identificada como uma área de baixa pressão atmosférica na qual recebe a confluência de ventos alísios de nordeste e sudeste que partem da

subsidência dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e Atlântico Sul. Logo, apresenta-se como uma área de intensa nebulosidade e elevados índices pluviométricos.

Figura 4 – Imagem de Satélite no canal infravermelho 4, correspondente ao dia 18/04/2012 às 00hr. Zona de convergência intertropical - ZCIT



Fonte: CPTEC. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 dez. 2019. Adaptado por Vieira (2020)

A ZCIT é considerada por Melo, Cavalcanti e Souza (2009) como um importante sistema que propicia a formação de precipitação sobre a região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico, Índico e suas áreas adjacentes. Sobre os oceanos, é nítida a presença de uma banda de nuvens que determina o posicionamento da ZCIT, porém sobre os continentes, em detrimento da orografia e efeitos da continentalidade, podendo-se identificar a ZCIT como uma faixa larga e banda desorganizada de nuvens.

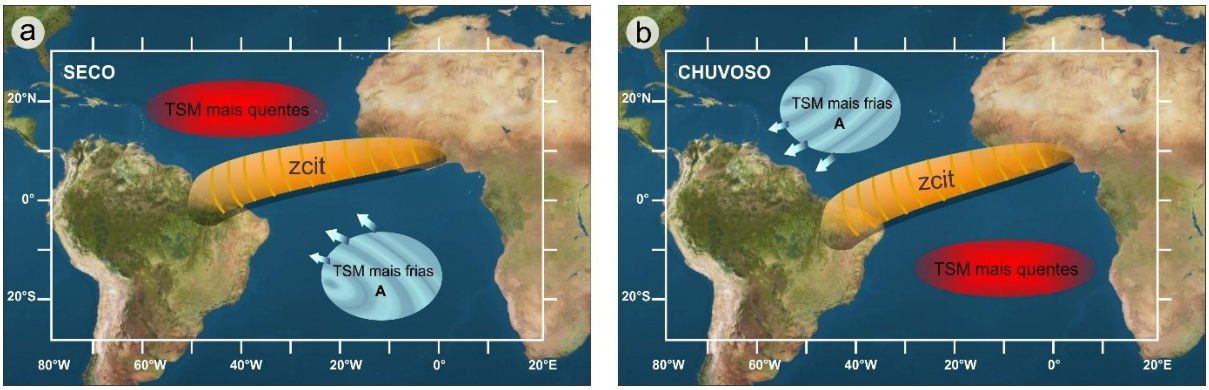
Com respeito à caracterização da ZCIT, Ayoade (2015) salienta que ela varia de região para e região, apresentando no hemisfério setentrional um movimento no sentido norte, no verão, e no hemisfério meridional, ao sul. Ela também apresenta uma posição média pouco acima do Equador e, de acordo com os estudos, nota-se que a amplitude destes movimentos é superior na porção continental em relação à oceânica. Para Melo, Cavalcanti e Souza (2009) esta migração sazonal da ZCIT, na região do Atlântico Equatorial, encontra-se associada ao fortalecimento ou enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste e sudeste, na qual determinam a estação chuvosa à porção norte do nordeste brasileiro (NEB).

Nota-se por meio dos estudos de Melo, Cavalcanti e Souza (2009) que diversas variáveis meteorológicas podem contribuir para definir a ZCIT, tal como estar associada a ela, resultando no aumento ou redução das atividades convectivas sobre as regiões de abrangência. Dentre os sistemas, cita-se a Zona de Confluência dos Alísios (ZCA), o cavado equatorial, a *Temperatura da Superfície do Mar* (TSM) e a banda máxima de cobertura de nuvens convectivas.

A posição latitudinal da ZCIT altera-se conforme são identificadas anomalias de TSM, este fenômeno oceano/atmosférico é denominado *Dipolo do Atlântico* e destaca-se por mudanças anômalas (positivas ou negativas) na temperatura da superfície da água do mar. De acordo com Aragão (1998), a fase *Positiva do Dipolo* corresponde às águas do Atlântico Norte, mais quentes, e as do Atlântico Sul, mais frias. Esse fenômeno inibe a formação de nuvens e precipitação sobre a região nordeste do Brasil, podendo causar secas. Já na fase *Negativa do Dipolo*, verifica-se que as águas no Atlântico Norte estão mais frias que as águas do Atlântico Sul, resultando na intensificação de atividades convectivas e elevação dos índices pluviométricos. Tal padrão de anomalias da TSM apresentados pelas diferenças das fases positiva e negativa do Dipolo do Atlântico Norte e Sul, influem diretamente na posição da ZCIT e na distribuição sazonal da precipitação, conforme *Figura 5a e 5b*.

Ao considerar a influência dos sistemas de alta pressão no comportamento da ZCIT, os pesquisadores Hastenrath e Heller (1977) *apud* Melo, Cavalcanti e Souza (2009) propõem que em estações chuvosas deficientes ou abundantes no Nordeste brasileiro, estariam relacionadas ao deslocamento do *Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul* (ASAS) em direção ao Equador (Figura 5a e 5b). Neste sentido, os anos de seca estariam ligados ao posicionamento do ASAS em direção ao Equador e retração da alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) rumo às latitudes mais altas do Atlântico Norte, junto ao deslocamento do cavado equatorial com a ZCIT inserida ao norte de sua posição climatológica (Figura 5a). Já em anos chuvosos, o ASAN se desloca em direção ao Equador e o ASAS se direciona às latitudes mais altas do Atlântico Sul (Figura 5b).

Figura 5 –Ilustração esquemática do posicionamento da ZCIT em (a) anos secos, e (b) anos chuvosos no NEB



Fonte: Melo; Cavalcanti e Souza (2009) adaptado de Nobre e Molion (1988).

Desta forma, ao considerar a variabilidade interanual da ZCIT os autores Melo; Cavalcanti; Souza (2009) identificaram que durante o ano mais chuvoso que o normal no NEB, a ZCIT se desloca à porção sul no hemisfério meridional no período que compreende ao verão e outono. Já no ano anômalo seco, ela encontra-se na posição ao norte de sua climatologia, para o mesmo período do ano.

1.3.2 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis - VCAN

São sistemas meteorológicos cuja circulação ciclônica forma-se na alta troposfera e se estende até os níveis médios. De acordo com Reis (2018) o centro deste sistema possui um destaque, por ser mais frio que sua periferia. Estes vórtices são detectados numa altura de 200 mb, na qual inclinam-se em direção ao ar mais frio de forma vertical (em movimento subsidente no centro do vórtice e ascendente em sua periferia), num curto período de atividade que pode se estender por vários dias ou semanas, adquirindo uma característica de quase-estacionários.

De acordo com Kousky e Gan (1981) citados por Varejão-Silva (2006), a formação do VCAN no Atlântico Tropical Sul, origina-se a partir de um sistema frontal amplificado junto a um cavado intenso; logo, com o movimento do sistema frontal para sudeste a porção do cavado se fecha e se desprende.

Os vórtices ciclônicos dividem-se de acordo com o local de sua origem, podendo ocorrer sua formação em latitudes extratropicais, sendo classificado como do tipo Palmen, e em latitudes tropicais do tipo Palmer. No Brasil, os VCANs de origem tropical (Palmer) atuam com maior frequência entre os meses de dezembro a fevereiro, com um ciclo de vida que varia de 4 a 11 dias, produzindo tempo bom na região sul e central do Nordeste e chuvas no setor norte e

Nordeste. Já os VCANs subtropical (Palmen) atuam sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil por um período de 1 ou 2 dias, provocando chuvas e ventos fortes (FERREIRA; RAMIREZ; GAN; 2009).

No Hemisfério Norte, os VCANs formam-se na primavera, no verão e no outono, que persistem, crescem e se intensificam no decorrer de seu deslocamento para latitudes altas. Para Ferreira; Ramirez; Gan (2009) sobre o território brasileiro, os VCANs atuam, principalmente, entre dezembro e fevereiro com persistência média entre 4 a 11 dias, resultando em precipitação sobre as regiões Norte e Nordeste, especialmente quando se originam no continente.

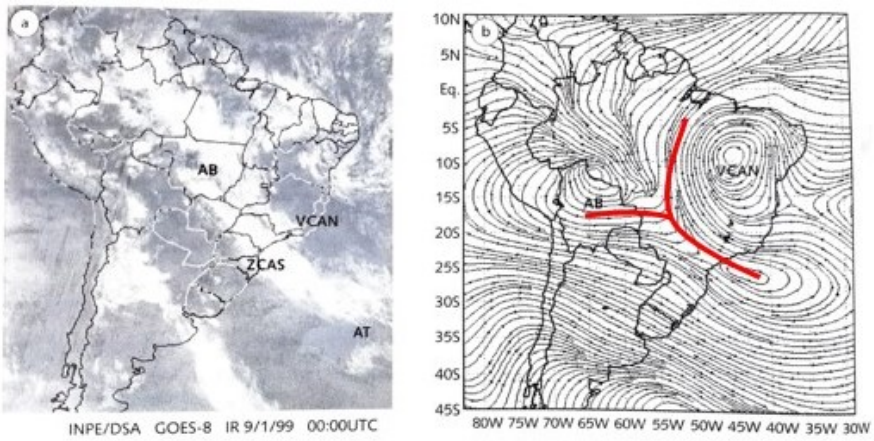
Ressalta-se que estes vórtices são imprescindíveis no regime pluviométrico das regiões Norte e Nordeste do Brasil segundo Ferreira; Ramirez; Gan (2009); no entanto é preciso considerar que ocorre a interação do VCAN com outros dois importantes sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul, sendo eles a *Alta da Bolívia* (AB) e a *Zona de Convergência da América do Sul* (ZCAS).

Na região Sudeste do Brasil, a formação dos VCANs pode ser influenciada pela intensificação da AB, devido ao excesso de calor latente distribuído pela convecção distribuída ao longo da frente fria situada ao sul da região. De acordo com Rao e Bonatti (1987) citados por Ferreira; Ramirez; Gan (2009),

> a formação dos VCANs envolve processos termodinâmicos como a liberação de calor latente de condensação e a variação diurna da intensidade do anticiclone sobre o continente sul-americano, além de instabilidade barotrópica. (RAO; BONATTI *apud* FERREIRA; RAMIRES; GAN, 2009, p. 51)

No que diz respeito aos padrões de nebulosidade dos VCANs, os autores Ferreira; Ramirez; Gan (2009) destacam que estes sistemas apresentam duas configurações distintas. A primeira, ilustrada na Figura 6, representa a configuração do tipo “Y” que demarca a interação entre o vórtice, a AB e a nebulosidade dos sistemas frontais (SF). É possível identificar que a porção norte da região possui muita nebulosidade, tal como ao longo da ZCAS e AB na região da Amazônia. Todas as atividades convectivas ocorrem quando o VCAN está posicionado no interior do NEB.

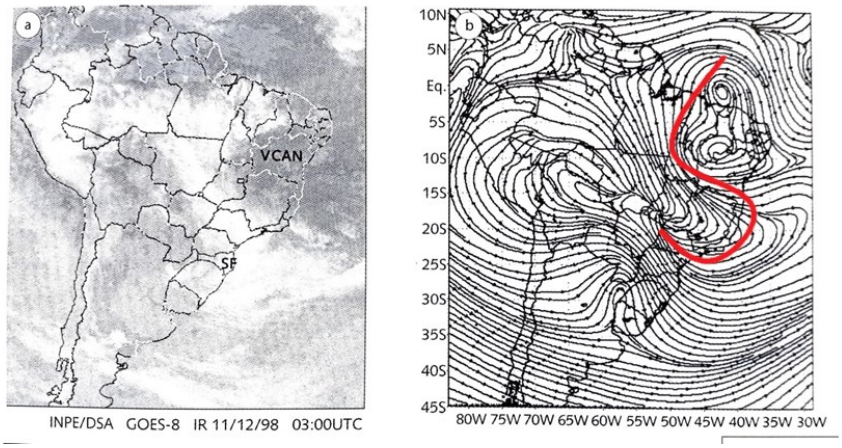
Figura 6 – Identificação do VCAN no interior do NEB[2]



Fonte: Ferreira; Ramirez; Gan (2009) adaptado por Vieira (2020)

Segundo as observações de Ferreira; Ramirez; Gan (2009) a configuração do tipo "S" evidencia-se nos momentos em que as atividades convectivas na AB mostram-se desorganizadas e deslocadas à oeste (Figura 7) com este padrão a convecção da ZCAS ou do SF interagem com a nebulosidade do VCAN. O padrão tipo "S" é identificado, em alguns casos, à configuração de um bloqueio, uma vez que o VCAN estacionário inibe o deslocamento de SFs para outras regiões como o Sudeste e Nordeste.

Figura 7 – Padrão de nebulosidade tipo "S"[3]



Fonte: Ferreira; Ramirez; Gan (2009) adaptado por Vieira (2020)

[2] (a) Imagem infravermelha do Satélite Goes-8, do dia 9/1/1999 IR, 00:00 UTC, apresentando uma banda de nebulosidade associada a um VCAN no NEB; (b) mapa de linhas de corrente do campo de vento ao nível de 200 hPa, derivado de reanálises do NCEP, ilustrando o padrão de nebulosidade tipo "Y" (linha vermelha).

[3] (a) Imagem infravermelha do satélite Goes-8, 11/12/1998, 03:00 UTC; (b) mapa de linhas de corrente do campo de vento no nível de 200 hPa, derivado das reanálises do NCEP, ilustrando o padrão de nebulosidade tipo "S" (linha vermelha)

Por fim, ao relacionar a variabilidade sazonal e interanual dos VCANs sobre o Atlântico Sul e regiões próximas ao NEB, os estudos de Kousky e Gan (1981); Gan (1982); Valverde Ramírez (1996); Valverde Ramírez, Kayano e Ferreira (1980-1989); Calbete, Gan e Satyamurty (1996); Valverde Ramírez, Ferreira e Campos Velho (2004) todos citados por Ferreira; Ramírez e Gan (2009) constataram que os meses que compreendem o verão apresentam as maiores frequências de formação dos vórtices, sendo no mês de janeiro as maiores ocorrências registradas em ambos os estudos.

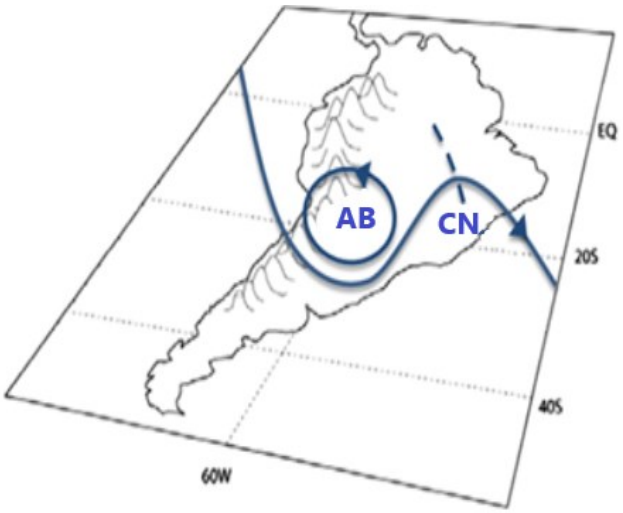
1.3.3 Cavado do Nordeste - CN

Este mecanismo forma-se por uma construção atmosférica que apresenta grande influência sobre o clima no Brasil, tornando-o como uma fonte de pesquisas e estudos climatológicos. De acordo com as pesquisas de Cupolillo (2015), em Minas Gerais o CN apresenta um escoamento de leste para oeste, posicionando-se de forma invertida e resultando em longos períodos de estiagem na estação seca, além de veranicos climáticos dentro da estação chuvosa, devido à forte subsidência do ar.

Sobre o fenômeno do veranico, ressalta-se que é causado pelo posicionamento anômalo da Alta da Bolívia (AB), na qual possibilita a entrada do cavado junto ao continente, constituindo um bloqueio atmosférico com acentuada subsidência. Nesta situação, conforme apresentado por Antunes (2018), o CN posiciona-se sobre o estado de Minas Gerais de maneira semiestacionária, o que potencializa o fenômeno do veranico.

O mecanismo investigado por Saucier (1969) e citado por Varejão-Silva (2006) apresenta analogamente configurações topográficas com superfícies isobáricas e ondulações que constituem formação de cavados (vales) e cristas. O Cavado mostra-se como um eixo no qual a pressão é mínima em comparação à sua área circundante (Figura 8). Esse evento, normalmente, inclina-se para leste com a altitude; ocorre convergência na superfície e, logo, um movimento ascendente desenvolve-se posteriormente ao cavado. Na sequência, as chuvas mais intensas ocorrem exatamente após a passagem do eixo do cavado.

Figura 8 – Interação entre a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste (CN)



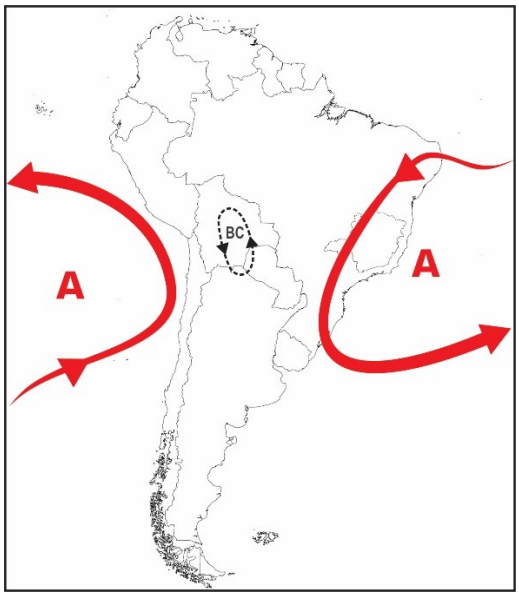
Fonte: https://www.letrasambientais.com.br/img/posts/
Cavado_do_Nordeste.jpg Adaptado por Vieira (2019)

Segundo Vianello e Maia (1986), nos anos em que a AB posiciona-se mais a leste, ocorrem verões chuvosos sobre o estado de Minas Gerais, no entanto, ao situar-se mais a oeste, a ação do CN sobre a porção central do Brasil, determina um verão anomalamente seco na região citada.

1.3.4 Baixa do Chaco - BC

Corresponde a um sistema atmosférico de baixa pressão, marcado segundo Seluchi e Saulo (2010) pelo intenso aquecimento superficial na porção central do continente Sul-americano e escoamento de norte, em baixos níveis. A BC, localiza-se sobre a planície do Chaco, entre a Bolívia, o norte do Paraguai e Argentina. Conforme identificado por Vianello (2012), a BC pode ser identificada entre dois anticiclones (Figura 9), sendo que este sistema, quando abastecido pelo vapor d'água do ASAS resulta em elevados índices pluviométricos.

Figura 9 – Baixa do Chaco representado pela letra B (sistema de baixa pressão) entre 2 anticiclones representados pela letra A (sistema de alta pressão)



Fonte: Vianello (2012) adaptado por Vieira (2019)

De acordo com Vianello e Maia (1986) *apud* Cupolillo (2015), no território brasileiro, a intensificação da Alta da Bolívia (AB) resulta na formação da BC devido à intensificação do aquecimento continental. Esses sistemas potencializam os mecanismos convectivos na região sudeste, como por meio do processo de ondulação do Jato Subtropical (JS), fortalecimento da AB sobre o continente e deslocamento à leste do CN, que favorecem a ocorrência de precipitação no Estado de Minas Gerais.

Ao longo da estação chuvosa, segundo Lemos e Calbete (1996), a entrada de frentes frias no Sul do Brasil intensifica-se a partir do momento que estão associadas à BC. Tais sistemas, devido à atuação do VCAN sobre a região Nordeste, mantêm-se semiestacionados sobre o litoral do Sudeste e caracterizam a formação da Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) com a formação de atividades convectivas nas regiões central e norte do Brasil.

1.3.5 Alta da Bolívia – AB

Caracteriza-se por um sistema que se forma em altos níveis e apresenta um movimento anticiclônico que surge principalmente no verão, em meados de outubro persistindo até o mês de abril, sendo janeiro o seu período de maior intensidade. De acordo com Lima (2019), a AB se estabelece com centro no Altiplano Boliviano durante o verão e desloca-se para o interior do continente ao longo do outono no sentido ao Oceano Atlântico, e desaparecendo no inverno.

De acordo com Souza (2009), este sistema encontra-se associado a um ciclone térmico denominado Baixa do Chaco (BC), na qual surge pelo intenso aquecimento superficial da região do planalto (centrado na Bolívia, norte do Chile e Peru) e intensa convecção sobre a região Amazônica.

A localização geográfica da AB, apresenta uma variação intrasazonal e interanual, sendo que este ciclo está associado ao deslocamento latitudinal do Sol em relação ao nosso planeta. Verifica-se nos estudos de Santos (1986) citado por Souza (2009), que ao longo dos anos menos chuvosos na região Amazônica, o centro da AB era menos intenso, e a manutenção deste centro quente anticiclônico decorre da convergência, em baixos níveis de umidade que originam no Nordeste e Leste.

Tendo por base a análise do *Modelo de Circulação Geral* realizado por Lenters e Cook (1999) identifica-se que a AB e VCAN, sobre o Nordeste, resultam de uma resposta da elevada precipitação sobre a Bacia Amazônica, Andes Central e à ZCAS, na qual a intensa atividade convectiva e o calor latente, fornecem energia que mantêm os movimentos de circulação anticiclônicos em altos níveis.

De acordo com os estudos de Cupolillo (2015), a atuação da AB na América do Sul é marcada por forte atividade convectiva e intensas precipitações no verão. Sobre a convecção nessa região, Molion (2004) destaca que ela decorre de dois fenômenos, sendo um termodinâmico que perpassa ao aquecimento continental pelo Sol e calor latente que são liberados nos movimentos ascendentes e divergência entre os níveis altos da AB; e um fenômeno dinâmico relacionado à penetração dos sistemas frontais do Hemisfério Sul (HS).

A formação de instabilidades tropicais associa-se aos Sistemas Frontais (SF) que segundo Scheuer (2017), compreende a uma faixa de transição entre massas de ar distintas pelas quais mantêm suas propriedades e percorrem o sentido de sudeste para noroeste, no entanto, sofrem com a interferência do relevo, alterando a velocidade e direção dos ventos ao longo de seu percurso. De acordo com os estudos de Oliveira (1986) *apud* CPTEC (1996), registros apontam diversos casos onde as ocorrências da AB associam-se a passagem de uma frente na porção central do continente, o que resulta no deslocamento da Alta na direção oeste.

1.3.6 Corrente de Jato

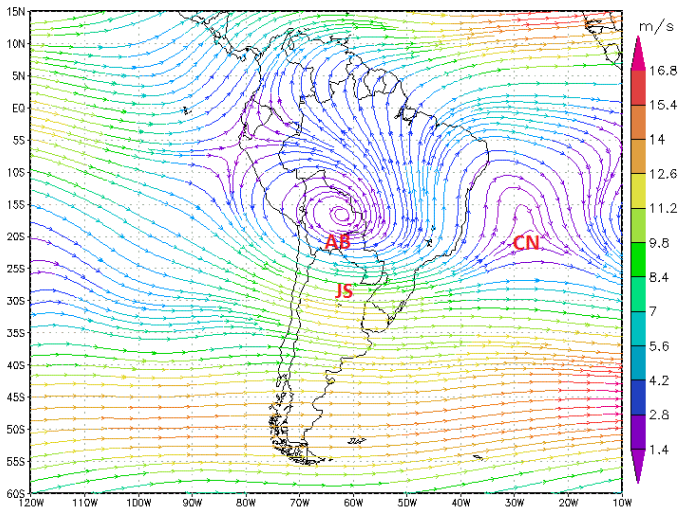
Outro sistema que interfere na variabilidade e intensidade da AB são as correntes de jato, as quais, segundo Pezzi e Cavalcanti (1994), são constituídas por uma corrente de vento forte que perpassa um eixo horizontal identificado na troposfera superior ou na estratosfera,

demarcada por um forte cisalhamento vertical e horizontal, geralmente apresenta vários milhares de quilômetros de comprimento, além de centenas de quilômetros de largura e vários quilômetros de espessura.

De acordo com Escobar e Seluchi (2012), o Jato Subtropical (JS) apresenta uma posição média entre 30º e 35ºS sendo que o Jato Polar (JP) situa-se entre 55º e 35ºS. Verifica-se que a variabilidade do Jato Subtropical (JST) é menor comparada ao JP, sendo este último dependente da posição dos SF. Ressalta-se que no inverno, as frentes frias atingem latitudes mais baixas e desta forma o JP acompanha o deslocamento deste sistema; no verão, o JP localiza-se nas latitudes mais altas, com sua posição mais ao norte. Já o JS pode atingir latitudes baixas, desde que acoplado ao JP, associado aos sistemas transientes.

De acordo com Lima (2019), o processo ondulatório do JS associado à vorticidade da AB, e entrada de SF resultam no surgimento do CN (Figura 10). Este, por ventura, em caso de intensificar-se e fechar suas linhas correntes numa circulação ciclônica, forma o VCAN do NEB, apresentando em sua borda, atividades convectivas, e o seu centro frio e com céu limpo.

Figura 10 – Interação entre a Alta da Bolívia (AB), o Cavado do Nordeste (CN) e Jato Subtropical (JS) a 200 hPa



Fonte: LIMA, 2019.

1.3.7 Zona de Convergência da América do Sul ou Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS

Os estudos de Lima (2019) revelam que ao redor de nosso planeta existem diferentes zonas de convergência (ZC) no hemisfério Sul e suas denominações, geralmente, estão relacionadas às regiões oceânicas na qual estão envolvidas, como por exemplo ZC do "Atlântico Sul". No entanto, tendo em vista a inter-relação existente entre oceanos e continentes na

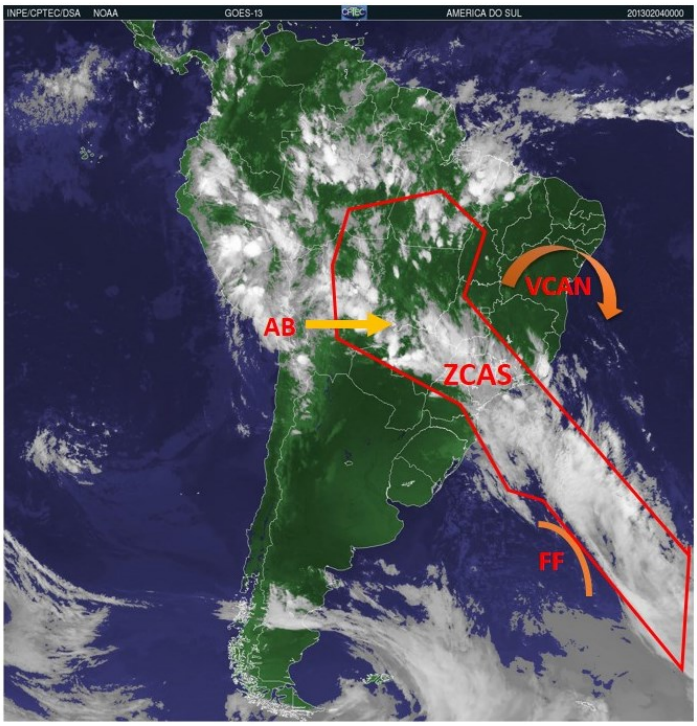
América do Sul, autores como Amaro, Lacerda e Molion (2008) citados por Lima (2019) propõem que as variáveis que influem no clima relacionadas ao continente, superam às variáveis da região oceânica e, para tanto, sugerem a denominação deste mecanismo por ZC da "América do Sul".

Ainda de acordo com Lima (2019) a denominação Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) ocorre através de sua posição sobre o continente e interação com outros sistemas. Destaca-se por ser um fenômeno caracterizado por uma faixa de nebulosidade persistente no sentido noroeste-sudeste, comumente observada durante o verão austral com duração média de quatro dias seguidos, numa área de abrangência do centro sul da Amazônia, passando pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste até o Sudoeste do Oceano Atlântico.

Os estudos de Kodama (1992, 1993) demonstram algumas características centrais relacionadas às ZCAS, das quais podem-se citar o fato de ser um sistema semi-estacionário; estar associado à intensa atividade convectiva no lado oeste; apresentar um centro de alta pressão subtropical no lado leste; possuir um forte gradiente de temperatura potencial equivalente e intensificação da convergência de umidade, associado a um escoamento de ar em direção aos polos na baixa troposfera; além de apresentar uma estrutura baroclínica e regiões convectivas instáveis.

De acordo com Cupolillo (2015), a formação da ZCAS se dá pela combinação de mecanismos atmosféricos distintos que atuam na América do Sul, como por exemplo, a AB, a convecção tropical continental da Amazônia e os SF, advindos da porção meridional do continente, resultando na formação de uma banda de nebulosidade no sentido NW-SE, que se localiza na porção sul do continente, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Episódio de ZCAS do dia 04/02/2013



Fonte: CPTEC. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 dez. 2019. Modificada pelo autor.

Segundo os estudos de Quadro (1994), o deslocamento da ZCAS manifesta-se por ao menos quatro dias e apresenta convergência da umidade na troposfera a partir da interação entre a Convergência Tropical com o SF. Neste cenário, a presença de um cavado semi-estacionário sobre a América do Sul (a leste dos Andes) com centro de circulação anticiclônica em altos níveis, foi marcada pela presença da AB e resultou em alteração do regime das chuvas. Também foi possível observar nos eventos de ZCAS a presença do VCAN e de um Cavado não totalmente configurado.

Com relação à variabilidade espacial da ZCAS, de acordo com Vianello e Maia (1986), Abreu (1998) e Moreira (2002) citados por Cupolillo (2015) o mecanismo atmosférico manifesta-se na primavera, após estabelecer-se na região amazônica e chega até a região Sudeste, em sua maioria, no mês de outubro. Após este período, nos meses de novembro e dezembro, sua atuação mantém-se sobre o centro-sul do estado de Minas Gerais, ao norte do Rio de Janeiro e Espírito Santo e, posteriormente, direciona-se ao sul, alcançando os territórios que compreendem aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Tal situação, demarca uma das características marcantes da ZCAS, a sua rica variabilidade espacial que se apresenta

latitudinalmente de norte ao sul, demarcando o início e a metade da estação chuvosa, respectivamente.

Logo, os estudos de Lucas (2015), citado por Lima (2019), demonstram que as mudanças que a ZCAS apresenta em sua posição climatológica decorre de variações sobre a localização da AB, de VCAN sobre o NEB e do cavado dos Andes localizado na média troposfera. Além de contribuição do ASAS e anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), conforme apresentada por Quadro (1994).

Quanto à TSM, identifica-se nos estudos de Chaves e Nobre (2004) que ela possui uma função de modular os padrões de variabilidade sobre a circulação e precipitação na América do Sul. Neste sentido, uma redução (aumento) sobre a precipitação está associada a fortes (fracas) manifestações da ZCAS e seu deslocamento ao norte. Já as anomalias positivas (negativas) identificadas de TSM no Atlântico Sul registram características de intensidade (enfraquecimento) da ZCAS. Contudo, a intensificação da ZCAS proporciona o resfriamento das águas superficiais demarcando anomalias frias de TSM ou no enfraquecimento de anomalias quentes de TSM.

Segundo Carvalho e Jones (2009), a topografia é um fator estático de grande relevância por modular as feições da circulação atmosférica ao longo do verão na América do Sul. Ela tende a reforçar a ZCAS, intensificando a precipitação sobre a Amazônia. O estudo de Liebmann et al (2004), citado por Carvalho e Jones (2009), demonstra que existe uma forte relação entre as variações do Jato de Baixos Níveis (JBN), situado a leste dos Andes com a ZCAS. Uma vez que a umidade elevada, na porção central da América do Sul, é transportada por este JBN, resulta em uma fraca convecção da ZCAS, e vice-versa.

No que diz respeito à escala de tempo interanual, identificou-se por meio de estudos apontados por Carvalho e Jones (2009) que o fenômeno *El Niño* exerce influência significativa sobre a variabilidade da monção na América do Sul e consequentemente na ZCAS, proporcionando eventos extremos de precipitação. Ressalta-se, também, que a intensificação do JST de altos níveis sobre o oceano Atlântico, nas fases de *El Niño* aumentam a frequência de ocorrência de ZCAS sobre o oceano em duas vezes.

Neste sentido Souza (2009) identificou que a formação da ZCAS depende de forças locais (por meio da convecção da região Amazônica e Brasil Central, da disponibilidade de umidade e baroclinicidade), e remotas (convecção da Zona de Convecção do Pacífico Sul e da Temperatura da Superfície do Mar), e que este sistema atmosférico exerce um papel fundamental no regime de chuvas sobre as regiões em que atua, resultando em grandes volumes pluviométricos.

1.3.8 Zona de Convergência de Umidade – ZCOU

Conforme apresentado, a ZCAS constitui um sistema meteorológico responsável pelo regime hídrico nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, porém é possível identificar a formação de um canal de umidade e massa, similar a ZCAS em alguns períodos, cuja denominação estabelecida pelo Grupo de Previsão de Tempo (GPT) foi Zona de Convergência de Umidade (ZCOU).

Segundo os estudos de Sacramento Neto; Escobar e Silva (2010) o estabelecimento de critérios e ferramentas objetivas auxiliam na caracterização e classificação dos eventos de ZCAS e ZCOU. Tais instrumentos aplicados no estudo dos autores citados, permitiram detectar as diferenças entre os eventos, na qual a ZCAS apresenta convergência de massa em camadas baixas e médias onde identifica-se uma zona de convergência de umidade, que configura uma sobreposição dos campos de linha de corrente em 850 e omega em 500 hPa. Já para os eventos de ZCOU nota-se a presença de distintas áreas compostas por convergência de massa e umidade, na região Sul do Brasil mostra-se a formação de umidade pela aproximação de um cavado na troposfera média no Pacífico. Na posição em 850 hPa o campo de linha de corrente aparece defasado com o campo de omega em 500 hPa, e neste segmento verifica-se a diferença central entre os eventos de ZCAS e ZCOU.

A definição deste sistema atmosférico perpassa os estudos de Pallota, Nakazato (2011) citados por Lima (2019), na qual apresentam as semelhanças decorrentes desta zona de convergência de umidade que se caracteriza por grande nebulosidade e precipitação que se assemelha às ZCAS. No entanto, o seu padrão de escoamento que potencializa a persistência desta banda de nebulosidade. A duração média de três dias e convergência em diferentes níveis da atmosfera conferem a ZCOU, um aspecto particular.

Segundo Lima (2019), a convergência de umidade acompanha o escoamento do JBN, a qual se desconfigura, devido aos movimentos da troposfera média, e resulta no enfraquecimento da ZCOU que, por não ocorrer uma orientação dos JBN, não se estabelece. Neste cenário, a ZCOU direciona-se ao sul do território brasileiro, não propiciando formação de nebulosidade. O autor também identificou a presença de cavados transientes na troposfera média, o que influi sobre a persistência da ZCOU e altera o escoamento do JBN.

1.3.9 Sistemas Frontais – SF

Compreendem uma faixa de transição entre duas massas de ar, na qual apresentam características distintas quanto à temperatura, pressão e umidade. São considerados por uma linha de instabilidade, na qual divide-se entre uma massa de ar quente (menos densa) e uma massa de ar frio (mais densa), sendo o limite entre elas denominado por superfície ou zona frontal.

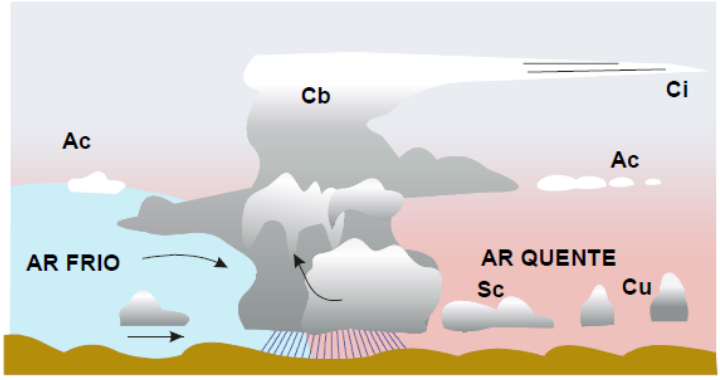
Esta superfície ou zona frontal apresenta alguns aspectos marcantes, como uma área de intenso gradiente de temperatura, umidade, vorticidade e movimento vertical em direção perpendicular à frente; um gradiente descontínuo de escala sinótica; um mínimo relativo de pressão, ou seja, uma baixa; e forte cisalhamento vertical e horizontal ao longo da frente conforme apresenta o CPTEC (1996).

Ao deslocar-se com seus aspectos dinâmicos distintos, as massas de ar resultam na formação de um sistema frontal, composto por uma frente fria (atua como motor do sistema), e uma frente quente (antecede). Esses sistemas são classificados de acordo com o movimento das massas de ar, e dividem-se em frente fria, frente quente, frente estacionária e frente oclusa.

1.3.9.1 Frente fria

É formada através da substituição do ar quente pelo ar frio, em determinado local da superfície. Ao deslocar-se, esta frente fria reduz as temperaturas e a umidade relativa; caracteriza-se pela forte estabilidade estática e cisalhamento vertical, além de mover-se mais rapidamente e apresentar um declive acentuado (Figura 12).

Figura 12 – Modelo de uma superfície frontal fria, com o conjunto de nuvens associadas



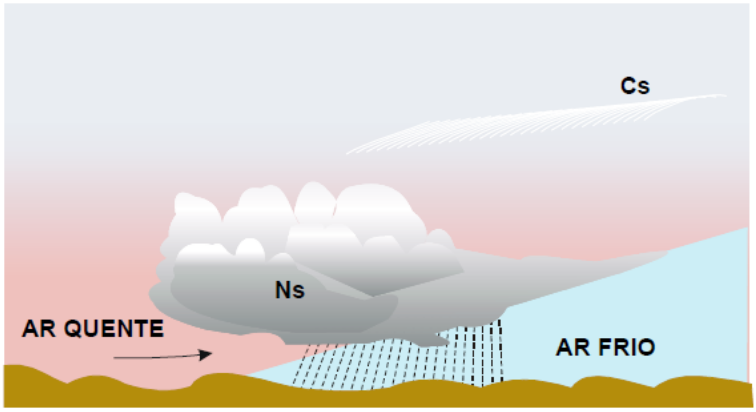
Fonte: Varejão-Silva (2006)

1.3.9.2 Frente quente

Forma-se quando o ar quente avança sobre o ar frio, estando associada à forte advecção quente em baixos níveis (Figura 13). Com a passagem da frente, a atmosfera fica mais clara e podendo resultar em nevoeiro, ocorrendo a substituição do ar frio, pelo ar quente.

De acordo com Lima (2019), esta frente move-se de forma mais lenta e apresenta um declive suave, produzindo um sistema de nuvens que se estendem entre 1500 Km à frente da superfície.

Figura 13 – Modelo de uma superfície frontal quente, com o conjunto de nuvens associadas

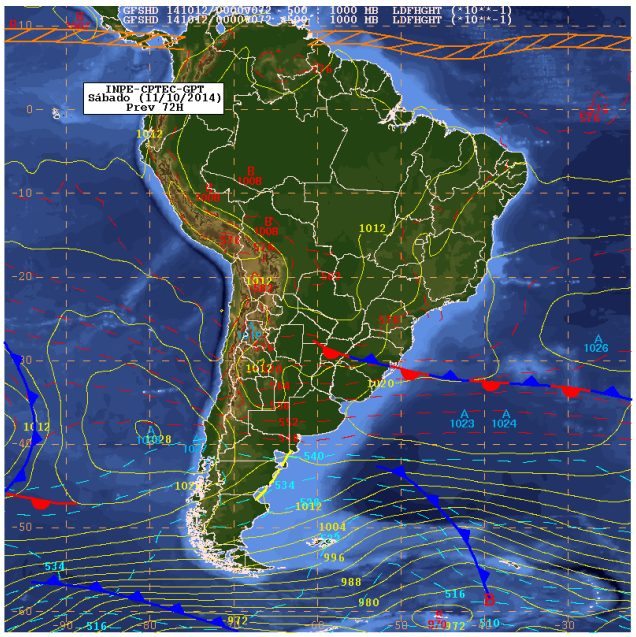


Fonte: Varejão-Silva (2006)

1.3.9.3 Frente estacionária

Caracteriza-se por uma massa de ar, tanto fria quanto quente que não se desloca ou movimenta-se de forma inexpressiva, formando entre elas uma frente estacionária. Constitui-se por uma fronteira na qual os ventos localizam-se, praticamente, paralelos, porém em direções opostas (Figura 14).

Figura 14 – Frente Estacionária sobre a região Sul do Brasil, 11/10/2014.
Frente Fria (azul), Frente Quente (vermelho)

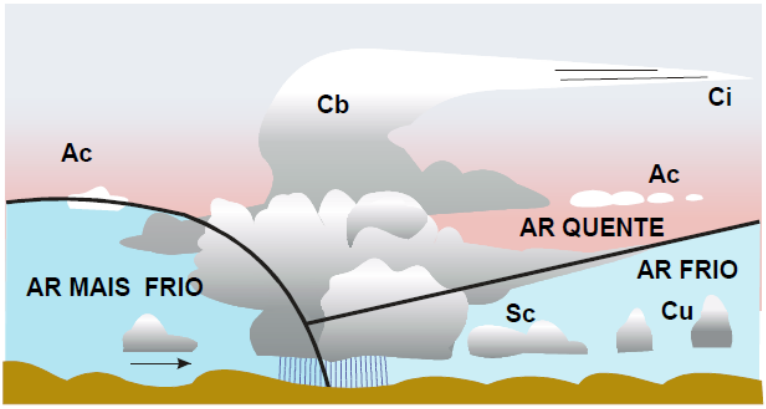


Fonte: CPTEC. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 dez. 2019.

1.3.9.4 Frente oclusa

É determinada a partir do movimento de passagem de uma frente fria que se move mais rapidamente, alcançando e ultrapassando à frente quente, no seu lado leste (equatorial) do ciclone, forçando o ar quente a subsidir (Figura 15). Através deste movimento Lima (2019) destaca que a frente fria propicia a oclusão, constituindo uma camada limite neste encontro entre as frentes, denominado frente oclusa.

Figura 15 – Modelo de frente oclusa do tipo fria



Fonte: Varejão-Silva (2006)

1.3.10 - Linha de Instabilidade – LI

As Linhas de Instabilidade (LI) são áreas de baixa pressão identificadas nas cartas sinóticas como depressões barométricas alongadas. Sua origem está associada ao movimento ondulatório dos sistemas frontais e intenso aquecimento diurno, sendo conhecidas na literatura mundial como *squall lines*. Elas desenvolvem-se de acordo com Cohen et al. (2009), predominantemente, na costa norte-nordeste da América do Sul, podendo estender-se ao interior do continente e promover valores significativos de precipitação. Sua convecção possui grande relevância nos trópicos, em decorrência da circulação global e extração de calor da camada limite planetária, que é distribuída na alta troposfera.

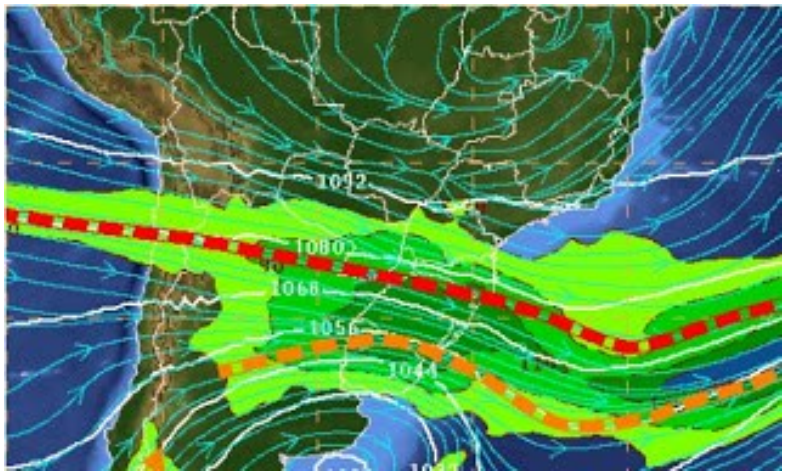
De acordo com Nimer (1979), as LIs constituem depressões barométricas, na qual apresentam linhas alongadas e conectadas em dorsais até o continente, podendo provocar chuvas intensas e localizadas associadas a formação de cummulonimbus (Cb), isolados ou alinhados. Sendo assim, conforme destaca Lima (2019), a convecção nos trópicos é proporcionada por correntes ascendentes de ar quente e úmido da camada limite planetária até os altos níveis, e as correntes descendentes conduzem o ar frio e seco, até a referida camada.

Ao analisar a climatologia da LI, os estudos de Cavalcanti (1982) *apud* Cohen *et al.* (2009) apresentam a ocorrência de uma variabilidade sobre a posição da LI em certa época do ano, tal como o seu desenvolvimento na costa que discorre do deslocamento sazonal da ZCIT. Este sistema, por sua vez, possui grande correlação com a intensificação das LIs. O deslocamento geral das LIs no Brasil é de oeste para leste, de forma geral à frente de uma onda frontal; muitas vezes estes sistemas ultrapassam a frente entre 100 Km a 300 Km anunciando a sua chegada com formações de cirrus (Ci) e altocumulus (Ac). No continente sul-americano ocorrem com maior frequência no verão e no interior da massa equatorial continental (mEc), este sistema desempenha um importante papel no regime pluvial das regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, ressalta-se que estes sistemas podem ser visualizados ao longo do ano, porém com maior frequência entre abril e agosto.

Partindo da caracterização da LI destacada por Cohen et al. (2009), nota-se que as LIs são mais frequentes em maio e apresenta menor frequência em janeiro. Dentre o quantitativo de casos e sua formação, verifica-se que em anos de *El Niño*, tendem a reduzir junto a costa e formam-se entre o litoral da Venezuela e no estado brasileiro do Amapá. Já em anos de *La Niña*, tende a ocorrer um aumento na frequência e com localização próxima ao litoral norte e nordeste do Brasil.

As LIs podem apresentar centenas de quilômetros de comprimento na direção transversal relacionados à sua propagação (Figura 16). Dessa forma, compõe-se de uma região convectiva e estratiforme (SILVA DIAS, 1987). Segundo Lima (2019), as LIs constituem sistemas difíceis de simular, ainda que haja sua interação com as características geográficas e transientes do tempo.

Figura 16 – Forte difluência no escoamento entre o oeste de SP e sul do RJ em 30 out 2010



Fonte: Imagem do CPTEC em carta sinótica de 250hPa das 18 UTC.CPTEC. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 dez. 2019.

1.3.11 Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM

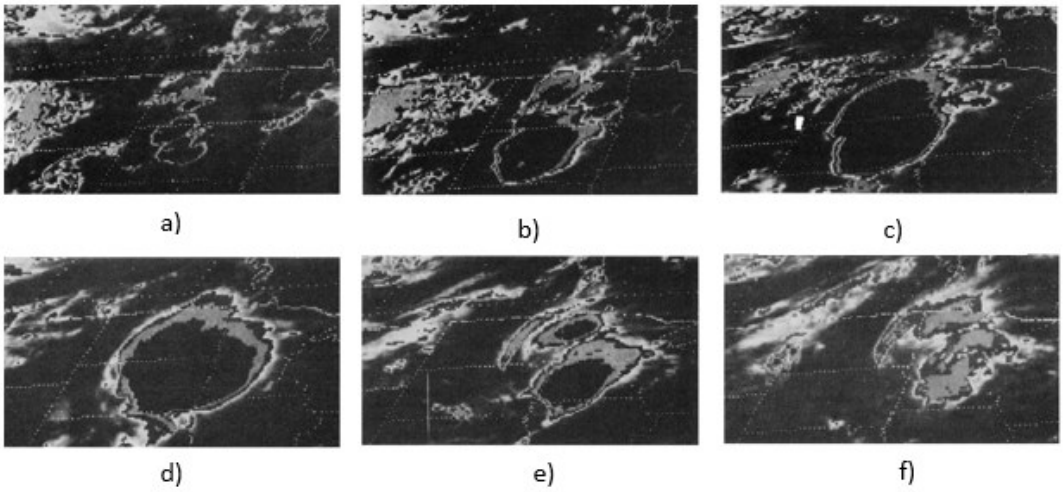
Podem ser definidos como um conjunto de sistemas convectivos que se apresentam em diferentes estágios do ciclo de vida distribuídos em escalas horizontais numa ordem de 2000 Km. Segundo os autores Silva Dias; Rozante; Machado (2009), o Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) apresenta grande relevância no que diz respeito à formação de precipitação nos trópicos, e algumas regiões de latitudes médias, ao longo da estação chuvosa. Compõem-se a este sistema as LI e os CCMs.

O estudo do CCM envolve um grande volume de informações e observações de dados e imagens de satélites pela qual é possível acompanhar seu comportamento e determinar suas características que perpassam por três estágios distintos, sendo eles: a gênese, a maturação (estágio maduro) e a dissipação.

Os estudos de Silva Dias; Rozante; Machado (2009) demonstram, a partir da Figura 17, os aspectos que demarcam cada estágio do CCM iniciando pela gênese que envolve o desenvolvimento de condições favoráveis à convecção com a formação das primeiras células,

ocorrendo entre o fim da tarde e início da noite (geralmente). Neste estágio as escalas locais, por meio da topografia e calor exercem grande influência. O estágio maduro, ocorre ao longo da madrugada e envolve a intensidade do JBN. Verifica-se a contínua formação de elementos de convecção por meio do influxo de baixos níveis, resultando em chuvas localizadas e com possibilidade de tempestades severas. Por fim, o estágio da dissipação é demarcado pela redução da umidade pela ausência no desenvolvimento de elementos de convecção, desde a interrupção de suprimentos do sistema, até a desaceleração do escoamento de norte, potencializando a sua dissipação por volta das 12:00 UTC.

Figura 17 – Estágios do ciclo de vida de um CCM[4]



Fonte: Maddox, 1980.

Os CCMs apresentam cobertura de nuvens com temperaturas inferiores a -32ºC numa área 100.000 Km², com formato circular que apresenta excentricidade maior que 0,7. O tempo de vida deste sistema pode apresentar-se superior a seis horas, a depender de seu tamanho. Vale ressaltar, a partir dos estudos de Silva Dias; Rozante; Machado (2009), que, ao longo deste ciclo, ele modifica-se e evolui em termos de tamanho, forma e tempo de vida. Tais fenômenos ocorrem na escala meso-α e são marcados por conjuntos de nuvens cúmulos-nimbos, na qual as bigornas constituem uma cobertura contínua, sendo visível em imagens de satélite.

[4] As figuras a) e b) mostram um aumento da radiação infravermelha, indicando a gênese e o desenvolvimento do CCM. As figuras c) e d) representam o estágio maduro do sistema. As figuras e) e f) mostram o estágio de dissipação.

1.3.12 Oscilação Sul – OS

Conforme apresenta Varejão-Silva (2006), a região Tropical apresenta grande influência da circulação meridional composta pela célula de Hadley e também pela célula de Walker, numa circulação zonal marcada pelo aquecimento diferencial entre os continentes e oceanos, especialmente, no Hemisfério Sul. Os campos de pressão atmosférica sobre extensas áreas, como nos oceanos, pode relacionar-se com a temperatura da superfície, um exemplo desta situação mostra-se por meio do aquecimento dos oceanos, na qual a temperatura se eleva e forma nesta região uma área de baixa pressão à superfície, potencializando a formação de movimentos verticais.

Tendo em vista os estudos de Varejão-Silva (2006), é possível identificar que a atmosfera estimula o oceano de diversas maneiras, e este último cede calor sensível e latente para atmosfera, que, menos densa, apresenta uma rápida reação sobre às condições térmicas atribuídas pelos oceanos. Este sistema releva a interação dinâmica entre oceano-atmosfera que interferem na variabilidade do clima em diversas escalas.

Sobre o Oceano Pacífico, com sua extensa dimensão, nota-se uma grande interação entre oceano-atmosfera que, segundo Varejão-Silva (2006), foi observada por Sir Gilbert Walker ao identificar a presença de duas áreas com distintos níveis médios de pressão do mar (PNM) e flutuações, sendo estas a Austrália e Polinésia e a porção central e leste do Pacífico tropical. O fenômeno Oscilação Sul (OS) foi atribuído devido as diferenças entre os registros nos níveis de PNM, que se mostram acima da média em uma área, e abaixo na outra, ou vice e versa.

Este fenômeno da OS é representado por um Índice de Oscilação Sul (IOS) que é definido pela diferença entre os desvios em relação à média das pressões registradas ao nível do mar nas estações de Tahiti e Darwin, conforme ilustrado na fórmula a seguir:

$$IOS = \frac{\overline{PT} - \overline{PD}}{\overline{\sigma}}$$

Sendo que: IOS = índice de oscilação sul, PT = média da pressão de Tahiti, PD = média da pressão de Darwin: e $\overline{\sigma}$ = média do desvio padrão de Tahiti e Darwin.

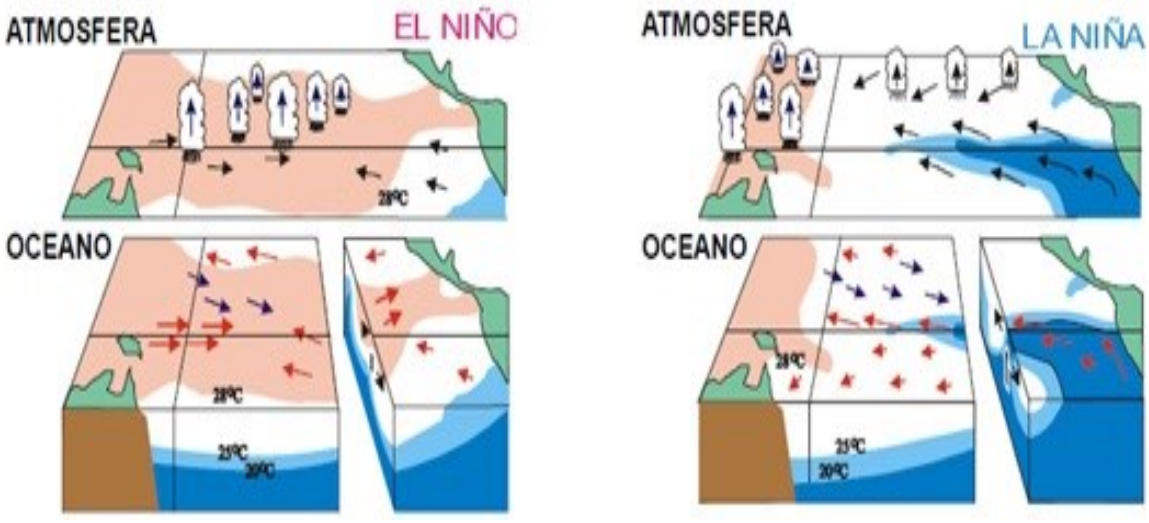
O IOS representa a intensidade dos fenômenos, estando demarcado por dois centros de ação, um positivo em Tahiti (pressão maior que a média climatológica) e negativo em Darwin (pressão inferior à média climatológica).

1.3.12.1 *El Niño e La Niña*

O fenômeno *El Niño-Oscilação Sul* (ENOS) compreende um sistema de característica oceânica-atmosférica marcada por alterações sobre os padrões da TSM e dos ventos alísios no Pacífico Equatorial (Figura 18). É caracterizado por IOS negativo ou fase quente do fenômeno, marcado pelo aquecimento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial, propiciado pela combinação entre o enfraquecimento dos ventos alísios nas porções leste e central do Pacífico Tropical. Dentre suas consequências pode-se citar tendo por base Sampaio (1999) a redução da termoclina e ressurgência sobre a costa da América do Sul (redução da disponibilidade de plâncton e interferência sobre a atividade pesqueira), alterações na circulação geral da atmosfera proporcionando prolongadas estiagens sobre a Amazônia e Nordeste brasileiro além de enchentes em outras regiões.

Quanto ao fenômeno *La Niña* (Figura 18), corresponde a fase fria da OS, quando o IOS é positivo. Neste cenário ocorre o resfriamento anômalo das águas do Pacífico Equatorial e relaciona-se com o fortalecimento dos ventos alísios que também alteram o comportamento da circulação geral da atmosfera com efeitos contrários aos do *El Niño* em diversas partes do planeta conforme destaca Sampaio (1999). Nesta fase positiva Varejão-Silva (2006) pontua que a PNM no Thaiti é maior que a média climatológica e os valores da TSM são menores, registrando águas frias e redução sobre os valores de precipitação em detrimento da forte subsidência no Pacífico tropical central e leste; já na porção tropical oeste da bacia do Pacífico a PNM é mais baixa, e favorece as atividades convectivas.

Figura 18 – Esquemas da fase El Niño (painel à esquerda) e La Ninã (painel à direita) do ENOS, mostrando a distribuição da nebulosidade e dos ventos (atmosfera) e das correntes e temperatura (oceano), na área tropical do Oceano Pacífico



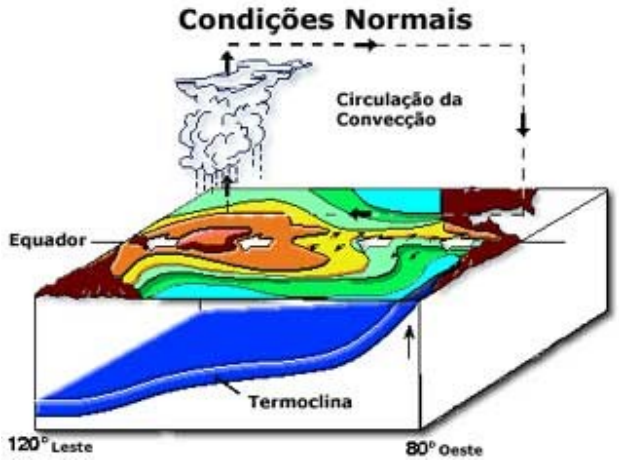
Fonte: Varejão-Silva, 2006.

Destaca-se nos estudos de Varejão-Silva (2006), a configuração de áreas de convecção mediante as fases da OS, nas quais, ao longo da fase quente, é observado que a ZCIT desloca-se ao sul em direção ao equador e a Zona de Convergência do Pacífico Sul, localizada a leste da Austrália, migra ainda mais ao leste, região composta por maior TSM. Ao longo da fase fria, com influência do fenômeno *La Niña*, ocorre um quadro oposto ao apresentado.

Além dos períodos com ocorrência dos fenômenos apresentados, também existe a ocorrência de períodos neutros, conforme destacado pelo CPTEC (2019). Os "Anos Neutros" referem-se aos períodos de tempo pelo qual não são registrados eventos climáticos, ou seja, não existe influência direta de fenômenos como *El Niño* e *La Niña*.

Em um cenário normal, sem a presença de *El Niño* ou *La Niña*, conforme apresentado na Figura 19, de acordo com o CPTEC (2019) é possível identificar movimentos ascendentes sobre a região do Pacífico Central em sua porção leste e movimentos descendentes no oeste da América do Sul, além dos ventos alísios próximos à superfície (leste para oeste, setas brancas) e em altos níveis da troposfera, ventos de oeste para leste (célula de Walker).

Figura 19 – Funcionamento da Célula de Walker em condições normais



Fonte: CPTEC/INPE. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>. Acesso em: 23 dez. 2019.

Por meio da Figura 19, é possível identificar sobre o Oceano Pacífico, uma região com águas mais quentes e frias (distribuídas nas cores avermelhadas e azuladas, respectivamente), demonstrando que a TSM é mais baixa no setor leste, próximo à costa oeste da América do Sul e elevada entre a porção central e oeste, próximo à Austrália e Indonésia. Verifica-se a partir de informações do CPTEC/INPE (2019) a formação, nas camadas sub-superficiais, de uma zona de transição entre as águas quentes e frias denominada por termoclina. Esta faixa apresenta uma

temperatura constante de 20ºC e um aprofundamento que varia entorno de 50 m, na porção oriental, até 200 m, porção ocidental da bacia.

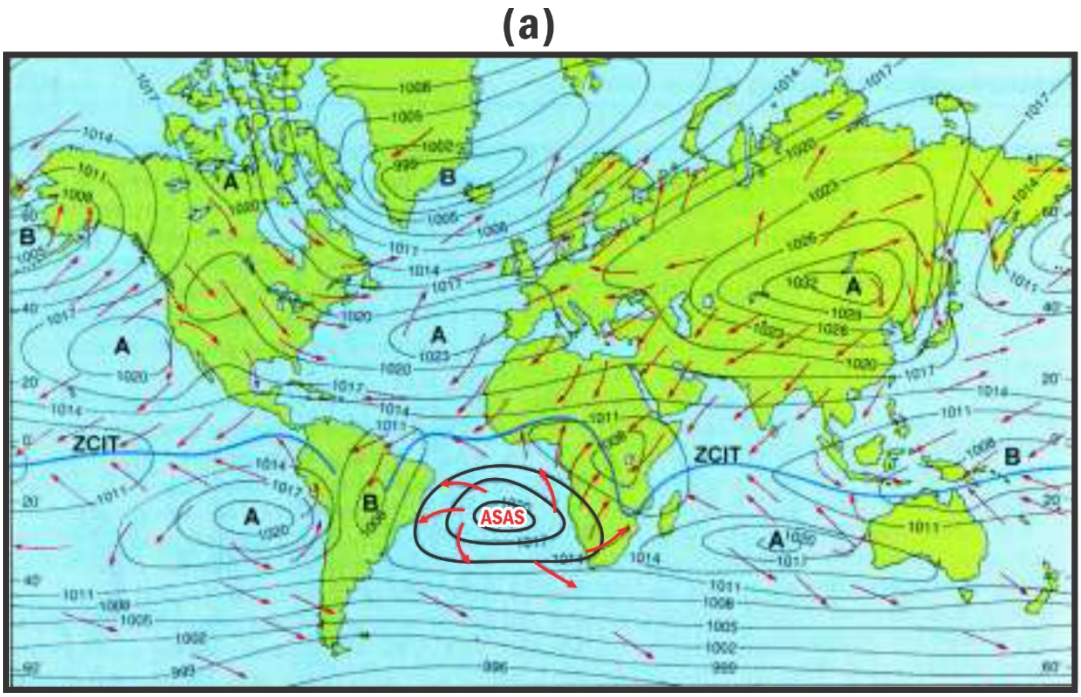
1.3.13 Anticiclones

Os anticiclones, também denominados por centros de alta pressão ou centros anticiclônicos, constituem-se de acordo com Ayoade (2015) por grandes sistemas meteorológicos marcados por uma massa de ar descendente que aquece a atmosfera e reduz a umidade relativa; com a ausência de movimento ascendente, necessário à formação de nuvens, não há formações de tempestades.

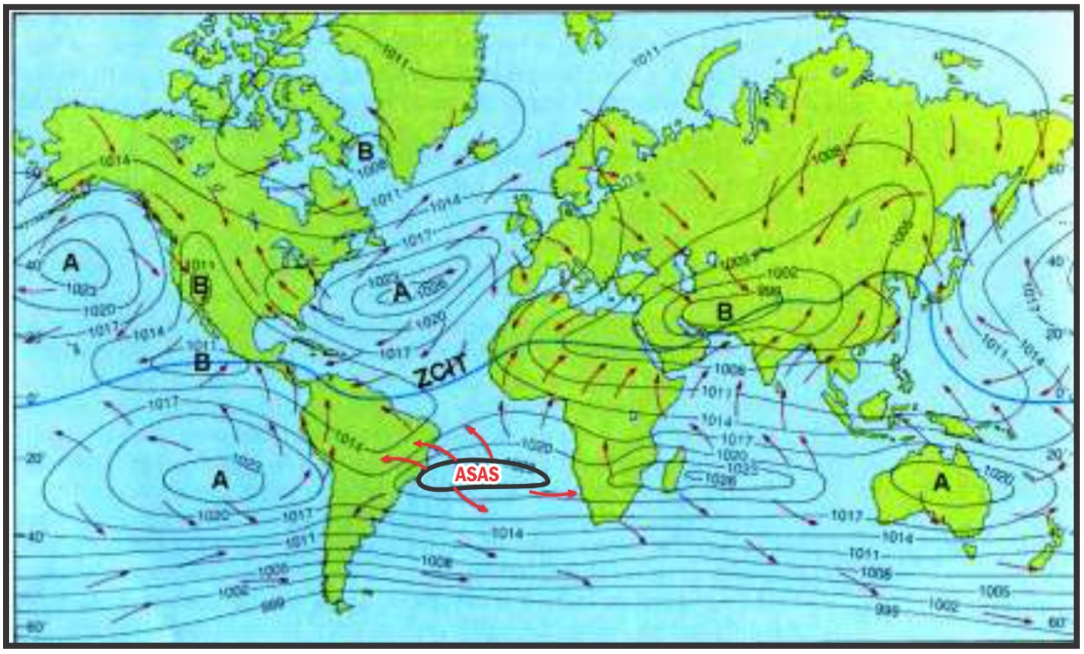
Estes mecanismos atmosféricos são identificados em cartas sinóticas com a presença de uma ou mais isóbaras fechadas, delimitando uma área de pressão maior sobre os demais pontos a sua volta. Por serem sistemas mais extenso que os ciclones, constituem-se como um bloqueio sobre a trajetória de baixas, podendo persistir numa região por pelo menos seis dias.

Estes centros de alta pressão localizam-se entorno de 30 graus de latitude sobre os Oceanos, conforme apresenta a figura 20. A associação deste sistema mostra-se, segundo Souza (2009), vinculada à circulação média meridional da célula de Hadley, e distribui-se entre o Hemisfério Norte (HN), com os anticiclones do Atlântico e Pacífico Norte, e no Hemisfério Sul (HS) os anticiclones do Atlântico Sul, Pacífico Sul e do sul do Oceano Índico.

Figura 20 – Localização dos anticiclones



(b)



Fonte: UFPR. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8>. Acesso em: 20 dez. 2019 Adaptado por Vieira (2020).

Os estudos sobre o posicionamento dos centros das altas subtropicais no Atlântico Norte e Sul realizados por Molion *et al.* (2004) observaram que ocorre uma variabilidade significativa sobre o deslocamento latitudinal e longitudinal destes centros em ambos os hemisférios, podendo estar relacionados com à Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), devido a presença de teleconexão entre o Oceano Pacífico e a configuração da TSM.

Segundo Nimer (1979) os anticiclones dividem-se em três tipos: os polares, os migratórios e os semipermanentes. Os polares são formados próximos aos polos na qual o ar próximo da superfície encontra-se muito frio e torna o ar mais denso, tornando a atmosfera estável e gerando movimentos descendentes de ar no centro do sistema. Estes anticiclones são mais intensos no inverno e quando atingem as menores latitudes se transformam em anticiclones migratórios, apresentando um curto ciclo de vida e com alternância nas condições do tempo por onde passam. Os anticiclones semipermanentes se deslocam ligeiramente ao longo do ano de acordo com a circulação zonal; eles podem ser divididos nos Hemisférios Sul, apresentando uma circulação anti-horária (anticiclone subtropical do Atlântico Sul, pacífico Sul e de Mascarenhas) e no Hemisfério Norte com circulação horária (anticiclone dos Açores e do Havaí). Ressalta-se que são observados próximos às latitudes de 30º em regiões oceânicas nas áreas de ar subsidente seco e quente, na qual, devido a intensa radiação solar tropical, apresenta altas temperaturas e elevada umidade sobre o oceano, no entanto, é incapaz de gerar precipitação significativa de chuva, por situar-se próximo a superfície marítima.

Ao analisar as características dos anticiclones, Musk (1988) verificou que eles apresentam subsidência em toda a troposfera, principalmente entre 1,5 e 6 Km de altitude. Este ar subsidente, que não desce diretamente até o chão, se forma por convergência horizontal na atmosfera superior. Neste sentido, o ar seco se forma em altos níveis, em decorrência de pouco vapor de água e subside numa taxa média de 1 Km por dia, apresentando as seguintes características:

- aquecimento dinâmico do ar por compressão durante o movimento de subsidência (dentro da taxa de variação adiabática seca - DALR, em inglês *Dry Adiabatic Lapse Rate* – se o ar não estiver saturado e em condições de céu claro);
- diminuição na umidade relativa do ar (a temperatura do ar aquece em 10ºC a cada Km durante a descida, mas a temperatura do ponto de orvalho do ar subsidente aquece somente 1,7ºC por Km durante a descida);
- aumento da estabilidade atmosférica, frequentemente acompanhado de uma inversão por subsidência em baixos níveis;
- condições de céu claro e sem nuvens.

A Figura 21 ilustra a estrutura de um anticiclone em uma seção transversal na qual observa-se que a subsidência ocorre até o nível da camada de inversão por subsidência, marcada por uma camada rasa abaixo da inversão que devido ao aquecimento da superfície poderia resultar em instabilidade, no entanto o ar é seco e a camada é muito rasa para produzir nebulosidade.

Figura 21 – Seção transversal de um anticiclone



Fonte: Musk, 1988. Adaptado por Vieira (2020)

Neste sentido, nota-se que a atuação dos anticiclones apresenta características sazonais distintas. Conforme os estudos de Musk (1988), no verão, as condições do tempo são marcadas

por ventos fracos e livre de nuvens, em sua maioria, e com a crescente temperatura ao longo do dia promovidas pela insolação. Já no inverno, as condições de céu claro e tempo estável favorecem a formação de neblina e geada. Nesta situação, a poluição atmosférica pode acumular-se sob a camada de inversão, reduzindo a mistura turbulenta normal do ar na troposfera.

O ar úmido sobre a superfície propicia a formação de uma camada de nuvens *stratus* ou *stratocumulus* abaixo da inversão, tais nuvens não se dispersam devido a fraca circulação e a perda de calor no topo das nuvens para o espaço, e, com este resfriamento, forma uma camada de inversão térmica com o ar quente e seco subsidente logo acima. Ressalta-se que esta característica pode persistir por um ou mais dias (MUSK, 1988).

1.3.13.1 - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul – ASAS

Constitui-se por um mecanismo de alta pressão atmosférica associado à Massa Tropical Atlântica, caracterizado de acordo com Nimer (1979) por apresentar elevadas temperaturas e umidade sobre o oceano. Apresenta-se como o elemento central deste estudo, na medida em que busca compreender sua climatologia e atuação ao longo da estação seca e chuvosa na área do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno.

Alguns pesquisadores destacam em seus estudos a relevância que o ASAS apresenta sobre a América do Sul, como nas pesquisas de Vianello e Maia (1986) nas quais consideram como determinante a atuação do ASAS sobre as condições de tempo na região, assim como nos estudos de Molion *et al.* (2004) que apontam o deslocamento longitudinal no centro do Anticiclone interfere no clima ao longo do ano.

Ao longo da estação chuvosa, segundo Nimer (1979), em decorrência do aquecimento continental e elevada umidade, a atmosfera encontra-se instável. Logo, o ar menos denso e aquecido ascende de forma fácil e transporta esta umidade em altitude, permitindo a formação de nuvens e resultando em grandes volumes de chuva. De acordo com o autor, neste período, o ASAS encontra-se reduzido ao Oceano Atlântico e no continente permanece um sistema de baixa pressão.

Vale ressaltar que, mesmo o centro do ASAS estando mais afastado do continente na estação chuvosa, existe a possibilidade de seu avanço sobre o Brasil Central, resultando na redução da precipitação e aumento das temperaturas. Este fenômeno é denominado por Cupolillo (2015) como veranico climático, ou seja, curtos períodos de estiagem ao longo da estação chuvosa, na qual apresenta duração média entre dez a vinte dias.

Na estação seca, a atuação do ASAS mostra-se persistente no interior da América do Sul, resultando em forte subsidência atmosférica reduzindo a umidade. Conforme os estudos de Vianello e Maia (1986), a atuação do ASAS é responsável por dias de céu limpo, com ausência de chuvas e agravamento da poluição atmosférica, uma vez que este sistema impede a entrada de frentes e causa a inversão térmica.

Dentre as consequências associadas à permanência do ASAS no território brasileiro autores como Nimer (1979); Vianello e Maia (1986); Molion et al (2004); Cupolillo (2015) entre outros pesquisadores a seguir apresentam resultados de estudos e trabalhos que envolvem análises sobre a dinâmica da atuação e espacialização deste mecanismo atmosférico. Vale ressaltar que estes resultados e análises fornecem subsídios essenciais para alcançar os objetivos deste trabalho, que permeia a compreensão de como a região do PERD e entorno são influenciadas pela presença do ASAS ao longo da estação seca e chuvosa.

As observações de Sette (2005) revelam que no Brasil Central a atuação do ASAS, segundo a autora denominado por Sistema Tropical Atlântico (STA) e Sistema Tropical Atlântico Continentalizado (TAC), é notável entre os meses de junho a setembro e sua presença resulta numa atmosfera quente, seca, estável, com ausência de nebulosidade e precipitação.

De acordo com Padilha, Reinke e Satyamurty (2004) alguns episódios extremos de baixa umidade relativa relacionam-se com o processo de continentalização do ASAS no Brasil Central, por meio da presença de uma massa de ar quente e seco estável. Para Ferreira *et. al.* (2006), o estabelecimento do ASAS e sua forte subsidência em níveis médios de 500 hPa, são um dos principais fatores responsáveis pela queda na umidade no Brasil Central.

Os autores Ito e Ambrizzi (2000) associam à posição do ASAS com os desvios de precipitação, destacando que a persistência de um anticiclone, em determinada região por vários dias, inibe a progressão de um sistema frontal e atua como um sistema de bloqueio, que reduz a precipitação e eleva os valores da temperatura.

Para Sant'Anna Neto (1990), a atuação do ASAS se distingue entre o oceano e o continente, uma vez que a Massa Tropical Atlântica apresenta valores elevados de umidade em superfície e pressões elevadas e constantes, a Massa Atlântica Continentalizada, que decorre do avanço da MTA sobre o continente mostra-se com temperaturas elevadas, baixa umidade relativa e pressões inferiores à anterior.

Verifica-se nos estudos de Barbieri (2005) que o regime pluviométrico do centro-sul do Brasil é influenciado pela intensidade do ASAS em decorrência de sua posição climatológica, uma vez que no início da estação chuvosa ocorre o enfraquecimento dos ventos de

leste/nordeste e intensificação do escoamento de noroeste, que é responsável pelo transporte de umidade da Amazônia para o Brasil Central.

Com relação a posição do ASAS direcionada ao NEB, Quadro *et al.* (1996), sinaliza que, no início do ano, os ventos de direção leste e nordeste atuam sobre o litoral nordestino, porém, com a circulação anticiclônica do ASAS sobre à costa, estes ventos passam à direção sudeste, potencializando o transporte de umidade marítima e demarcando a estação chuvosa nesta área. Segundo Reboita (2010), a posição do ASAS sobre o litoral do NEB torna-se imprescindível na determinação de precipitação sobre a região.

De acordo com os estudos de Barbosa (1999), a variabilidade anual das chuvas sobre o NEB apresenta-se vinculada à posição do ASAS. Tais estudos identificaram que em anos secos, o sistema atmosférico apresenta o seu centro inclinado ao norte. Já em anos que apresenta precipitação acima da média, o ASAS mostra-se posicionado a oeste, adentrando ao continente e localizando-se sobre o sudeste do território brasileiro.

Os estudos de Cupolillo (2015) destacam que sobre o estado de Minas Gerais, o anticiclone atua como um mecanismo de subsidência ao longo da estação seca, apresentando uma circulação continental que antecede ao sistema frontal. Logo após a passagem da Frente Polar Atlântica (FPA), a circulação predomina sobre o quadrante sul-leste, como consequência, a ação desta frente sobre o estado reduz as atividades convectivas na região. A atuação do ASAS e presença da Massa Polar Atlântica (MPA), que ocorre após a passagem dos sistemas frontais, sobre a região provoca a queda da temperatura e resulta em estabilidade atmosférica, tal como a ocorrência de estiagem sobre o estado.

Ainda de acordo com Cupolillo (2015), o ASAS posiciona-se sobre o oceano no verão, influenciando fortemente as atividades convectivas sobre o estado de Minas Gerais. Tais instabilidades estão relacionadas ao aquecimento do continente, pelo deslocamento aparente do Sol em direção ao HS, o que permite a ascensão de ar úmido.

Ao analisar a influência do ASAS sobre o comportamento climatológico dos parâmetros umidade relativa do ar e pressão atmosférica do município de Belo Horizonte em Minas Gerais, Franca (2009) verificou que este mecanismo apresenta correlação inversa entre os parâmetros climáticos investigados, atestando a relação entre a tendência de estiagem acometida sobre a região na estação seca.

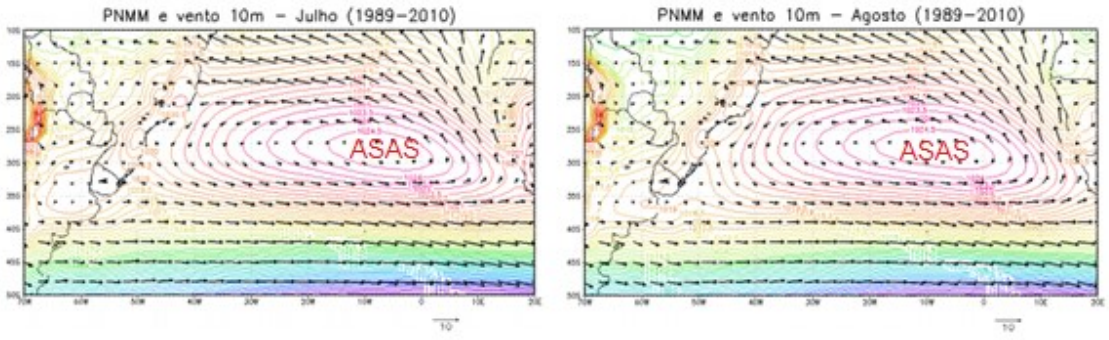
Com objetivo de caracterizar o ASAS e sua variabilidade, os estudos de Degola (2013) propuseram, a partir de investigações e pesquisas, identificar aspectos relacionados ao campo de pressão deste mecanismo, sua variação interanual, intensidade e posição climatológica. Tais

resultados, que serão apresentados a seguir, permitiram visualizar a posição deste sistema, sua intensidade e interação com outros sistemas atmosféricos.

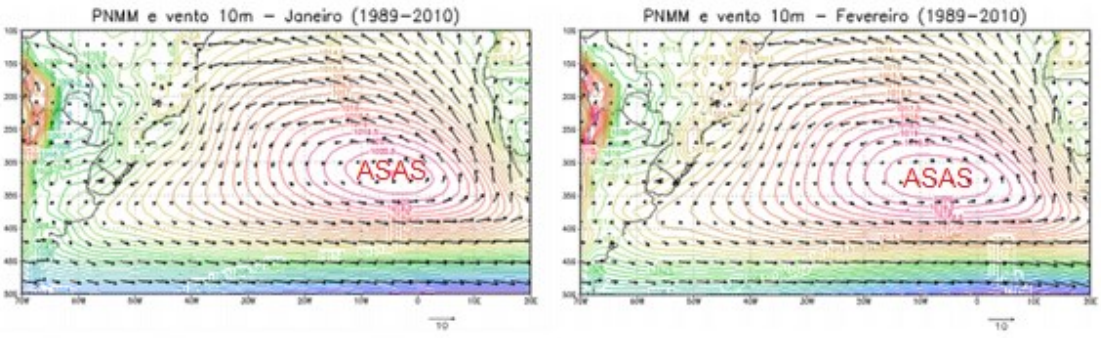
De acordo com Degola (2013), a pressão atmosférica do mecanismo atmosférico demonstra uma variação entre 1021 hPa, nos meses de dezembro a abril, e alcança o valor de 1026 hPa no mês de agosto. Tais características investigadas permitem concluir que o ASAS apresenta um comportamento similar aos sistemas frontais, em que se nota um deslocamento meridional à leste, após a passagem de uma frente fria.

Quanto à variação interanual, Degola (2013), calculou a climatologia de 22 anos (1989-2010) sobre as variáveis PNMM e vento a 10m com dados do ERAInterim do ECMWF[5], das quais identificou uma variação que perpassa tanto à posição quanto a intensidade do ASAS. Verifica-se na Figura 22 que o sistema mostra-se fortalecido entre os meses de julho a agosto, com valores médios de 1024 hPa. Entre os meses de janeiro e fevereiro, o anticiclone encontra-se enfraquecido e apresenta valores médios de 1020 hPa.

Figura 22 – Campos médios mensais para o período de 1989-2010. a) Período em que o ASAS se mostra fortalecido. (b) Período em que o ASAS está enfraquecido.



(a)



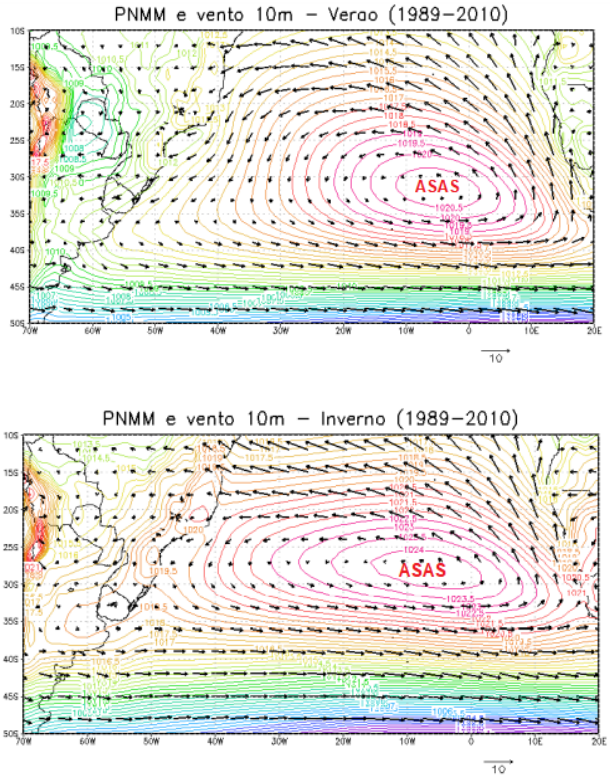
(b)

Fonte: Degola (2013) adaptado por Vieira (2020)

[5] Organizado pela empresa *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) o projeto ERA-Interim iniciou-se em 2006 com objetivo de desenvolver reanálises sobre os dados anteriores do ECMWF, compreendidos pelo ERA-40 (1957-2002). A nova geração dos dados ECMWF busca melhorar a qualidade sobre o processamento dos dados meteorológicos.

No que diz respeito à variação espacial do ASAS, Degola (2013) apresentou em seu estudo que, ao longo do ano, ocorre uma oscilação do sistema de alta pressão no sentido norte-sul que acompanha o movimento da ZCIT. Nota-se, na Figura 23 que o posicionamento do ASAS encontra-se mais ao norte no inverno sobre o HS, deslocando a ZCIT para o HN. No verão, identifica-se que ocorre o enfraquecimento do ASAS, deslocando-se ao sul e alcançando maiores latitudes.

Figura 23 – Campos médios sazonais para o período de 1989-2010. Posicionamento do ASAS no inverno (à esquerda) e posicionamento do ASAS no verão (à direita)



Fonte: Degola (2013) adaptado por Vieira (2020).

Segundo Satyamurty *et al.* (1998), a posição do ASAS ao longo do verão é menor, por apresentar-se distante da América do Sul. Sua intensidade também é reduzida em detrimento do desenvolvimento da ZCAS que juntamente aos padrões de grande escala, favorecem o transporte de umidade do Atlântico e da Amazônia. Já nos períodos entre junho e agosto, quando o centro do ASAS se aproxima do continente, propiciado pelo deslocamento da AB para a porção noroeste, são demarcados os períodos mais secos na porção central do Brasil e sul da Amazônia.

Em estudos sobre a posição climatológica do centro do ASAS, Molion *et al.* (2004) identificou que, no período entre 1948-1998, a posição do ASAS encontrou-se mais a oeste no mês de maio e a leste, em novembro. A amplitude desta variação anual registrada foi em cerca

de 4º, entre as latitudes 29º e 33ºS, com destaque para os meses de fevereiro, março e abril quando o centro do ASAS localizou-se mais a sul, e nos meses de junho, julho e agosto, disposto mais ao norte.

Ao avaliar o deslocamento do centro de alta pressão, Hastenrath (1985) concluiu que ocorre uma pequena variação do ASAS ao norte, apresentando-se entre 27º e 28ºS, acompanhado de sua extensão para o oeste, entre 12 e 14ºW, no período do inverno sobre o HS. De acordo com Ito e Ambrizzi (2000), a variação sazonal do ASAS é marcada por uma dupla oscilação longitudinal, mostrando-se mais a leste nos meses de outubro e abril, e se posicionado à oeste em julho/agosto e entre janeiro e março. Nos meses de inverno, a climatologia do ASAS registra um deslocamento longitudinal que se estende para oeste, com pequena variação latitudinal de sua posição média neste período, próximo à 28ºS.

Neste sentido, conforme apresentado em diversos estudos e análises que abordaram a influência que os anticiclones possuem sobre as condições do tempo e a configuração do clima no território brasileiro, especialmente o ASAS. É notável a relevância que este mecanismo atmosférico apresenta ao longo do ano, tanto na estação seca quanto chuvosa, e para tanto a compreensão sobre a variabilidade atmosférica

Foi possível identificar nos estudos apresentados relacionados a climatologia e variabilidade do ASAS, resultados significativos que permitem compreender a influência deste mecanismo sobre as condições do tempo e clima no Brasil. Vale ressaltar que a ação do anticiclone ocorre juntamente a outros sistemas atmosféricos e tais interações ocorrem de maneira distinta entre as estações seca e chuvosa, fato que possibilita uma análise sobre fenômenos e impactos sobre as atividades socioeconômicas.

Desta forma, os estudos investigados neste referencial teórico contribuíram na construção de uma base sólida relacionada às características do mecanismo atmosférico ASAS e sua climatologia, de forma que serão comparados aos resultados obtidos pelos dados do PERD e seu entorno, com o propósito de analisar a climatologia do anticiclone da área em estudo e sua influência.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização do Parque Estadual do Rio Doce – PERD

O estado de Minas Gerais situa-se na região sudeste do Brasil, entre os paralelos 14º13’57” e 22º55’47” de latitude Sul e entre os meridianos 39º51’24” e 51º02’56” de longitude Oeste. Abrange uma área de 582.586 Km² e está posicionado inteiramente sobre a zona intertropical. Com suas terras relativamente altas e relevo montanhoso variado, Minas Gerais apresenta grande diversidade no regime pluviométrico. Segundo Abreu (1998), predominam, no estado, climas do tipo Tropical, com temperaturas elevadas e existência de duas estações distintas: inverno seco e verão úmido. Associados a esses fatores, os efeitos da dinâmica climática, por meio da influência de sistemas meteorológicos de baixas e médias latitudes, resultam na grande diversidade climática sobre a região.

O Parque Estadual do Rio Doce – PERD (Figura 24), possui 35.973 ha e localiza-se no leste do estado de Minas Gerais, na porção central da bacia do Rio Doce, sob as coordenadas 19º42'00" Sul 42º30'36" Oeste. Esta área compreende aos municípios de Timóteo, Marliéria e Dionísio. Seus limites geográficos são o Rio Piracicaba, ao norte, e Rio Doce, a leste. O Parque é uma Unidade de Conservação (UC) criada em 14 de julho de 1994, por meio do Decreto-Lei nº1.119 (MINAS GERAIS, 1944), e constitui-se por um importante remanescente de Mata Atlântica do Estado sendo administrado pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF, desde 1962, conforme apresentado pelo Relatório PELD- site 4 (2002).

Figura 24 – Localização do Parque Estadual do Rio Doce – PERD



Fonte: Perônico (2009) adaptado por Vieira (2020)

Dentre os inúmeros projetos e pesquisas em escala local, regional e nacional que abrangem o PERD, vale destacar o *Programa Brasileiro de Pesquisas de Longa Duração* – PELD - que se constitui por uma integração entre pesquisadores e comunidade científica junto ao CNPq dividido em uma rede de sítios correspondentes aos principais ecossistemas brasileiros conforme apresenta os estudos de Lacerda Peixoto (2012).

Nesse sistema integrado de pesquisas, destacam-se os estudos relacionados ao complexo sistema lacustre da região que envolvem sua formação geológica e biodiversidade. Os sítios PELD são áreas de Pesquisa Ecológica no Brasil. Localizam-se nos mais diversos ecossistemas do país, incluindo espaços preservadas e não-preservadas, onde são realizados estudos dos mais diversos no tema da Ecologia, desde longas séries temporais de dados sobre os ecossistemas e suas biotas associadas, até pesquisas temáticas de menor duração. Atualmente, a rede PELD conta com 34 sítios de pesquisa distribuídos em diversos ecossistemas, dentre eles a área de estudo desse trabalho, o PERD.

2.2. Quadro natural do PERD

A necessidade do ser humano em compreender o meio natural, perpassa por uma profunda análise sobre a paisagem e seus elementos. Para Rodrigues e Silva (2012) um dos principais embasamentos filosóficos e científicos que auxiliam na percepção da paisagem como um conjunto integrado de componentes naturais (como as rochas, relevo, água, clima, vegetação e solo) num espaço concreto ou físico, remontam às pesquisas e investigações de Alexander Von Humbolt, realizadas entre o final do século XVIII e início do século XIX.

Neste sentido, rompe-se com a perspectiva tradicional e a paisagem passa a ser descrita numa "percepção visual da natureza pura ou transformada pelo homem" (CHRISTOFOLETTI *apud* Sobrinho, Jardim e Santos, 1982, p.). Logo, são envolvidas duas frentes, uma relacionada à paisagem natural e outra, à paisagem antropogênica, porém a primeira frente será priorizada por conta da natureza desse trabalho.

O estabelecimento da relação sociedade *versus* natureza insere uma nova abordagem de análise, na qual apresenta o ambiente como uma relação sistêmica e complexa. A definição de geossistema, apresentada por Bertrand (1971) citado por Amorim (2012) compreende a uma categoria concreta do espaço, na qual envolve a ação antrópica, a exploração biológica e o potencial ecológico sobre a área de estudo.

Logo, segundo Amorim; Oliveira (2007) a investigação, análise e compreensão geossistêmica permite relacionar os fenômenos ambientais aos diversos elementos que são

envolvidos nestes processos, além de permitir a redução de problemas enfrentados pela sociedade sobre o espaço natural.

Para tanto, ao investigar o quadro natural do PERD, é necessário compreender a complexidade inserida nesta área de estudo uma vez que, sobre este ambiente, interagem diversos fatores como a formação geológica e geomorfológica do relevo; os elementos climáticos e sistemas atmosféricos que atuam sobre a região; a dinâmica fluvial e os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos; as formações vegetais e diversidade de espécies da flora e fauna local; além das questões socioeconômicas, com envolvimento de políticas públicas, legislações e aspectos culturais.

2.2.1 Aspectos geológicos e geomorfológicos do PERD

Conforme apresenta Christofoletti (1980), citado por Casseti (2001), a geomorfologia compreende o estudo das formas de relevo e os processos dinâmicos que as envolvem. No estudo destas formas, leva-se em consideração as forças endógenas e exógenas que de maneira permanente, modificam e alteram as paisagens.

O estudo geomorfológico da bacia do Rio Doce é apresentado por Strauch (1954), citado por Cupolillo (2015), que assinala a presença de rochas proterozóicas inseridas em cunhas do éon arqueano; além de rochas graníticas (eruptivas) recentes, que sofreram metamorfismo e uniram-se às rochas proterozóicas e arqueozoicas.

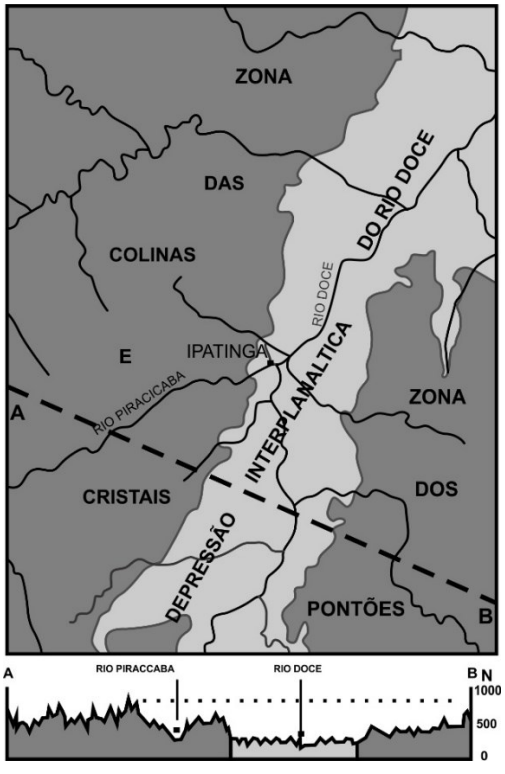
O trabalho desenvolvido por Saadi e Campos (2015) identificou, ao percorrer no sentido oeste para leste, sobre a bacia do Rio Doce cinco componentes geomorfo-estruturais que apresentam as relações entre as litoestruturas da região, associadas ao relevo e rede hidrográfica. No que se refere a área do PERD, nota-se que o substrato geológico é formado, principalmente, por granitos paleoproterozóicos do Complexo Piedade[6] e sua morfologia aplainada, com ligeira inclinação, apresenta-se como resultante de um abatimento tectônico cenozoico e atividades, erosivas e sedimentar, conduzidas pelas divagações do rio Doce, como a depressão que abriga os lagos do parque e que recebe a confluência dos rios Piracicaba e Doce.

[6] Complexo Piedade ou Complexo Mantiqueira compete à unidade que ocorre a oeste da Zona de Cisalhamento ou Descontinuidade de Abre Campo. Esta unidade do embasamento do Orógeno Araçuaí tem sido reconhecida como tal nos vários trabalhos que abordam a região em estudo. O termo Piedade foi adotado no mapa geológico da Folha Manhuaçu por decisão do SGB, embora os autores o considerem inadequado para a unidade em causa. (SOARES, Antônio Carlos Pedrosa et al. Geologia da folha Manhuaçu SF. 23-XB-III. 2007).

É possível reconhecer, sobre a região do Médio Rio Doce, nos estudos de Mello (1997) quatro conjuntos litológicos no sentido NNE-SSW, sendo eles: Complexo Juiz de Fora; Grupo Dom Silvério; Complexo Mantiqueira e Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo. O PERD, localiza-se nos conjuntos Mantiqueira e São Sebastião do Soberbo, caracterizando-se com estrutura geológica marcada por rochas que apresentam uma infiltração eficiente, como dos tipos metamórficas que são constituídas de ortognaisses granítico-tonalíticos, apresentando granulometria fina e média (conjunto Mantiqueira); e rochas do tipo metassedimentares, rochas calcissilicáticas, muscovita quartzitos e muscovita quarto xisto, conjunto São Sebastião do Soberdo.

A geologia da região do médio Rio Doce é parte integrante do Cinturão Móvel Costeiro, marcada por terrenos arqueanos, "retalhados" por eventos proterozóicos, conforme apresenta Klumb-Oliveira & Noce (1999) *apud* Vasconcelos e Saadi (2003). De acordo com os estudos de Vasconcelos (2002), o relevo organiza-se em três compartimentos de lineamento NNE-SSW (Figura 25), sendo estes dois planaltos que se figuram às margens em Zonas de Colinas e Cristas (porção oeste) e Zona dos Pontões (porção leste), com variação de altitudes entre 400 e 900 metros, e entre 400 e 700 metros. A parte central é composta pela Depressão Interplanáltica do Rio Doce, marcada por colinas suaves com altitude de 300 metros e no leito do Rio Doce uma cota equivalente a 200 metros.

Figura 25 – Perfil geomorfológico regional do médio Rio Doce



Fonte: adaptado de Vasconcelos; Saadi (2003)

O PERD insere-se na área fisiográfica designada por Depressão Interplanáltica do Médio Vale do Rio Doce, caracterizada por apresentar foliações entre unidades litológicas como gnaisses, migmatitos, granitos e granodioritos. Este compartimento regional configura um corredor rebaixado entre 500 a 700 metros sobre os planaltos dispostos ao seu entorno; tal formação foi denominada de rifte do Rio Doce por Barbosa & Kohler (1981) apud Vasconcelos e Saadi (2003).

De acordo com Ross (1996) a região leste de Minas Gerais é composta por formações planálticas e serras do Atlântico Leste Sudeste, de acordo com o projeto RADAMBRASIL[7], o relevo abrange uma paisagem montanhosa com sua formação originada por dobramentos e acompanhados de metamorfismo regionais, falhamento e intrusões que resultaram em rochas metamórficas e posteriormente às intrusivas, como granitos.

Quanto às unidades de relevo que compõem a área do PERD, verifica-se por meio do Plano de Manejo do Instituto Estadual de Floresta (IEF/MG, 2019) que as formações compostas por planícies e colinas destacam-se sendo estas originadas por dissecação fluvial e forma convexa, além da presença de cristas com vales encaixados. Sobre a região leste do estado de Minas Gerais, conforme destaca Neto (2012), é possível identificar afloramentos rochosos e a formação de pontões que se mostram relacionados às falhas e fraturas que são característicos deste relevo; além de apresentar formas arredondadas e cristas que caracterizam o domínio morfoclimático Mares de Morros (Figura 26), que permite o escoamento pluvial e recarga dos aquíferos situados nesta depressão Interplanáltica.

[7] RADAMBRASIL: corresponde a um projeto do governo brasileiro criado na década de 70 para a pesquisa de recursos naturais, sendo organizado pelo Ministério de Minas e Energia através do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM. Foi desenvolvido por meio do uso do radar de visada lateral (SLAR - *side-looking airborne radar*) e representou um avanço tecnológico, pois, sendo um sensor ativo, a imagem podia ser obtida tanto durante o dia quanto à noite e em condições de nebulosidade, devido às microondas penetrarem na maioria das nuvens. Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Sensoriamento-Remoto-e-Geofisica/RADAM-D628.html>. Acesso em: 20 ago. 2019

Figura 26 – Fotografia, no domínio Mares de Morros, retirada do Mirante Jacroá em Marliéria

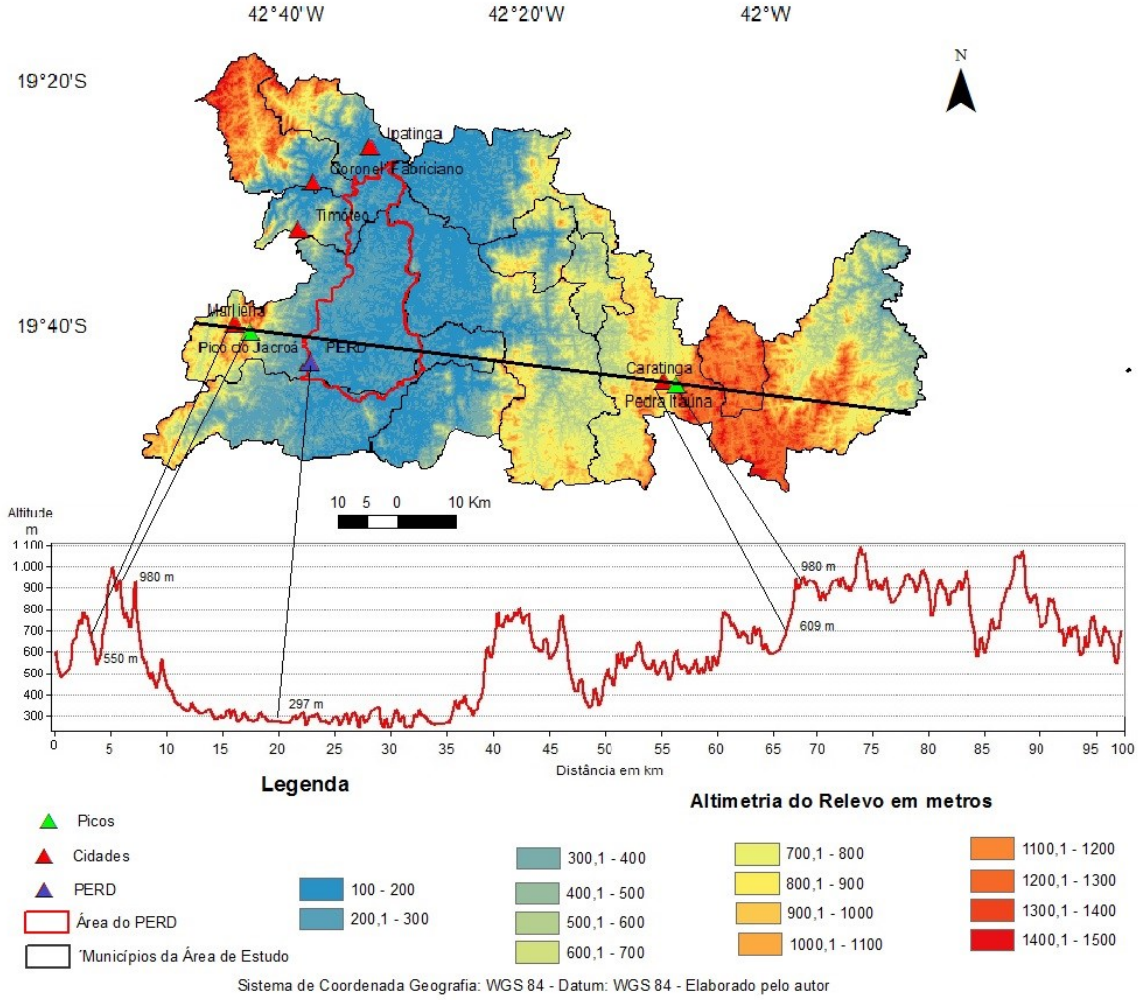


Fonte: Perfil do Mirante Jacroá no Facebook. Disponível em: <https://www.facebook.com/mirantedojacroa/>. Acesso 20 jan. 2020.

Os domínios morfoclimáticos foram identificados pelo geógrafo Aziz Nacib Ab'Saber 1960, que os compreende por áreas delimitados espacialmente devido às condições climáticas, feições do relevo, formações vegetais, processos morfogenéticos e formações superficiais que se influenciam mutuamente. Entre estes domínios, o Mares de Morros de acordo com Ab'Saber (2003) abrange a área em estudo e caracteriza-se por apresentar uma forma convexa, do tipo mamelonar, então, trata-se de uma formação geológica antiga, e, portanto, muito desgastada pelos agentes naturais, podendo ser identificada na paisagem, por feições com pequenos morros no formato de "meias laranjas".

De acordo com CETEC (2001), o relevo correspondente a área do PERD compreende a 21% do relevo plano, 39% ondulado a montanhoso e 34% fortemente ondulado e montanhoso. A Figura 27 representa a localização das estações meteorológicas em um mapa de relevo e um corte transversal para ilustrar o perfil entre os pontos mais elevados da região em estudo.

Figura 27 – Mapa de perfil do relevo da região e entorno do PERD



Fonte: Imagem SRTM adaptado de LIMA (2019)

Verifica-se na Figura 27, um recorte do perfil do relevo no sentido oeste/leste na qual demonstra que a região é composta por Planaltos Dissecados do Rio Piracicaba/Santo Antônio e abrangem a porção oeste, nos municípios de Coronel Fabriciano, Ipatinga e Marliéria com as maiores altitudes. Na parte central, onde localiza-se o PERD, a altitude é inferior a 200 metros na Depressão do Rio Doce e no Leste, destacam-se as Serras da Zona da Mata onde localizam-se altitudes superiores a 1000 metros no município de Caratinga.

Nimer (1979) salienta que o relevo nesta região se destaca por apresentar grandes contrastes morfológicos, sendo marcado por elevadas superfícies cristalinas e sedimentares, numa variação entre 230 e 1200 metros (área do parque e seu entorno). Para Ayoade (2015), as formações de relevo tornam-se fundamentais para atenuar as temperaturas, na medida em que se reduz com a elevação da altitude (0,6ºC por 100m); além de permitir a distorção da uniformidade térmica dos trópicos, por meio de suas variadas formas e altitudes.

2.2.2 Pedologia

Tão relevante quanto identificar as formações vegetais e a fauna que se desenvolvem na área em estudo, também se faz necessário compreender qual a composição dos solos que estão inseridos na área do PERD, assim como as formas de uso e ocupação deste importante recurso natural, que apresenta uma importante função no conjunto do quadro natural em estudo.

Nota-se, de acordo com os estudos de Antunes (2018) e Garcia (2010) que a área do PERD apresenta três tipos principais de solos, sendo eles os *latossolos*, *cambissolos* e *argissolos*. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (2013), os *latossolos* apresentam um estágio avançado de intemperismo apresentando boa drenagem, permeabilidade e porosidade, o que favorece o processo de absorção de água para reabastecimento de canais subterrâneos.

Os solos do tipo *latossolos*, identificados na área em estudo apresentam, de acordo com Antunes (2018), uma condição de permeabilidade interna favorável à infiltração de água em aquíferos subterrâneos. Quanto as áreas mais elevadas, como morros e montanhas demarcados por formação ondulada, os latossolos mostram-se mais suscetíveis à erosão, com a ação intensa de agentes exógenos.

Quanto aos *cambissolos*, verifica-se que sua formação se baseia em material mineral associado ao horizonte B, camada do solo composta essencialmente por mineral, e apresenta uma diversidade quanto aos seus componentes, uma vez que sofre a interferência direta do relevo e condições climáticas, segundo Antunes (2018).

Os argissolos, de acordo com Garcia (2010), ocorrem em formações onduladas e montanhosas caracterizando-se por apresentar um horizonte B textural, com argila de atividade baixa e contribuição de material orgânico. Os argissolos destacam-se pela presença de um horizonte A, forte e suscetível à erosão, favorecendo a absorção da água que abastece os rios na região do PERD.

De acordo com os estudos de Resende *et al.* (2002), os solos na porção média do Rio Doce caracterizam-se por apresentar um horizonte C profundo e pouco coeso, da qual contrasta com um horizonte B argiloso e pouco espesso; logo, é possível identificar que a composição do relevo na região é acidentada.

O *Relatório PELD* (2000) releva que os tipos de solos que compõe a região em estudo perpassam aos *latossolos* vermelho-amarelos álicos ou distróficos, estando estes associados a cambissolos e caracterizado por apresentar um horizonte C muito profundo e composto por silte.

Neste sentido, verifica-se que em decorrência das atividades antrópicas desenvolvidas na região e das condições climáticas e composição do relevo já apresentadas neste trabalho, coexistem grandes desafios relacionados aos intensos processos de erosão na região, seja em decorrência do desmatamento ou mesmo de práticas de manejo inadequadas nas áreas agrícolas, o que pode acarretar na aceleração do processo de degradação dos solos na região do PERD.

2.2.3 Aspectos climáticos do PERD

O conhecimento sobre as condições climáticas de uma região torna-se imprescindível para o desenvolvimento de uma sociedade, uma vez que o clima de determinada região impacta diretamente no ambiente e sobre as atividades desenvolvidas no cotidiano.

Sendo assim, é necessário compreender que o clima é caracterizado mediante diversos fatores, conforme salienta Lucas (2007), que perpassam a circulação geral da atmosfera e influências de sistemas atmosféricos. Os fatores podem ser de origem estática (posição geográfica e topografia) ou de origem dinâmica, sendo que a interação entre estes que definem as características climáticas de determinada região.

Diversos estudiosos da ciência climática buscam desenvolver esquemas de classificação que possam abranger o máximo de parâmetros meteorológicos e climáticos, no intuito de definir os tipos de climas do planeta, tendo em vista a preocupação sobre este e sua dinâmica.

Dentre as classificações realizadas, o sistema de classificação climática mais abrangente foi elaborado por Wladimir Köppen, em 1900, sendo aperfeiçoado ao longo dos anos. Esta classificação de acordo com Sá Júnior (2009) leva em consideração as características da vegetação, temperatura, chuvas e aspectos sazonais; consiste na divisão climática mundial em cinco grandes grupos e onze tipos principais, de forma que possibilita à compreensão das configurações climáticas do planeta.

De acordo com Nimer (1972), a região sudeste apresenta uma topografia acidentada e vasto litoral, que associados às variações de latitude e longitude resultam em considerável diversidade climática. A classificação climática apresentada por Nimer (Quadro 2) envolve os critérios adotados por Köppen, relacionado à temperatura; os critérios de Gaussen e Bagnouls (1953), na determinação dos meses secos. Além da utilização do critério livre. Desta forma, foram determinados quatro domínios climáticos distintos, conforme apresentados a seguir.

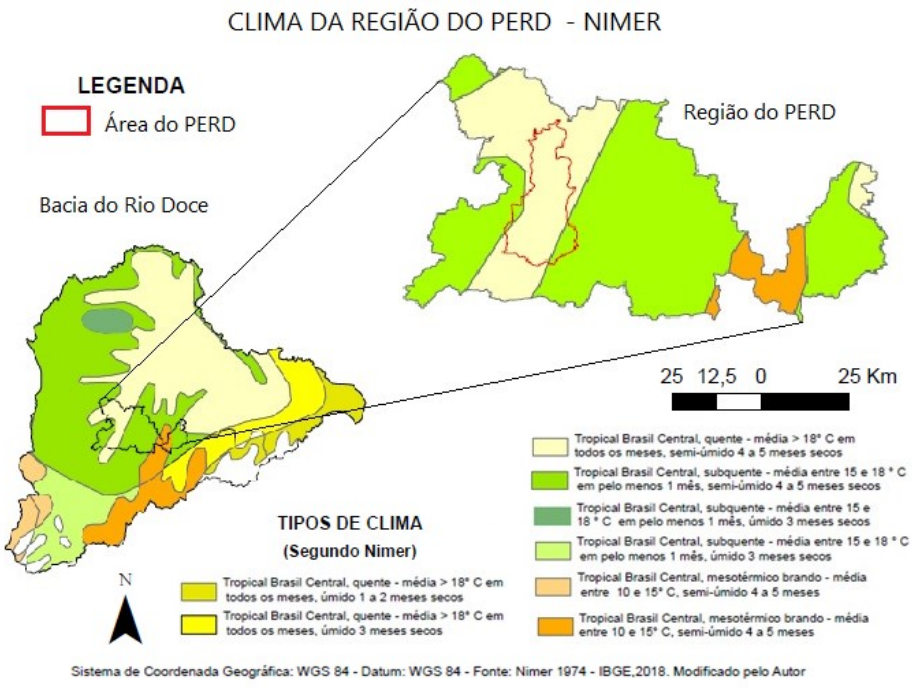
Quadro 2 – Quadro climático da região Sudeste elaborado por Nimer

DOMÍNIO CLIMÁTICO	SUBDOMÍNIOS CLIMÁTICOS	VARIEDADES CLIMÁTICAS	TIPO
Quente	Superúmido	Sem seca Com subseca	Tropical
	Úmido	De 1 a 2 meses secos De 3 meses secos	
	Semi-úmido	De 4 a 5 meses secos	
	Semi-árido brando	De 6 meses secos	
Subquente	Superúmido	Sem seca Com subseca	Tropical
	Úmido	De 1 a 2 meses secos De 3 meses secos	
	Semi-úmido	De 4 a 5 meses secos	
Mesotérmico brando	Superúmido	Com seca Com subseca	Tropical
	Úmido	De 1 a 2 meses secos De 3 meses secos	
	Semi-úmido	De 4 a 5 meses secos	
Mesotérmico médio	Superúmido	Sem seca Com subseca	Tropical
	Úmido	De 1 a 2 meses secos	

Fonte: Nimer (1972) adaptado por Vieira (2020)

O mapa a seguir (Figura 28), representa a classificação de Nimer adaptada por Lima (2019) e Vieira (2019), na qual destaca-se os tipos climáticos que abrangem a região da bacia do Rio Doce e do PERD.

Figura 28 – Clima na região do PERD



Fonte: Nimer (1974) adaptado por Lima (2019) e Vieira (2020)

A análise da figura 28 permite identificar a predominância do clima Tropical, na região do PERD, com características entre quente e subquente, que apresentam médias de temperatura entre 15º e 18ºC, com a presença entre 4 e 5 meses secos, configurando o aspecto semiúmido desta região.

Ao longo da estação chuvosa ocorre o aumento da temperatura do ar e da atividade convectiva. Os sistemas atmosféricos deslocam-se à porção sul e favorecem os movimentos ascendentes na atmosfera. Devido a intensificação dos ventos alísios do Nordeste, amplia-se o transporte de umidade para a Amazônia. Conforme destaca Reboita *et. al,* (2015), parte desta umidade retorna para a região por intermédio dos JBN, assim como também recebe umidade advinda da atuação do ASAS, que se encontra deslocado para leste e favorece o transporte de umidade para o continente.

Segundo Cupolillo (2015), a região apresenta, nesta época do ano, a presença de instabilidades de larga escala que favorecem a ascendência de ar úmido e resulta em intensa precipitação. Alguns pesquisadores relacionam tais instabilidades ao fenômeno da AB que se caracteriza por intensa atividade convectiva e precipitação no verão sobre a região tropical, além do *Cavado do Nordeste* (CN) que se situa próximo à costa do Nordeste do Brasil (NEB).

A umidade transportada por estes sistemas e outros fatores meteorológicos contribuem de acordo com Reboita *et al.,* (2015) para a formação da ZCAS (*Zona de Convergência da América do Sul)* composta por uma banda de nebulosidade que se estende da Amazônia até chegar ao oceano Atlântico Sudoeste, à qual ocasiona em grande volume de chuva sobre a área em estudo.

Ao longo da estação seca, em detrimento do grande volume de energia solar absorvida no decorrer do ano, a estação apresenta um aspecto ameno, conforme descrito por Cupolillo (2015). Os sistemas atmosféricos deslocam-se ao norte e enfraquecem as atividades convectivas e sobre a região (PERD) atuam as frentes frias e o ASAS (*Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul*) que neste período surge após a passagem da frente (Frente Polar Atlântica) e atua com uma circulação continental subsidente, que junto à presença da mPa (massa Polar atlântica), resultam na queda das temperaturas do ar e num inverno seco.

A intensificação do ASAS, com sua expansão à oeste, posicionado sobre a região, inibe os movimentos ascendentes na atmosfera e propagação de sistemas frontais, resultando em condições de céu claro e redução da precipitação conforme destaca Reboita *et. al*, (2015).

Portanto, reconhecer a composição geológica e geomorfológica do PERD contribui para compreender a atuação de mecanismos e sistemas atmosféricos como o ASAS, tal como analisar o seu comportamento e sazonalidade. Estes resultados reforçam a importância de

estabelecer a dinâmica entre os elementos dinâmicos e estáticos que se desenvolvem na região em estudo.

2.2.4 Formações vegetais e fauna do PERD

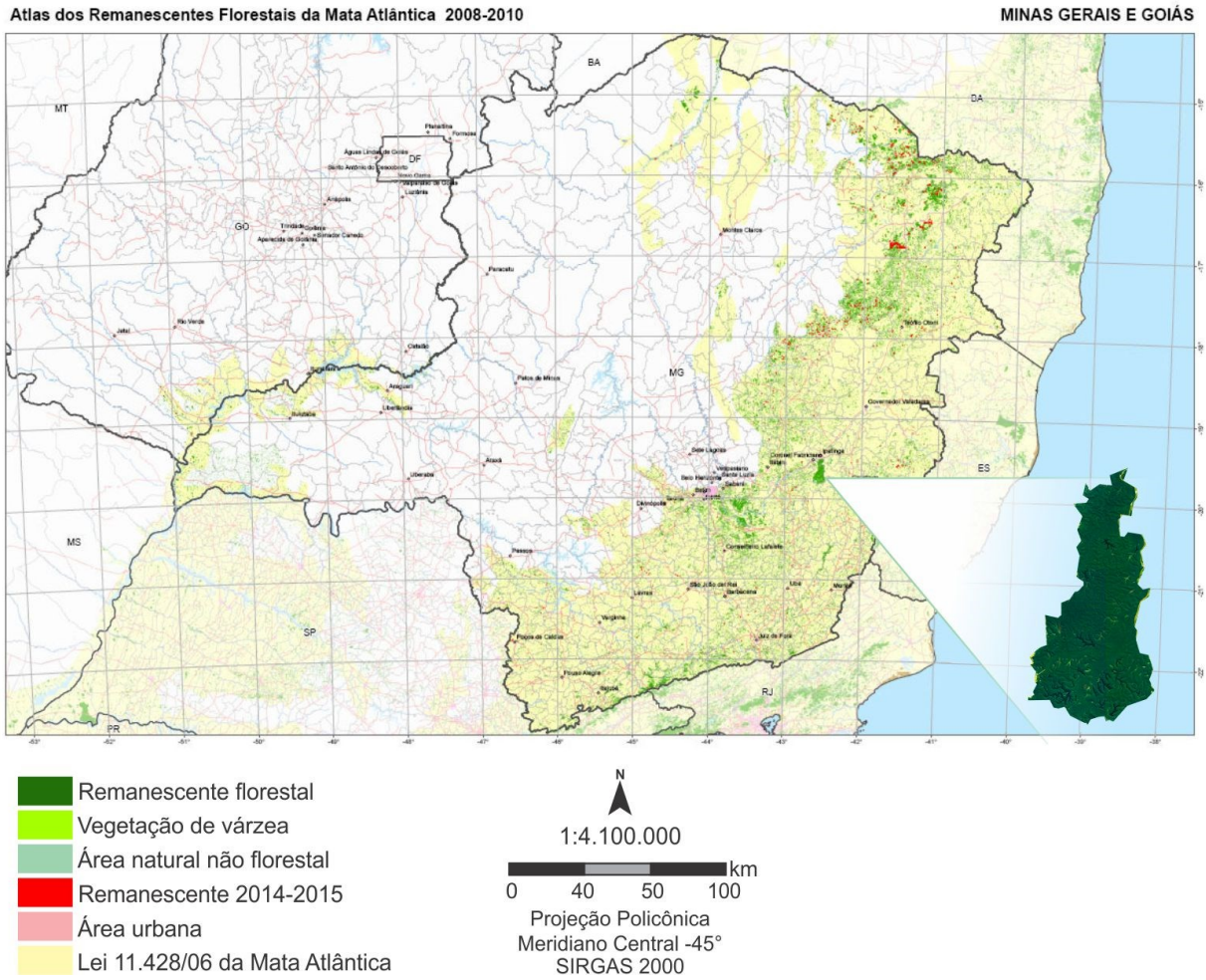
As florestas tropicais são caracterizadas por apresentarem grande diversidade de formas de vida, na qual são fundamentais para a constituição e manutenção de complexas comunidades de plantas e suas variadas espécies. De acordo com Soares (2006), as florestas tropicais são compostas por estratos, verticais, na qual integram parâmetros bióticos (plantas, biomassa, área foliar, e etc.) e abióticos (temperatura, insolação, velocidade do vento, e etc.) e possuem a capacidade de apresentar variados habitats, que garantem a diversidade biológica.

A diversidade biológica abrange à presença de uma dinâmica cobertura vegetal, capaz de desenvolver processos sucessionais entre as espécies e a biomassa, nos quais, conforme Soares (2006), envolvem diferentes estágios e trocas entre todos os elementos.

A cobertura vegetal identificada no leste de Minas Gerais é composta, segundo Jordy Filho (1987) *apud* Soares (2006), por Floresta Semidecidual, também conhecida por *Floresta Tropical Subcadicifolia*. Identifica-se que esta formação vegetal está associada à presença de duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa e outra seca, e destaca-se no PERD, como o maior remanescente no estado.

Com uma extensão de aproximadamente 36 hectares, o PERD possui uma área remanescente de Mata Atlântica de suma relevância na Região Sudeste, sendo constituída por florestas secundárias e alguns trechos de floresta primária que formam um mosaico diversificado. De acordo com pesquisas e estudos apontados pelo *Plano de Manejo do PERD* elaborados pelo IEF/MG (2019), alguns fatores ambientais como a disponibilidade de água e fertilidade do solo são muito relevantes no estudo e análise desta área, além de sua manutenção e preservação conforme apresentado na Figura 29, que demonstra um mapeamento das áreas remanescentes em 2015 pela *Fundação SOS Mata Atlântica*.

Figura 29 – Remanescentes da Mata Atlântica 2015



Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica adaptado por Vieira (2020).

Tendo em vista a cobertura vegetal original, verifica-se nos estudos e investigações do Relatório PELD (2002 e 2007) que existem fragmentos vegetacionais menores e isolados sobre a área de estudo. Nota-se, por meio dos relatórios, que grande parte da formação vegetal original foi degradada por atividades antrópicas, relacionadas ao crescimento urbano e atividades econômicas como na indústria de madeira e celulose, as siderúrgicas, agropecuária e silvicultura, que juntas constituem-se como os maiores desafios para a manutenção e preservação das formações vegetais nativas, inibindo o seu crescimento.

De acordo com os estudos de Silva; Viana; Mota (2001), o PERD destaca-se por ser um relevante remanescente da Mata Atlântica e apresentar um conjunto variado de espécies que perpassam desde a mata alta primária constituída por árvores de grande porte; perpassando por matas médias e baixas com a presença do solo exposto; campo sujo; samambaias; taboal e campo marcado por vegetação aquática variada.

Alguns dos resultados que constam no *Relatório PELD* realizados por Tabarelli *et al.* (2013), referentes a edição especial de dez anos do programa, revelam um alto nível de diversidade genética de espécies vegetais no PERD, o que afirma a relevância de sua conservação. Foram identificadas seis áreas compostas por comunidades arbóreas, totalizando 61 famílias, 195 gêneros e 373 espécies.

Ao apresentar uma vegetação diversificada em espécies, o PERD também comporta uma extensa fauna. Conforme aponta o *Plano de Manejo* descrito por Tabarelli *et al.* (2013), a fauna apresenta uma elevada diversidade biológica em seu interior; com destaque para os primatas que se mostram com sete espécies de todo o bioma. Os mamíferos do parque somam 148 espécies, além da presença de mamíferos carnívoros de grande porte.

O significativo complexo de lagoas no PERD propicia uma grande diversidade de peixes, apresentando um terço de toda a ictofauna que compõe a bacia do Rio Doce neste local. São 77 espécies, na qual destas, 37 são endêmicas. Dentre os anfíbios, reconhecem-se 38 espécies ao longo da área de estudo conforme descrito no *Relatório PELD* de 2007.

Quanto às aves, nota-se que são mais de 240 peles de 103 espécies registradas pelo IEF (2019), além da presença de répteis e anfíbios, que juntos contribuem para a manutenção da biodiversidade local. Ressalta-se que mesmo sendo uma *Unidade de Conservação*, o parque apresenta espécies que são ameaçadas de extinção, tanto da fauna quanto da flora. De acordo com a lista de Espécies Ameaçadas de Minas Gerais (2005) e do IBAMA (2003), cerca de 45 espécies de mamíferos presentes no PERD, estão sob o risco de extinção de acordo com o *Movimento Pró-Rio Doce* em 2019.

Quanto à flora, o plano de manejo realizado pelo IEF (2019), revelou que cerca de 7 espécies se encontram na lista de ameaças de extinção no Brasil, além de outras 14 espécies indicadas pelo estado de Minas Gerais, conforme estudo da Fundação Biodiversitas elaborado por Drummond *et al,* (2005).

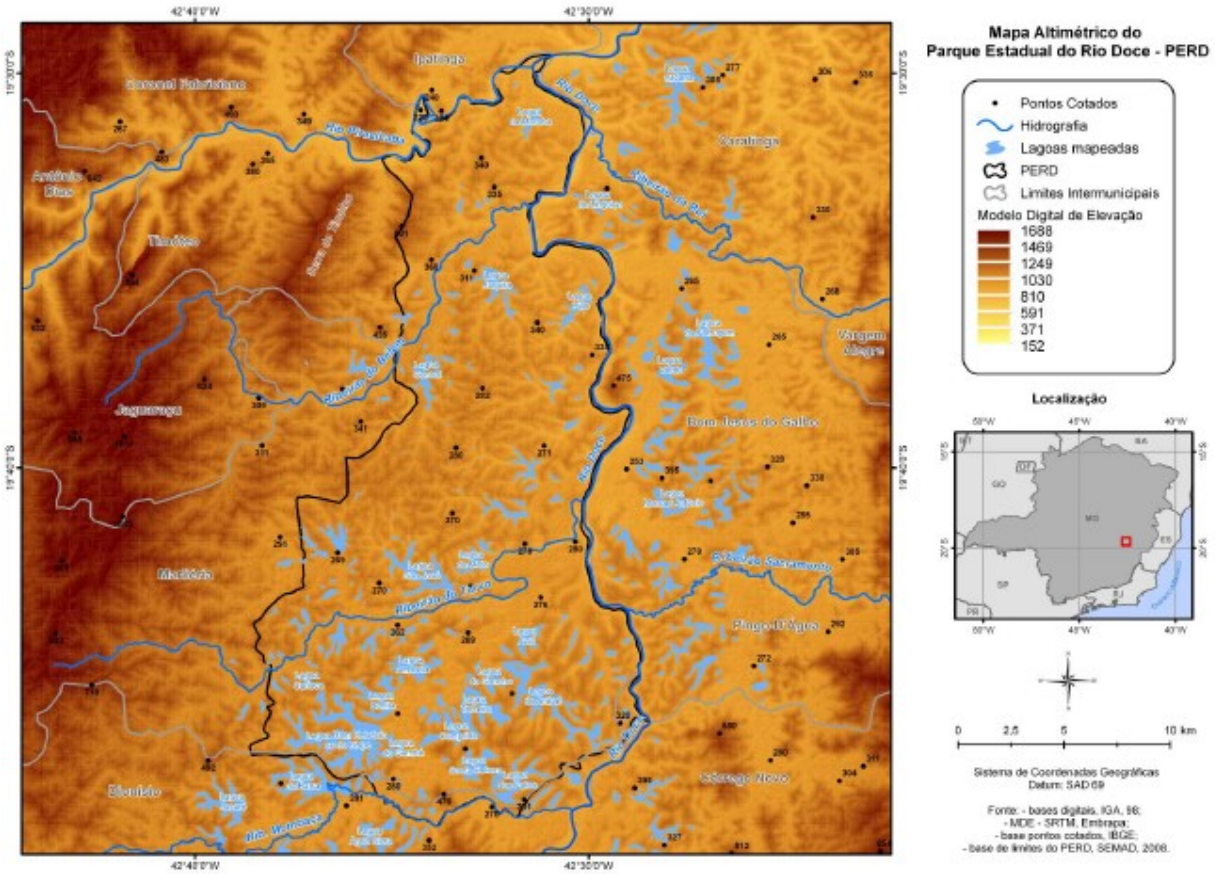
Ao analisar e identificar a grande biodiversidade que envolve à fauna e flora do PERD e seu entorno, evidencia-se a presença de muitos estudos e pesquisas que são desenvolvidos no âmbito de caracterizar e fornecer subsídios à outras pesquisas tal como é o interesse deste estudo que busca analisar a climatologia de um anticiclone que possivelmente interfere diretamente no comportamento climático desta região.

2.2.5 Sistema lacustre do PERD

Conforme destacado pelo IEF/MG (2019), a região do Médio Rio Doce, composta pela Depressão Interplanáltica do Vale do Rio Doce, compreende à uma importante formação que se estende por cerca de 200 Km de comprimento e 50 Km de largura. Inseridos nesta região, encontra-se o sistema lacustre do médio Rio Doce, composto por uma faixa de cerca de 20 Km de largura e 80 Km de comprimento, na qual segue o curso do Rio Doce, além disso, a região é demarcada por vales entulhados de sedimentos, da qual inserem-se os lagos.

De acordo com os estudos de Tundisi & Saijo (1997), a região apresenta cerca de cento e cinquenta lagos não conectados ao Rio Doce (Figura 30), onde se constitui um complexo sistema lacustre natural. A origem do sistema, segundo as pesquisas de De Meis, Moura e Tundisi (1997) citados por Soares (2006), encontra-se vinculada a períodos de intensa precipitação e seca, que originaram barramentos nos afluentes do rio os quais culminaram na formação dos lagos. Estes, por sua vez, apresentam dimensões variadas que alcançam 28 Km² e profundidade de 30 metros.

Figura 30 – Mapa altimétrico do PERD e entorno, com destaque para o sistema lacustre



Fonte: Lacerda Peixoto (2012)

Existe um grande paradigma no que diz respeito à origem deste sistema e são destacadas duas perspectivas. A primeira, desenvolvida por De Meis e Tundisi (1997) citado por Soares (2006), associa a formação dos lagos ao entulhamento sobre as drenagens de afluentes do rio, em decorrência de alterações sobre o clima após o Pleistoceno. Logo, os lagos surgiram com a formação de rampas de colúvio[8], que barraram o entulhamento ao longo do período apresentado.

A segunda análise compreende aos movimentos tectônicos na região apresentados por Barbosa e Kohler (1981) *apud* Soares (2006) como a ocorrência de um forte controle tectônico sobre a região dos lagos, ao longo do Plioceno, constituindo áreas com falhas no substrato rochoso. Os processos erosivos e os contínuos movimentos tectônicos sobre as falhas propiciaram subsidência e rebaixamento de algumas áreas, propiciando a alteração no curso do rio e entulhamento de cursos d'água, ocasionando na formação de lagos sobre as áreas dos vales.

Sobre o PERD, identifica-se, de acordo com o *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil* – CPRM (2001), que o sistema lacustre se desenvolveu sobre rochas arqueanas e proterozóicas, além de sedimentos quaternários. A área de estudo apresenta sedimentação fina, na qual atesta aos movimentos verticais de blocos no médio Rio Doce ao longo do Pleistoceno/Superior/Holoceno, conforme apresentado por Teixeira *et. al,* (2008) em que os sedimentos datam entre 10.000 a 3.000 anos, com profundidade de até 10 metros.

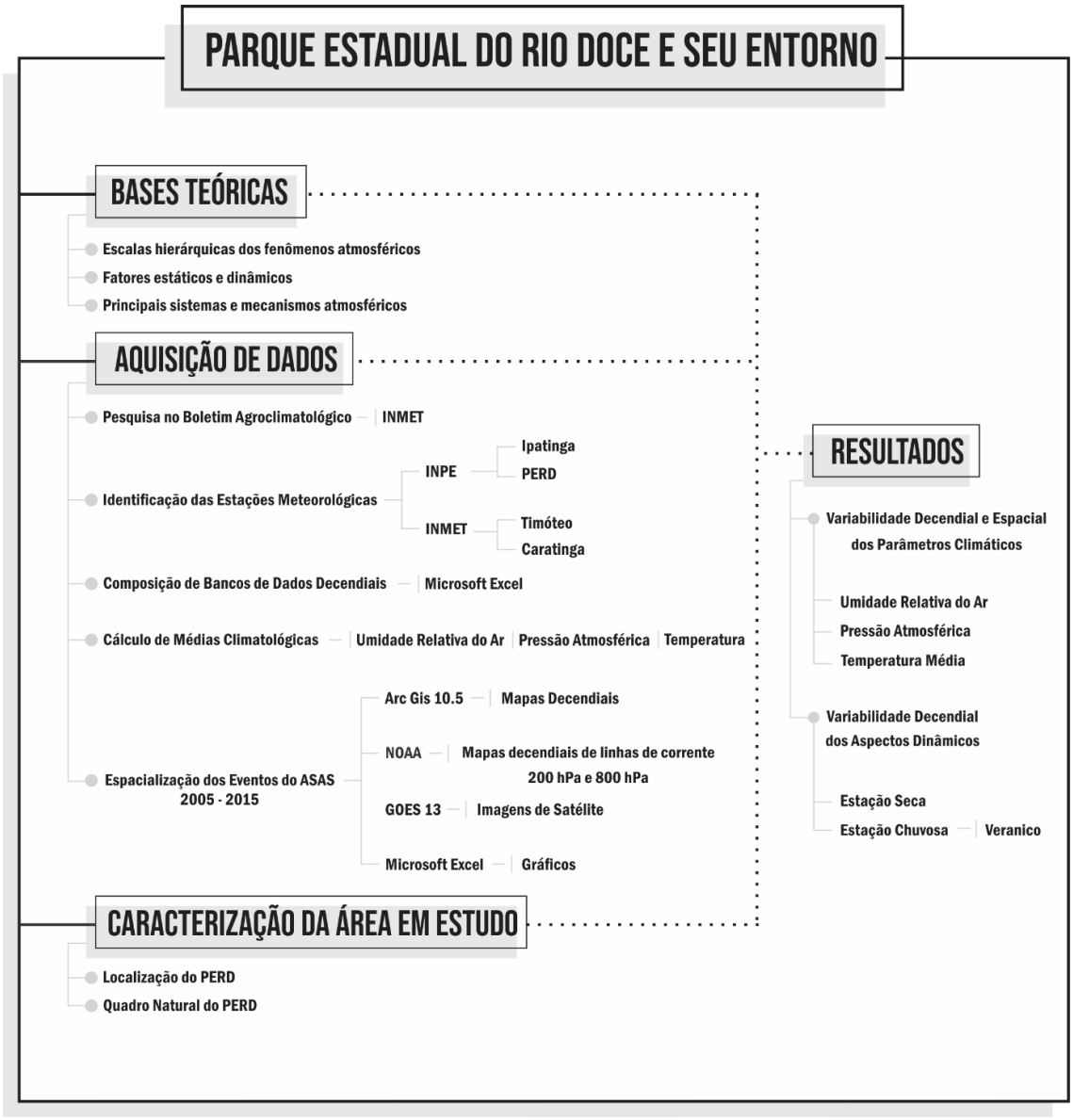
O sistema lacustre do PERD apresenta um conjunto complexo de aproximadamente 42 lagoas, numa área aproximada a 6% do território. Seu arranjo de drenagem apresenta um formato dendrítico com substrato rochoso homogêneo de acordo com Teixeira *et. al,* (2008). A formação deste sistema ocorreu em detrimento do fechamento de vales secundários do rio Doce, ao final do Pleistoceno, e este sistema fluvial meandrante, apresentado pelo Plano de Manejo do PERD (2008), compreende a canais simples e possui grande relevância por sua diversidade sobre a vegetação e proteção contra a erosão em suas margens.

[8] Rampa de Colúvio: corresponde a uma topografia suavemente inclinada, que se destaca no aspecto morfológico envolvendo o local de deposição de colúvios (sedimentos soltos e não consolidados) e uma respectiva área fonte. Fonte: PAISANI, Julio Cesar et al. Dinâmica de rampa de colúvio na Superfície de Palmas/Água Doce durante o Quaternário Tardio–bases para compreender a evolução das encostas no Planalto das Araucárias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, 2017.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado a partir dos procedimentos metodológicos que se encontram no organograma a seguir (Figura 31). Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho foi necessário investigar em diversas bases teóricas os aspectos relacionados aos fenômenos atmosféricos e conjunto de fatores estáticos e dinâmicos, tal como os sistemas e mecanismos atmosféricos que atuam sobre a região do PERD. Neste sentido, o tratamento de dados coletados nas estações meteorológicas permitiu identificar a variabilidade e espacialização decendial dos parâmetros climáticos selecionados para esta pesquisa, além de contribuir para uma análise dos aspectos dinâmicos que exerceram influência ao longo do período em estudo.

Figura 31 – Organograma de atividades desenvolvidas no trabalho



3.1 Identificação do Sistema Atmosférico - ASAS

Ao considerar o objetivo deste trabalho que visa compreender a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre a região do PERD e seu entorno, buscou-se identificar os eventos deste sistema atmosférico por meio dos *Boletins Meteorológicos Agroclimátológico*, os quais contribuem a este estudo como uma fonte de informações de grande relevância.

Tais investigações sobre os aspectos sinóticos demonstrados nestes boletins, descrevem como se dá a atuação dos sistemas e mecanismos atmosféricos de grande escala e as consequências destes eventos em âmbito regional e local, o que torna o uso deste recurso uma excelente fonte de dados e ferramenta neste estudo.

Este importante instrumento de análises e informações climatológicas foi inserido pelo INMET o qual elabora um documento de publicação mensal denominado boletim *Agroclimatológico*, no qual realiza análises qualitativas e quantitativas sobre o clima regional e atuação de sistemas atmosféricos que podem ocasionar em impactos, principalmente, sobre o setor produtivo e agricultura.

Neste sentido, os instrumentos de pesquisa apresentados tornaram-se fundamentais para compreender a atuação do ASAS sobre a área em estudo, tal como identificar sua espacialização, características centrais e os efeitos deste sistema atmosférico.

3.2 Classificação dos eventos do ASAS em decêndios

Neste estudo, os dados climatológicos foram organizados em decêndios, que compreendem ao período de dez dias consecutivos, logo, um mês compreende a três decêndios e um ano, trinta e seis decêndios. Segundo Cupolillo (2015), os meses que possuem trinta e um dias, o 3º decêndio será composto por onze dias. Para o mês de fevereiro, o terceiro decêndio será calculado para oito dias, e em anos bissextos o cálculo sobre nove dias.

A seguir, verifica-se na Tabela 1 desenvolvida por Cupolillo (2015), uma demonstração sobre o número total de decêndios ao longo de um ano e suas respectivas datas.

Tabela 1 – Total de decêndios em um ano e datas correspondentes

DECÊNDIOS	DATAS	DECÊNDIOS	DATAS
1	01 – 10 de janeiro	19	01 – 10 de julho
2	11 - 20 de janeiro	20	11 – 20 de julho
3	21 – 31 de janeiro	21	21 – 31 de julho
4	01 – 10 de fevereiro	22	01 – 10 de agosto
5	11 – 20 de fevereiro	23	11 – 20 de agosto
6	21 – 29 de fevereiro	24	21 – 30 de agosto
7	01 – 10 de março	25	01 – 10 de setembro
8	11 – 20 de março	26	11 – 20 de setembro
9	21 – 31 de março	27	21 – 30 de setembro
10	01 – 10 de abril	28	01 – 10 de outubro
11	11 – 20 de abril	29	11 – 20 de outubro
12	21 – 30 de abril	30	21 – 31 de outubro
13	01 – 10 de maio	31	01 – 10 de novembro
14	11 – 20 de maio	32	11 – 20 de novembro
15	21 – 31 de maio	33	21 – 30 de novembro
16	01 – 10 de junho	34	01 – 10 de dezembro
17	11 – 20 de junho	35	11 – 20 de dezembro
18	21 – 30 de junho	36	21 – 31 de dezembro

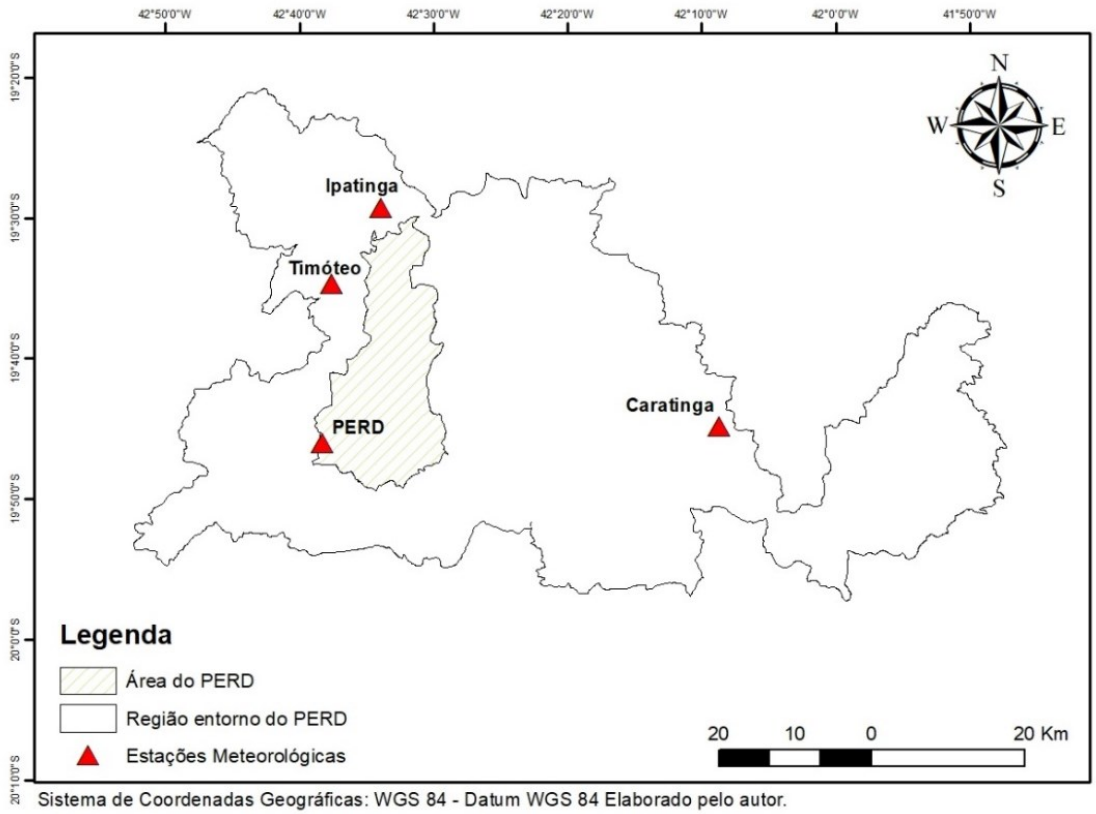
Fonte: Adaptado de Cupolillo (2015)

Após verificar este sistema de classificação em decêndios, os dados referentes aos parâmetros meteorológicos de umidade relativa do ar; temperatura e pressão atmosférica foram organizados e tabulados, tendo em vista realizar análise e identificar a atuação do ASAS sobre a área de estudo.

3.3 Organização dos Dados

Com a finalidade de organizar os dados de umidade relativa do ar, temperatura e pressão atmosférica, foram utilizados, nesta pesquisa, dados diários de quatro estações meteorológicas, sendo duas correspondentes ao INMET: Timóteo e Caratinga; e duas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE: Ipatinga e PERD (Figura 32). Os dados referem-se a uma série de onze anos, equivalentes ao período entre 2005 a 2015, e foram organizados em tabelas.

Figura 32 – Mapa de localização das estações meteorológicas em estudo



Fonte: Vieira (2020)

Na tabela 2 a seguir, são apresentas a localização geográfica, altimetria e identificação das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho.

Tabela 2 – Estações Meteorológicas do estudo

LOCALIDADE	LAT	LONG	ALTITUDE (M)	ID. EST. METEOROLÓGICA
Caratinga	19,7357	42,13714	609	AUT 554
Ipatinga	19,4700	42,52300	305	PCB 32507
Timóteo	19,5738	42,62241	333	AUT 511
PERD	19,8030	42,63380	297	PCB 30800

Fonte: INMET (2019), INPE (2019)

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial – OMM (*World Meteorological Organization – WMO*), as observações sinóticas são representativas em áreas de até 100 quilômetros no entorno da estação meteorológica, portanto, para análises regionais e locais, fez-se necessário avaliar dimensões entre 10 a 30 quilômetros em suas escalas. A classificação apresentada por esta organização demonstra a microescala (inferior a 100 m). Topo escala ou

escala local (100 m a 3 Km). Mesoescala (3 a 100 Km). Grande escala (100 a 300 Km) e escala planetária (superior a 300 Km).

Com relação aos dados coletados e utilizados neste trabalho, faz-se necessário ressaltar que nas estações meteorológicas de Caratinga e Timóteo (INMET) não foram verificadas falhas com relação aos dados no período em análise, porém nas estações de Ipatinga e PERD foram identificadas lacunas em alguns dados. Os mesmos foram preenchidos por dados da estação meteorológica de Timóteo, tendo em vista que estes dados se tornam válidos em detrimento da distância entre as estações, por serem inferiores a 15 Km, e sua altimetria apresentar pequena variação; desta forma todos os dados atendem às determinações da WMO (2012).

3.4 Cálculo das médias climatológicas

Neste estudo, foram calculadas as médias climatológicas decendiais do período entre 2005 a 2015. Os dados referem-se aos parâmetros meteorológicos umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura, referente às estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e PERD.

Os dados obtidos em formato *.txt* foram convertidos ao formato *.xls*, sendo posteriormente tratados e organizados no *software* computacional *Microsoft Excel.* Em seguida foram elaboradas tabelas, gráficos e mapas que apresentam os resultados do estudo.

Para calcular as médias climatológicas, seguiu-se o modelo aplicado por Cupolillo (2015), o qual foi computado o somatório da frequência de ocorrência das variáveis de umidade relativa, de temperatura e de pressão atmosférica na série dos trinta e seis decêndios (Tabela 1), durante a estação chuvosa (DPC) e durante a estação seca (DPS) dividido pelo período de anos correspondentes a cada uma das quatro estações meteorológicas, de forma que:

$$UR = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N} \qquad (1)$$

UR = Umidade Relativa sazonal DPC e DPS por ano
nd = número de decêndios DPC e DPS

$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

N = número de anos de dados para cada local

$$Tm = \sum_{\frac{i=1}{N}}^{nd} di \quad (2)$$

Tm = Temperatura Média sazonal DPC e DPS
nd = número de decêndios DPC e DPS
$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS
N = número de anos de dados para cada local

$$Pa = \sum_{\frac{i=1}{N}}^{nd} di \quad (3)$$

Pa = Pressão atmosférica sazonal DPC e DPS
nd = número de decêndios DPC e DPS
$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS
N = número de anos de dados para cada local

Este procedimento foi realizado por meio da soma dos valores diários registrados no "primeiro decêndio" do mês de "janeiro" para cada ano. Em seguida calculou-se a média dos totais obtidos para o "primeiro decêndio" de cada um dos meses de "janeiro" do período em estudo "2005-2015". O mesmo procedimento foi otimizado para os demais meses do ano.

3.5 Espacialização dos Eventos do ASAS

A técnica de geoprocessamento de uma superfície real para uma análise espacial, por meio do Sistema de Informação Geográfica, permite organizar, conforme Alves (2011), uma representação de grande relevância para os estudos na atualidade, uma vez que por meio do ambiente digital pode-se visualizar e comparar atributos de dados descritivos e organizá-los por meio da sobreposição de camadas.

A associação desta técnica ao processo de interpolação sobre as variáveis: umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura, tornam-se fundamentais para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa. Para tanto, o uso de técnicas de espacialização, disponíveis nos SIGs, permite identificar e verificar a associação entre os parâmetros climáticos e espacialização do ASAS.

De acordo com Caruso e Quarta (1998) citado por Alves (2011), as diversas técnicas dos SIGs possibilitam a realização de estudos em grandes áreas com presteza e exatidão. Para tanto, ao utilizar a espacialização de informações para determinada pesquisa, de acordo com diversos estudiosos citados por Silva (2011), faz-se necessário identificar um método de interpolação que se adequa da melhor forma ao estudo desejado.

A interpolação é um método utilizado para estimar a espacialização de dados meteorológicos, segundo Silva; Caiado e Caiado (2013) a partir do valor de uma variável em locais distribuídos distantemente em determinada região. Destaca-se nestes processos, que os valores tendem a ser mais similares aos locais mais próximos em comparação aos locais distantes.

Esse método, de acordo com Silva, Caiado e Caiado (2013), possui grande relevância em situações nas quais os dados disponibilizados são insuficientes e busca-se abranger tais amostras para alcançar melhores resultados. Os autores alertam que a escolha de um interpolador inadequado poderá refletir em um resultado final inapropriado, sendo este mascarado ou superestimado, reafirmando assim que devem ser estabelecidos critérios para a escolha do melhor interpolador.

Quanto aos interpoladores, segundo Li *et al.* (2004), são instrumentos utilizados para espacializar dados pontuais e distinguem-se de acordo com suas grandezas espaciais em: a) *modelagem matemática*; b) *sua abrangência*. Quanto à modelagem matemática, como o próprio nome destaca, atravessa modelos com fórmulas matemáticas que se subdividem em *modelo determinístico*, no qual as formulações envolvem o cálculo dos valores interpolados em função dos pontos vizinhos; e *o modelo Geoestatístico*, em que o uso de formulações e estatística, é utilizado em busca da predição de valores desconhecidos.

A partir da referência de abrangência, os autores Li et al (2004) avaliam que estes modelos perpassam aos Pontos, cuja correlação entre os valores de altitudes dos vizinhos é elevada e relacionado às Regiões que se utilizam de todos os pontos de determinada área, podendo ser locais (áreas próximas aos pontos) ou globais (novo valor em referência ao conjunto).

Vale ressaltar que existem diferentes métodos de interpolação para dados climatológicos, dentre eles cita-se os métodos de *Krigagem* (KRG), *Spline*, método dos vizinhos mais próximos, *Inverse Distance Weigth* (IDW), Topo-to-Raster, Radial Basis Functions (RBF), *Global Polynomial Interpolation* (GPI) que são muito aplicáveis no SIG, com pacotes computacionais que apresentam os algoritmos para o desenvolvimento destes métodos.

Segundo Vieira (2000) *apud* Giacomin *et al.* (2014), o método da *Krigagem* corresponde à uma interpolação geoestatística que considera a *Teoria das Variáveis Regionalizadas* a qual se refere à dependência espacial entre amostras vizinhas para estabelecer os valores em áreas não-amostradas. Tal variação espacial é expressa quantitativamente em um semivariograma estimado a partir de uma amostra. O gráfico (semivariograma) representa a dispersão da semivariância (medida de dispersão) em detrimento dos pontos amostrados.

De acordo com Marcuzzo *et al.* (2011), o método *Spline* apresenta os valores por meio de uma função matemática que reduz a curvatura da superfície em estudo, propiciando uma suavizada nos pontos amostrados da área em estudo.

O modelo *Global Polynomial Interpolation* (GPI) caracteriza-se pelo ajuste e suavização que é realizada sobre a superfície em decorrência da função polinomial aplicada sobre os pontos observados. De acordo com Araújo *et al.* (2015), é possível identificar neste método que a escala dos dados é ajustada gradualmente de forma linear com uma função polinomial, quadrática e cúbica, conforme alteram-se às ordens, numa sequência entre a primeira até a décima.

Já no modelo Inverse Distance Weigth (*IDW)*, verifica-se que os pontos amostrados são ajustados de forma linear ponderada, sendo que o peso de cada ponto representa o inverso de uma potência da distância, de forma que, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior será o peso atribuído ao valor da amostra. De acordo com Marcuzzo *et al.* (2011), o *IDW* consiste num interpolador local, sendo que a distância entre os pontos e a potência da função tornam-se fundamentais para sua aplicação. Segundo El-Sheimy *et al.* (2005) citado por Giacomin *et al.* (2014), por meio deste interpolador, os valores referentes aos pontos próximos são similares, em contrapartida, os pontos distantes tornam-se independentes e apresentam menor influência.

Neste sentido, é possível estabelecer que os métodos de interpolação visam proporcionar uma leitura e interpretação de dados com resultados mais precisos. Dentre os métodos mais citados por autores, conforme serão apresentados a seguir, destacam-se o inverso do quadrado da distância (*IDW*) e o método *Krigagem*,

Os estudos de Júnior *et al.* (2012), utilizou diferentes métodos de interpolação para espacializar a precipitação na bacia do rio Itapemirim, ES. Os autores constataram que o método da *Krigagem* com seu modelo de semivariograma esférico apresentou os melhores resultados sobre a variável em estudo, seguido pelo modelo *IDW*.

Já para Ribeiro e Reis (2009), no estudo sobre a distribuição das precipitações médias no interior da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, ES, o método que apresentou as melhores avaliações foi o *IDW*.

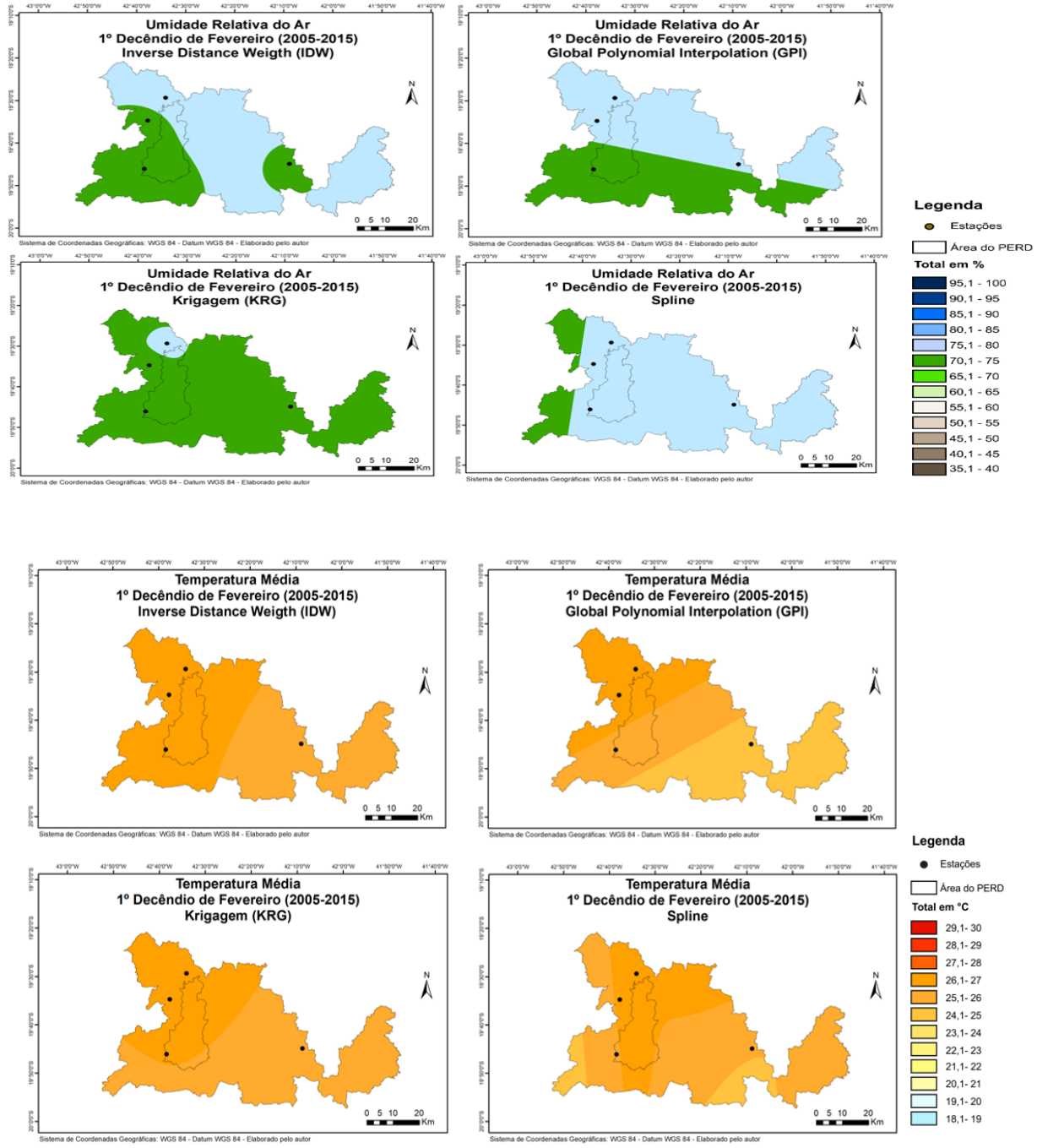
De acordo com Lucas (2007), no desenvolvimento de seu estudo de caso sobre a espacialidade das chuvas em Belo Horizonte entre os anos de 2010 - 2011 e 2011- 2012, identificou-se que o interpolador que se mostrou mais adequado foi a *Krigagem*, em decorrência de suas possibilidades de ajuste e nos resultados obtidos por meio dos mapas (consistentes) e homogeneidade entre os vizinhos mais próximos.

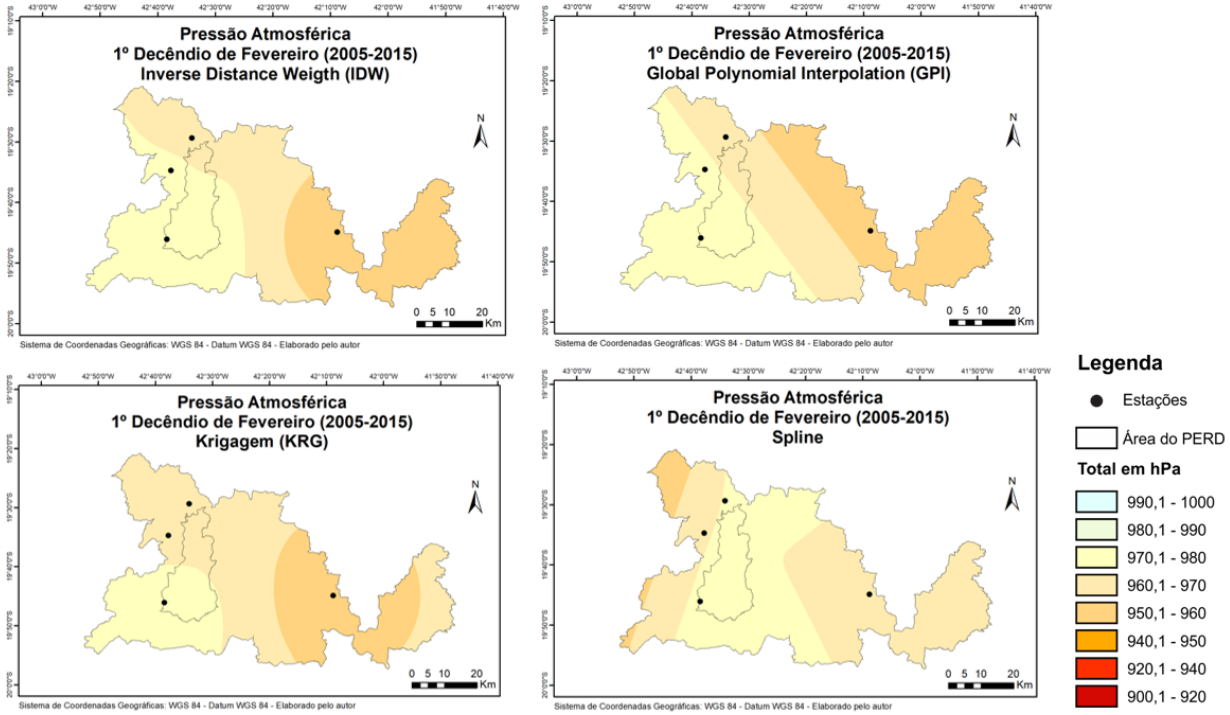
Nos estudos de Cupolillo (2015), identifica-se que a principal diferença entre os métodos da *Krigagem* e *IDW* ocorrem por meio da atribuição realizada pelas amostras sendo que na interpolação pelo modelo *IDW*, o valor interpolado se distingue do valor observado na medida em que existe maior distância entre a estação meteorológica e um determinado ponto X em relação às estações vizinhas, atribuindo um peso menor. No método *Krigagem,* o procedimento assemelha-se à interpolação por média móvel ponderada com os pesos sendo determinados com base no semivariograma experimental.

Verifica-se que a escolha de interpoladores, para dados climáticos, envolve uma ampla investigação, testes e comprovações que não dependem exclusivamente do interpolador. De acordo com Perin *et al.* (2015), este processo necessita do conhecimento frente à origem do dado que será interpolado e da distribuição das amostras sobre o espaço.

Para avaliação e definição do interpolador que melhor representa os parâmetros climatológicos deste estudo considerando a umidade relativa, a pressão atmosférica e a temperatura, respeitando a espacialização dos dados (amostras) e sua distribuição, realizou-se uma comparação visual entre os mapas decendiais, com o objetivo de identificar o desempenho dos interpoladores selecionados: *Inverse Distance Weigth (IDW)*, *Global Polynomial Interpolation* (GPI), *Krigagem* e *Spline*, e assim selecionar aquele que apresentou um melhor resultado para análise dos dados do estudo. A figura 33, apresenta o resultado deste teste entre os métodos de interpolação apresentados.

Figura 33 – Teste com os interpoladores Inverse Distance Weigth, Global Polynomial Interpolation, Krigagem e Spline referente ao 1º decêndio de fevereiro (2005-2015) para os parâmetros climáticos do estudo (Umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura)





Fonte: Vieira (2020).

Ao analisar a figura 33, pode-se inferir que os interpoladores *Global Polynomial Interpolation* (GPI) e *Spline* não apresentaram um bom desempenho sobre os parâmetros avaliados. Esse resultado pode estar relacionado ao número de pontos nesta pesquisa, fato que deve ser considerado para análise e espacialização.

Os interpoladores que obtiveram melhor desempenho foram o *IDW* e a *Krigagem*, sendo possível identificar a espacialização dos dados de maneira mais uniforme. Ao comparar os dados registrados e apresentados nas tabelas com a espacialização nos mapas temáticos, é possível identificar que o interpolador *IDW* apresentou uma melhor distribuição dos parâmetros climáticos sobre a região em estudo.

Os resultados apresentados pelo *IDW*, nos mapas, demonstraram um bom desempenho nos contornos sobre às estações meteorológicas, devido a este método atribuir um peso maior sobre as amostras mais próximas, resultando em contornos concêntricos. Além disso, por se tratar de um método determinístico, é possível visualizar uma superfície com valores mais próximos ao real.

Já com o interpolador *Krigeagem,* a espacialização de dados decendiais não foi significativa com a realidade geográfica da região do PERD e entorno, pois não se aplica as características topográficas necessárias. Para tanto, com o interpolador *IDW* verificou-se uma

maior proximidade à realidade, com a influência das condições topográficas e quantidade de estações meteorológicas.

Neste sentido, os mapas que utilizaram o interpolador *IDW* demonstraram um desempenho e distribuição mais uniforme que os demais métodos, o que corrobora com os resultados de Lima (2019), Antunes (2018) e Cupolillo (2015), afirmando ser o algoritmo *IDW* o que melhor representa os parâmetros de umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura, quando comparado aos métodos *GPI*, *Krigagem* e *Spline,* e para tanto foi o modelo escolhido para este estudo.

O interpolador *Inverse Distance Weigth* (*IDW*) foi escolhido como instrumento deste estudo, pois apresentou um melhor desempenho frente aos parâmetros adotados na climatologia do ASAS para a região do PERD e entorno. Atestou-se que o método aproxima os valores da realidade e por tratar de um modelo determinístico, seus resultados sobre às condições topográficas e quantidade limitada de fonte de dados (neste caso apenas quatro estações meteorológicas) foram satisfatórios conforme visualizado nos mapas decendiais desenvolvidos.

3.6 Dinâmica atmosférica na atuação do ASAS

Tendo em vista a compreensão da dinâmica atmosférica que envolve a atuação do ASAS na região do PERD e entorno, considerou-se os pontos de coleta dos dados onde localizam-se as quatro estações meteorológicas para interpolação. Após serem tabulados sob as coordenadas geográficas WGS 84, no Sistema de Informações Geográficas (SIG), foram elaborados cento e oito mapas decendiais de espacialização que compreendem aos parâmetros de umidade relativa, temperatura e pressão atmosférica por meio da ferramenta geoestatística do *software* ArcGIS 10.3.

Também foram gerados setenta e dois mapas climatológicos decendiais (2005-2015) de linha de corrente nas alturas de 200 hPa e 850 hPa, sendo utilizados dados de reanálise do NCEP (*National Center for Enviroment Prediction*), disponibilizados através do portal CDC/NOAA (*Climate Diagnostic Center/ National Oceanicand Atmospheric Administration)*. Na elaboração destes mapas, foram levados em consideração dados diários de vento, com resolução horizontal de 2,5º x 2,5º, estando estes processados no visualizador gráfico GrADS (*Grid Analysis and Display System)*.

Os mapas representam as distintas características referentes a área em estudo e tornam-se objetos de grande relevância nesta pesquisa, por demonstrarem espacialmente as configurações do ASAS e sua atuação ao longo do período e área do PERD. Ressalta-se que, além de mapas,

foram utilizadas imagens de satélite GOES-13 disponibilizadas pelo CPTEC e alguns gráficos que ilustram a distribuição dos dados coletados sobre os parâmetros climáticos deste estudo.

Todos estes instrumentos de análise e organização dos dados coletados, foram essenciais para avaliar e desenvolver os resultados desta pesquisa, na qual serão mensurados no próximo capítulo.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise e compreensão da variabilidade decendial dos parâmetros climáticos: umidade relativa do ar, pressão atmosférica e temperatura média, na região do PERD e seu entorno, foram realizadas a partir da climatologia de 11 anos (2005-2015) com dados das estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e do PERD.

A organização e discussão dos resultados propostos decorrem da análise de gráficos e de 108 mapas decendiais correspondentes às variáveis climatológicas ao longo da estação seca e chuvosa, além de 72 mapas correspondentes aos campos de linhas de corrente nas alturas de 200 e 850 hPa que permitiram identificar a atuação de sistemas e mecanismos atmosféricos na região em estudo.

4.1 Variabilidade decendial e espacialização dos parâmetros climáticos

Ao considerar a espacialização dos parâmetros climáticos neste estudo e com finalidade de analisar sua variabilidade decendial, foram produzidos gráficos decendiais de umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura média que se referem aos dados coletados das quatro estações meteorológicas deste estudo. Este conjunto de informações possibilitaram avaliar o comportamento dos parâmetros ao longo dos decêndios e identificar, visualmente, os períodos que apresentaram valores mínimos e máximos, correlacionando-os à atuação de sistemas e mecanismos atmosféricos.

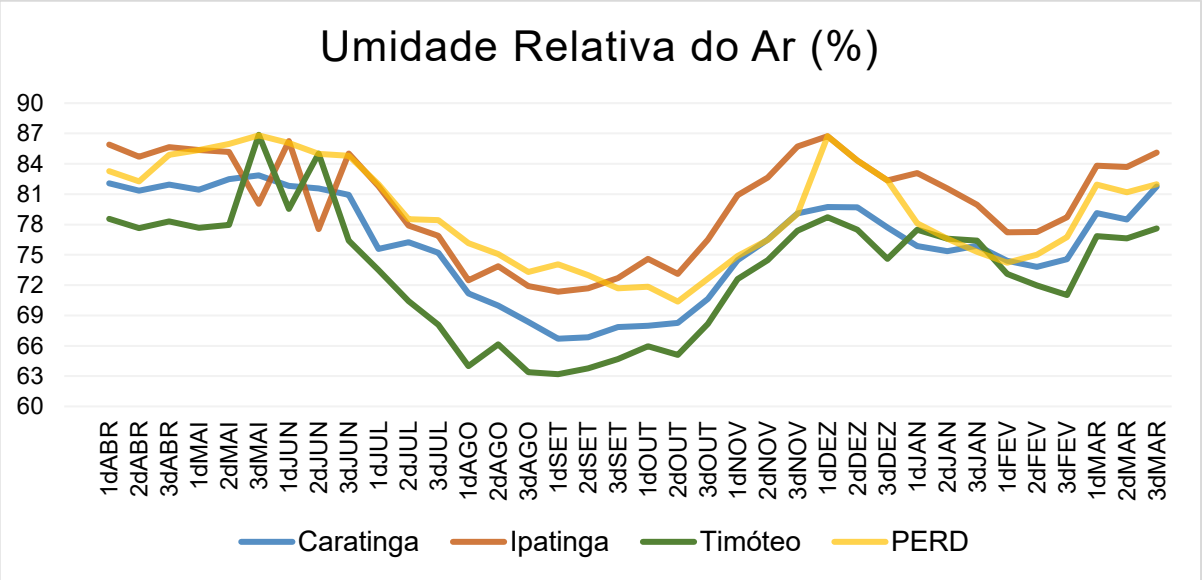
4.1.1 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa refere-se, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), à presença do vapor d'água na atmosfera, sendo representada pela relação entre o vapor existente no ar e seu ponto de saturação. Os resultados decendiais de umidade relativa na região em estudo estão apresentados no gráfico 1, no qual verifica-se a espacialização deste parâmetro ao longo do período entre 2005 - 2015.

Foi identificado que o comportamento climatológico da umidade relativa do ar (Gráfico 1) apresentou resultado mais elevado no 1º decêndio de dezembro, com valores entre 78 e 86,73% nas estações meteorológicas em estudo. Ao passo que os menores foram identificados no 3º decêndio de agosto e 1º decêndio de setembro, registrando o valor de 63,19% na estação de Timóteo.

Os valores registrados sobre a umidade relativa não apresentaram uma variação expressiva dentre as estações ao longo dos decêndios, no entanto, os resultados sugerem a influência de fatores geográficos e dinâmicos, como por exemplo o relevo e os mecanismos atmosféricos, como o ASAS.

Gráfico 1 – Climatologia da Umidade Relativa do Ar (%) – Período 2005-2015



Fonte dos dados: INMET e INPE

Ao analisar os valores máximos de umidade relativa foi possível identificar que a estação de Ipatinga apresentou um valor médio mais elevado dentre as estações meteorológicas. O destaque foi para os decêndios de dezembro que registraram 86,7% no 1º decêndio, 84,3% no 2º decêndio e 82,3% no 3º decêndio.

Os decêndios de abril e maio destacaram-se no que diz respeito aos elevados percentuais de umidade relativa sendo que estão inseridos na estação seca e alcançaram marcas expressivas de 86,76% em Timóteo; 82,47% em Caratinga; 80,03% em Ipatinga e o mais elevado valor no período em estudo, 86,81% no PERD, correspondente ao 3º decêndio de maio. Este fato decorre, dentre outros fatores, ao processo de transição entre as estações chuvosa e seca na região em estudo.

Verificou-se que entre o 3° decêndio de maio e 3° decêndio de junho, os valores registrados nas estações de Timóteo e Ipatinga apresentaram variações bruscas e opostas da umidade relativa, como pode ser identificado no 3° decêndio de maio na estação de Timóteo que registrou 86,8% e Ipatinga 80%, já no 1° decêndio de junho os valores praticamente inverteram-se entre as estações, demarcando 86,2% em Ipatinga e 79,5% em Timóteo. Levando em consideração a situação apresentada, sugere-se que a alternância nos valores de umidade

relativa entre as estações de Ipatinga e Timóteo podem ser resultantes da atuação do ASAS através do seu giro anti-horário, levando em consideração a interação entre a subsidência do ar e o relevo local, marcados pela proximidade da área urbana no Vale do Aço.

No que diz respeito aos menores valores de umidade relativa, a estação de Timóteo registrou, no 1º decêndio de setembro, o valor de 63,19%. De modo geral, foi possível identificar uma queda gradual nos valores de umidade à medida em que se adentrou na estação seca, sendo que nos três decêndios de setembro foram identificados os menores percentuais em todas as estações meteorológicas.

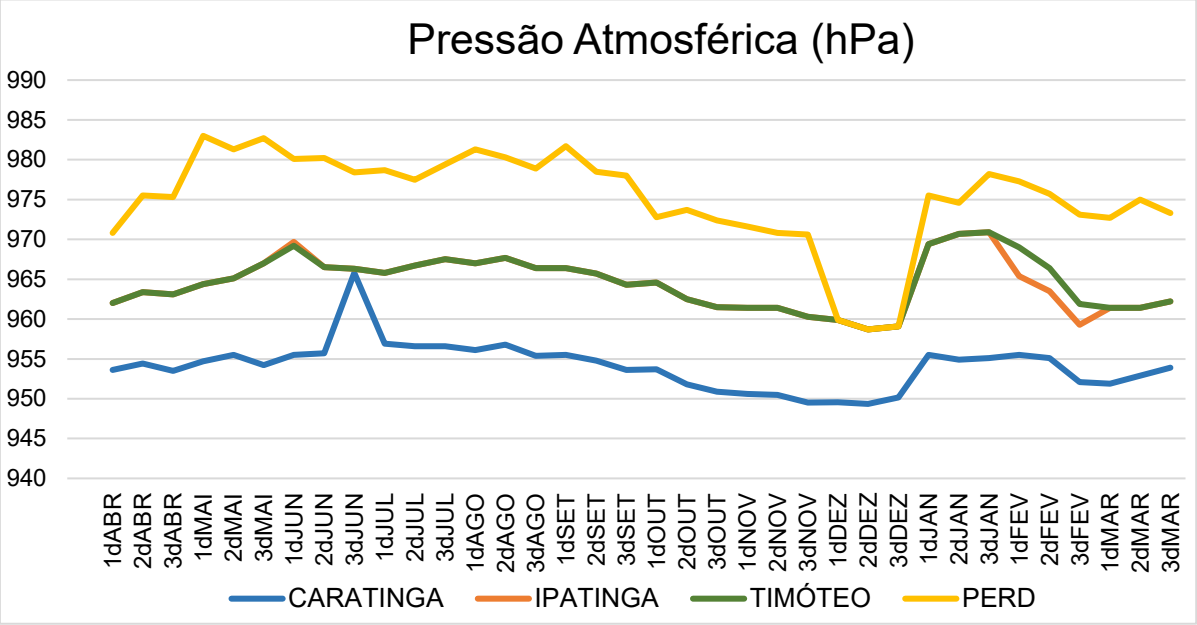
4.1.2 Pressão Atmosférica do Ar

O parâmetro climático pressão atmosférica refere-se à força da gravidade um peso da coluna de ar, conforme destacado por Conti e Furlan (2008) denomina-se pressão o peso do ar exercido sobre a superfície, na qual apresenta uma variabilidade a depender de sua localização, latitude, dentre outros aspectos.

Estudos relacionados ao parâmetro climático *pressão atmosférica* (Gráfico 2) registraram, nas estações meteorológicas em estudo, uma variação maior se comparada à umidade relativa (Gráfico 1). Verifica-se que fatores como a quantidade de vapor d'água e as temperaturas influenciam diretamente sobre os valores de *pressão atmosférica* conforme apresentadas nas estações ao longo dos decêndios.

Os registros de *pressão atmosférica* indicam que a estação do PERD apresentou os mais elevados valores médios dentre as estações meteorológicas no decorrer do período investigado. Os decêndios de maio registraram as maiores marcas, com destaque para 980 hPa no 1º decêndio.

Gráfico 2 – Climatologia da Pressão Atmosférica (hPa) – Período 2005-2015



Fonte dos dados: INMET e INPE

Verificou-se, no 1º decêndio de fevereiro, uma variabilidade da amplitude barométrica, na qual registrou, nos campos de ventos, marcas de 977,3 hPa, no PERD; 969 hPa, em Timóteo; 965,4 hPa, em Ipatinga e 955,5 hPa, em Caratinga. Estes resultados sugerem a possível atuação do ASAS interagindo com a topografia regional.

No que diz respeito aos menores valores de pressão atmosférica registrados neste estudo, identificou-se no 2º decêndio de dezembro as menores cotas barométricas em todas as estações com 958,7 hPa nas estações de Ipatinga, Timóteo e PERD e, na estação de Caratinga, o valor mais reduzido dentre as demais 949,4 hPa. Ressalta-se que a estação de Caratinga apresentou ao longo de todos os decêndios os menores valores de pressão atmosférica, possivelmente pelo fato de ser a estação com altimetria mais elevada.

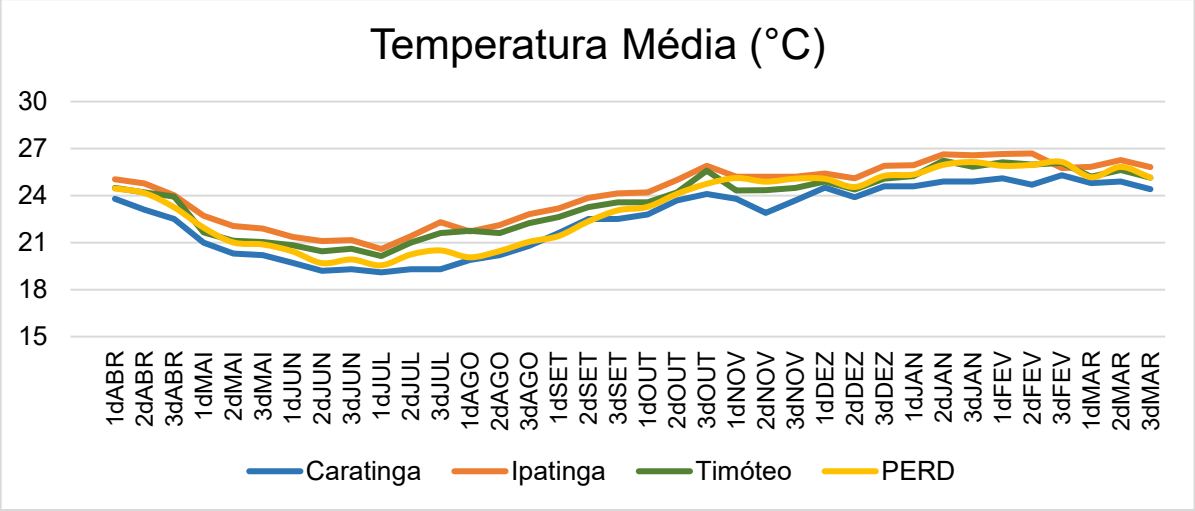
4.1.3 Temperatura Média

Corresponde a medida do calor sensível do ar e segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) sua variação acompanha ao movimento aparente do sol resultado de sua trajetória diária. Quanto à sua variabilidade espacial composta por aquecimento/resfriamento têm-se variações quanto às porções continentais e oceânicas que conferem padrões sazonais distintos devido à incidência e inclinação dos raios solares ao longo do ano.

O comportamento da temperatura média (Gráfico 3) registrou os menores valores no decorrer da estação seca, em especial nos decêndios de junho e julho para todas as estações

meteorológicas. O destaque foi para o 1º decêndio de junho que registrou os menores valores em Caratinga com a marca de 19,1ºC; no PERD, 19,5ºC; em Timóteo, 20,1ºC e, em Ipatinga, 20,5ºC.

Gráfico 3 – Climatologia da Temperatura Máxima (ºC) – Período 2005-2015



Fonte dos dados: INMET e INPE

A transição entre a estação seca e chuvosa é demarcada pelo aumento sobre os valores médios da temperatura que atingem à todas as estações. Nota-se que os decêndios de fevereiro alcançaram os valores mais elevados, destacando-se o 1º decêndio: 26,6ºC, em Ipatinga, 26,1ºC; em Timóteo, 25,9ºC; no PERD, 25,9ºC e, em Caratinga, 25,1ºC.

Tal fato sugere a influência do ASAS sobre o PERD, através do processo de subsidência adiabática do ar, gerando regionalmente o fenômeno veranico climático.

4.2 Variabilidade decendial e aspectos dinâmicos do PERD

A região do PERD e seu entorno, assim como o estado de Minas Gerais, apresenta uma complexa variabilidade climática. Alguns dos aspectos responsáveis por esta característica revelam-se em sua posição latitudinal, nas irregularidades da topografia e sua transição climatológica. Esses fatores, associados aos mecanismos dinâmicos de baixa e alta troposfera como a *Alta da Bolívia* (AB), o *Cavado do Nordeste* (CN), a *Zona de Convergência da América do Sul* (ZCAS), os *Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis* (VCAN) e, especialmente, o *Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul* (ASAS) são fundamentais no entendimento sobre a climatologia da região em estudo, segundo (Cupolillo, 2015; Antunes, 2018; Lima, 2019 e; Cunha, 2019).

Os resultados a seguir foram organizados em mapas decendiais e analisados de acordo com a estação seca que compreendem aos meses de abril a setembro, e a estação chuvosa, entre

os meses de outubro a março, conforme Cupolillo (2015), Antunes (2018) e Lima (2019). Estas análises permitiram identificar o comportamento e atuação de diversos sistemas e mecanismos atmosféricos sobre a região do PERD.

4.2.1 Espacialização dos parâmetros climáticos e aspectos dinâmicos na estação seca

A estação seca inicia-se no mês de abril apresentando características típicas de uma faixa de transição com o fim da estação chuvosa (Figuras 34, 35, 36). Em função desse fato, ao longo dos decêndios, observou-se um decréscimo nos valores de umidade relativa e temperatura, consequentemente, ocorreu a elevação da pressão atmosférica.

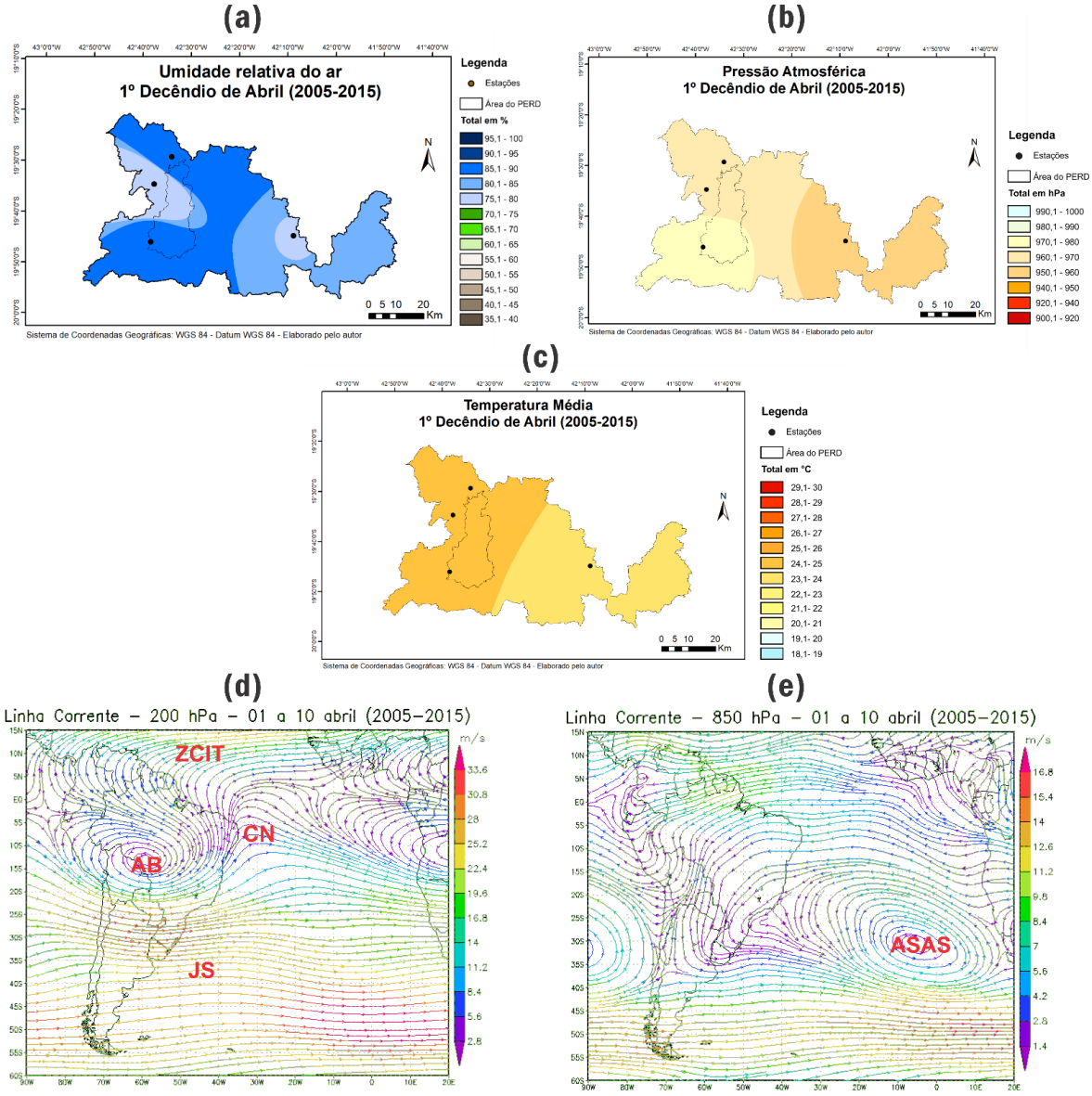
A espacialização dos parâmetros climáticos sobre a região do PERD, entre os decêndios de abril a setembro, não apresentou grande variabilidade. No que diz respeito à umidade relativa, verificou-se que os menores valores foram identificados na porção central do parque, próximo à estação meteorológica de Ipatinga. Já os maiores percentuais compreendem ao extremo Norte, Sudoeste, Sul e Sudeste do parque. Com respeito ao elemento pressão atmosférica, identificou-se, na porção Norte, os menores valores, e, no extremo Sul, junto à estação meteorológica do PERD, concentraram-se os maiores registros de pressão. O comportamento da temperatura apresentou uma espacialização diversificada sendo que a porção Norte do parque registrou os maiores valores e, na medida em que se aproxima da porção Sul do PERD, os valores foram reduzidos.

É possível identificar nos mapas de linhas de corrente na altura de 200 hPa (Figura 34d) a presença de mecanismos atmosféricos como a AB, CN, ZCIT e JS. Na transição do 2º para o 3º decêndio de abril (Figuras 35d, 36d), observa-se o recuo da AB e, por conseguinte, o avanço do CN sobre o continente sul-americano. Esses mecanismos contribuem através da intensificação da subsidência do ar com a redução da umidade relativa caracterizando o início da estação seca.

Nos baixos níveis atmosféricos, identifica-se que o ASAS apresenta seu centro posicionado sobre o Oceano Atlântico e sua borda abrange a região leste de Minas Gerais onde localiza-se o PERD. Nota-se que, no 3º decêndio de abril (Figura 36e), há configuração de um bloqueio atmosférico do ASAS que se estende até o 2º decêndio de maio (Figura 38e). Essa configuração sugere que o bloqueio propiciou o aumento da subsidência do ar sobre a região, resultando na diminuição brusca da umidade relativa no 1º decêndio de maio (Figura 37e) que volta a elevar-se gradativamente após o bloqueio atmosférico se desfazer no 3º decêndio de maio (Figura 39e).

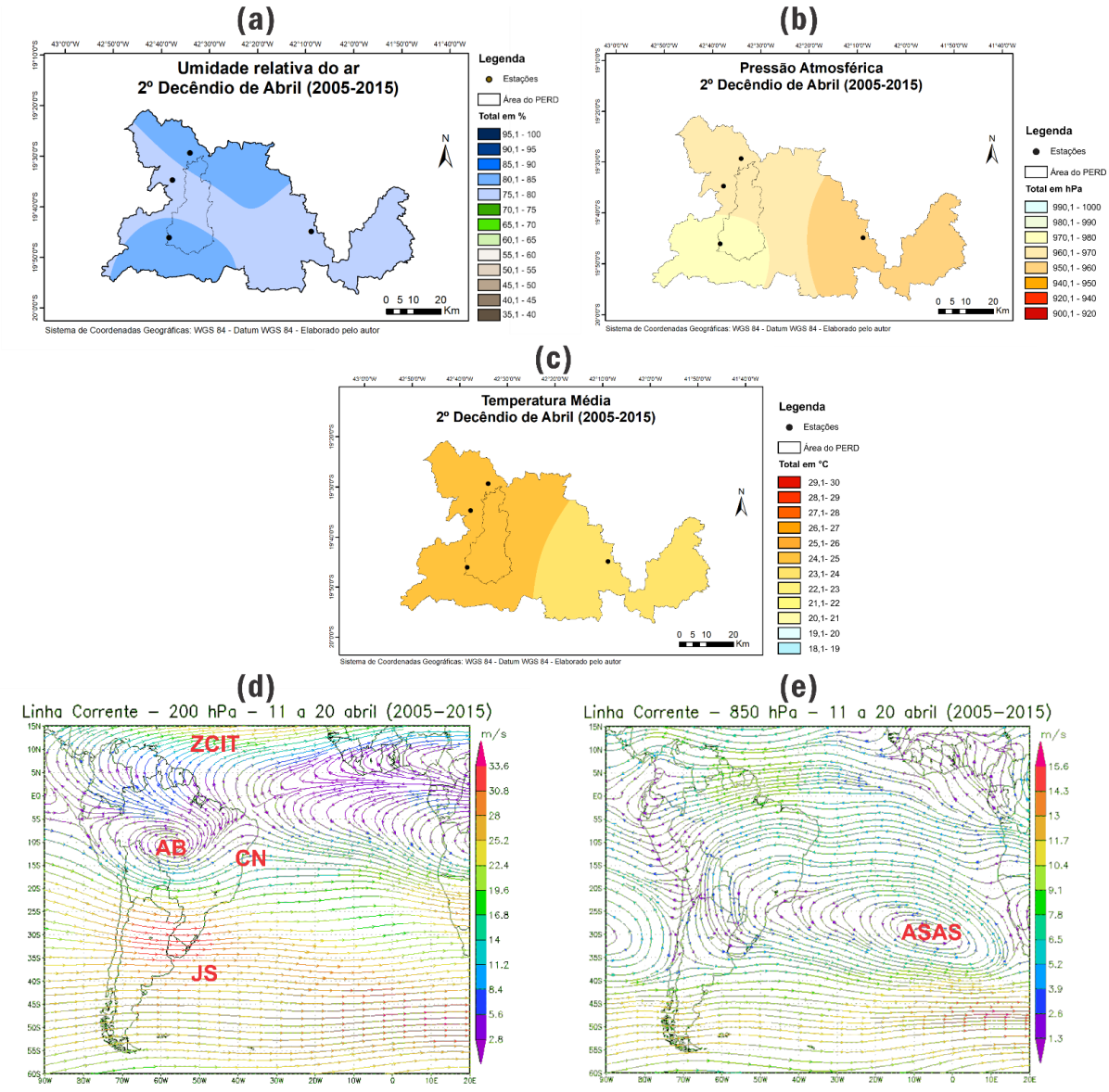
Observou-se nos altos níveis de 200 hPa do mês de maio (Figuras 37d, 38d, 39d) que o escoamento atmosférico se mostra em normalidade com a média climatológica, estendendo desta forma até os decêndios de setembro (Figuras 49d, 50d, 51d). A AB, por sua vez, no período citado se mantem em sua posição climatológica no noroeste da América do Sul. Já em níveis de 850 hPa é possível observar que entre o 3º decêndio de maio (Figura 39e) e 3º decêndio de setembro (Figura 51e) o ASAS com seu giro anti-horário persiste sobre o continente, apresentando um leve deslocamento para oeste.

Figura 34 Primeiro decêndio de abril sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



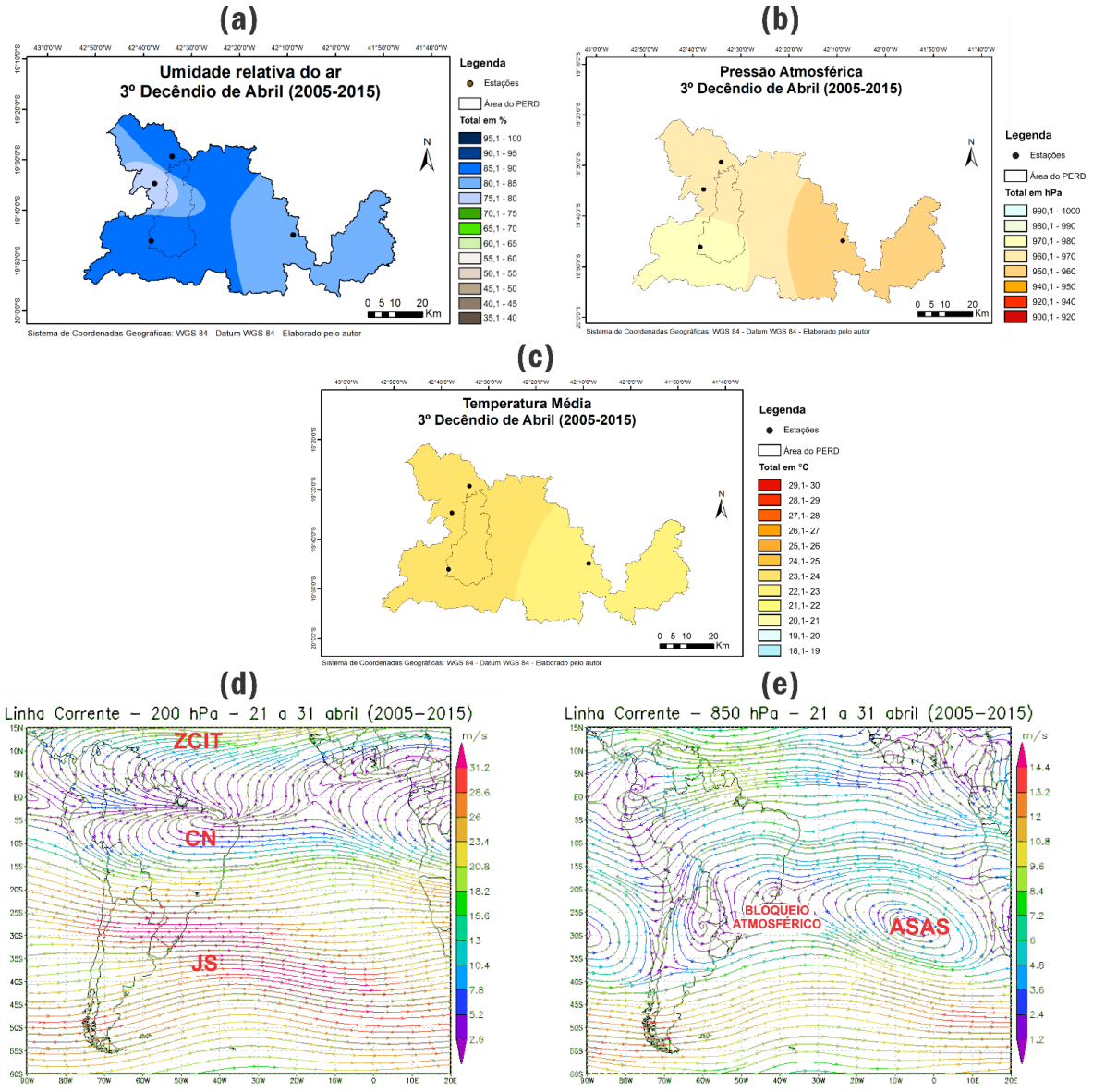
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 35 – Segundo decêndio de abril sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



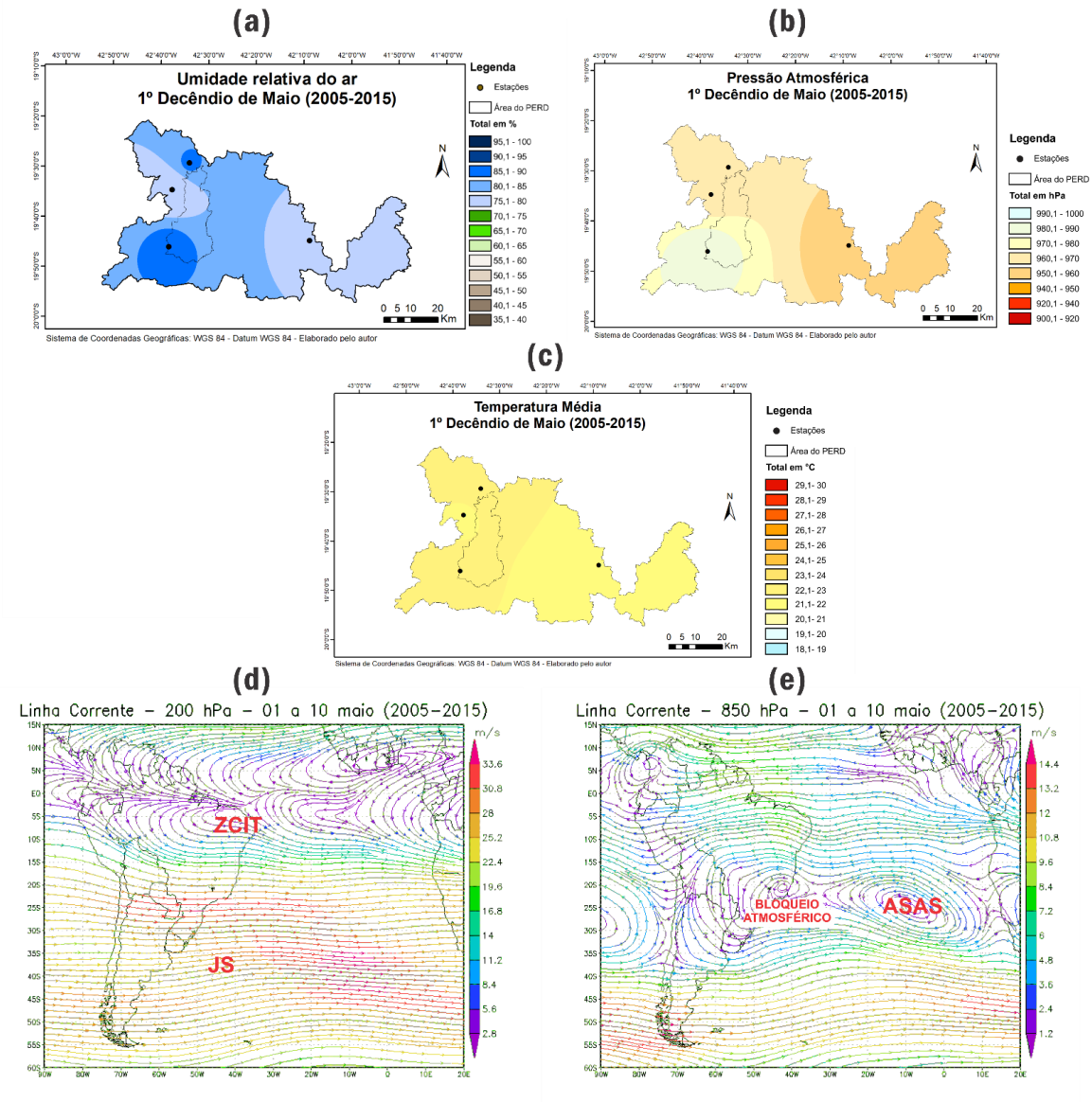
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 36 – Terceiro decêndio de abril sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e Bloqueio Atmosférico.



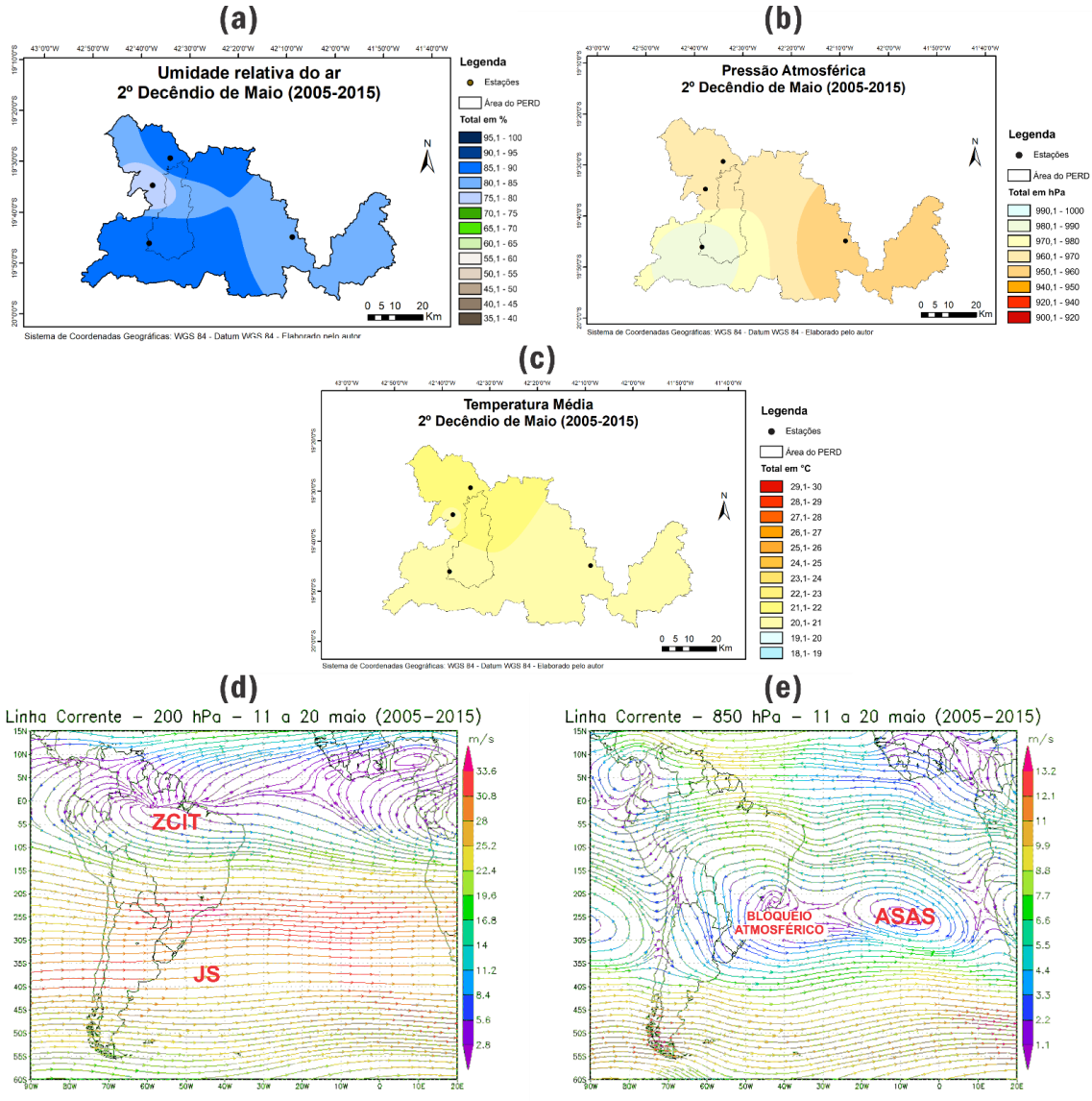
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 37 – Primeiro decêndio de maio sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e Bloqueio Atmosférico.



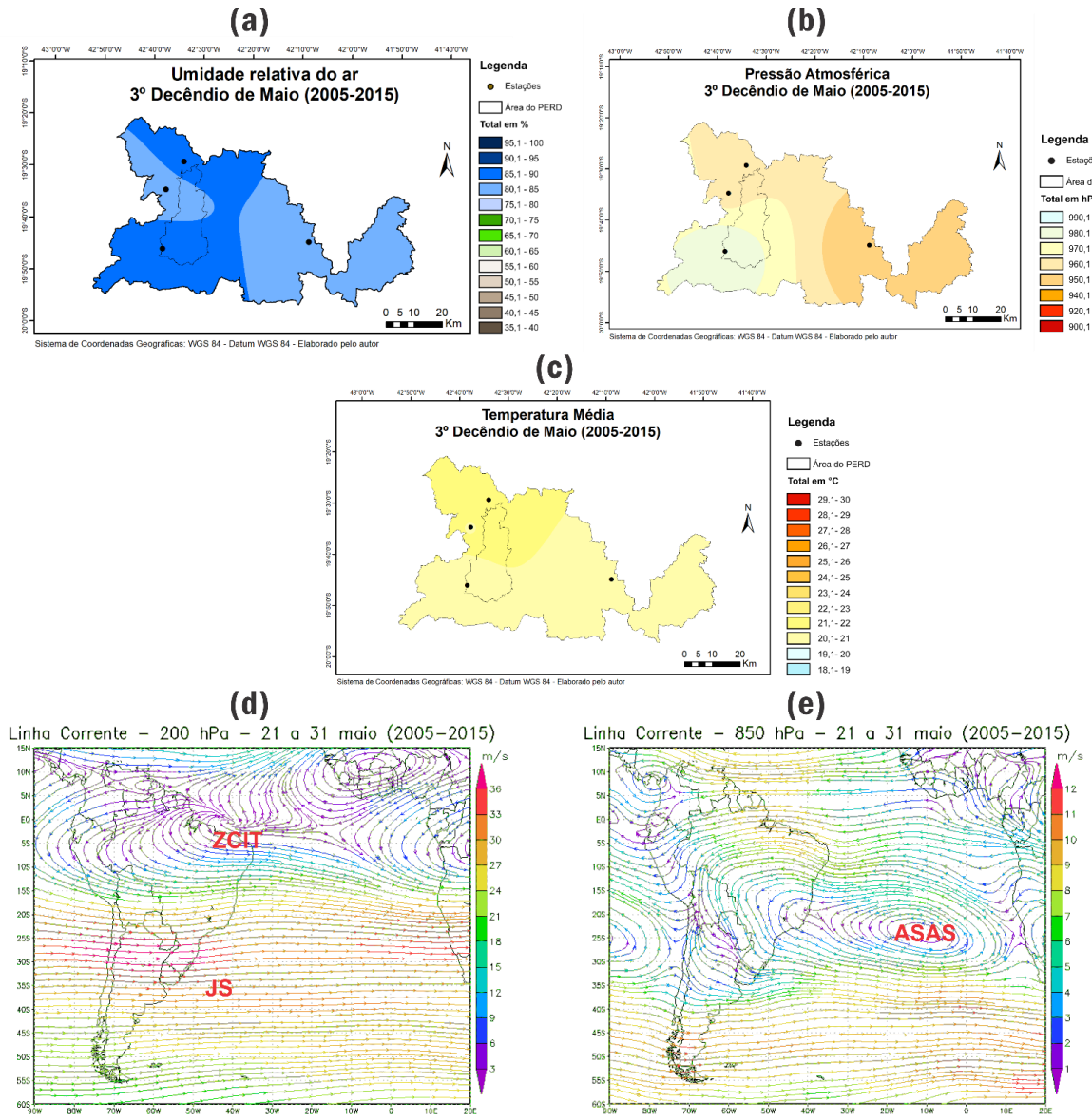
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 38 - Segundo decêndio de maio sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) Bloqueio Atmosférico.



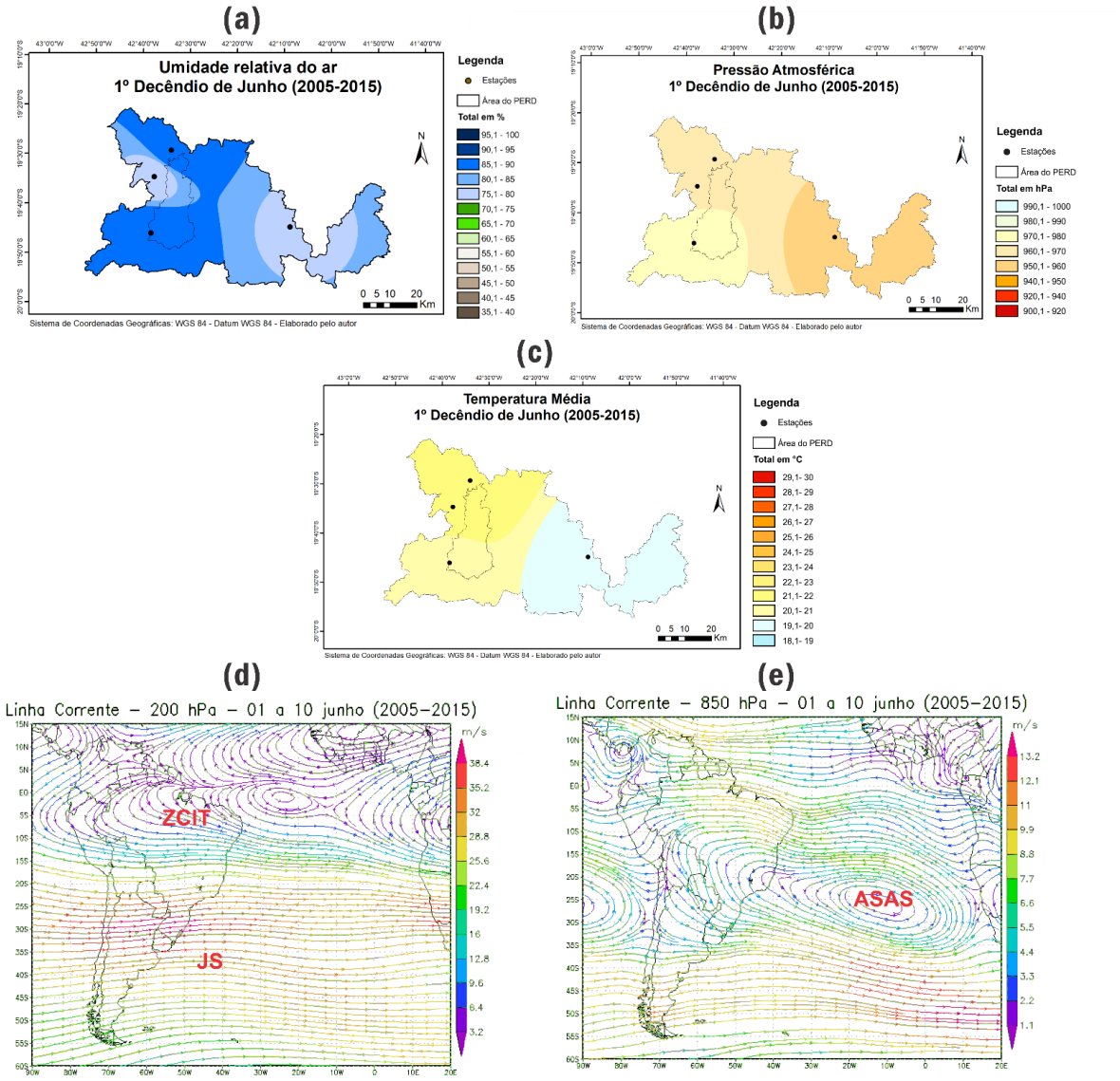
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 39 – Terceiro decêndio de maio sobre os parâmetros climáticos(a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



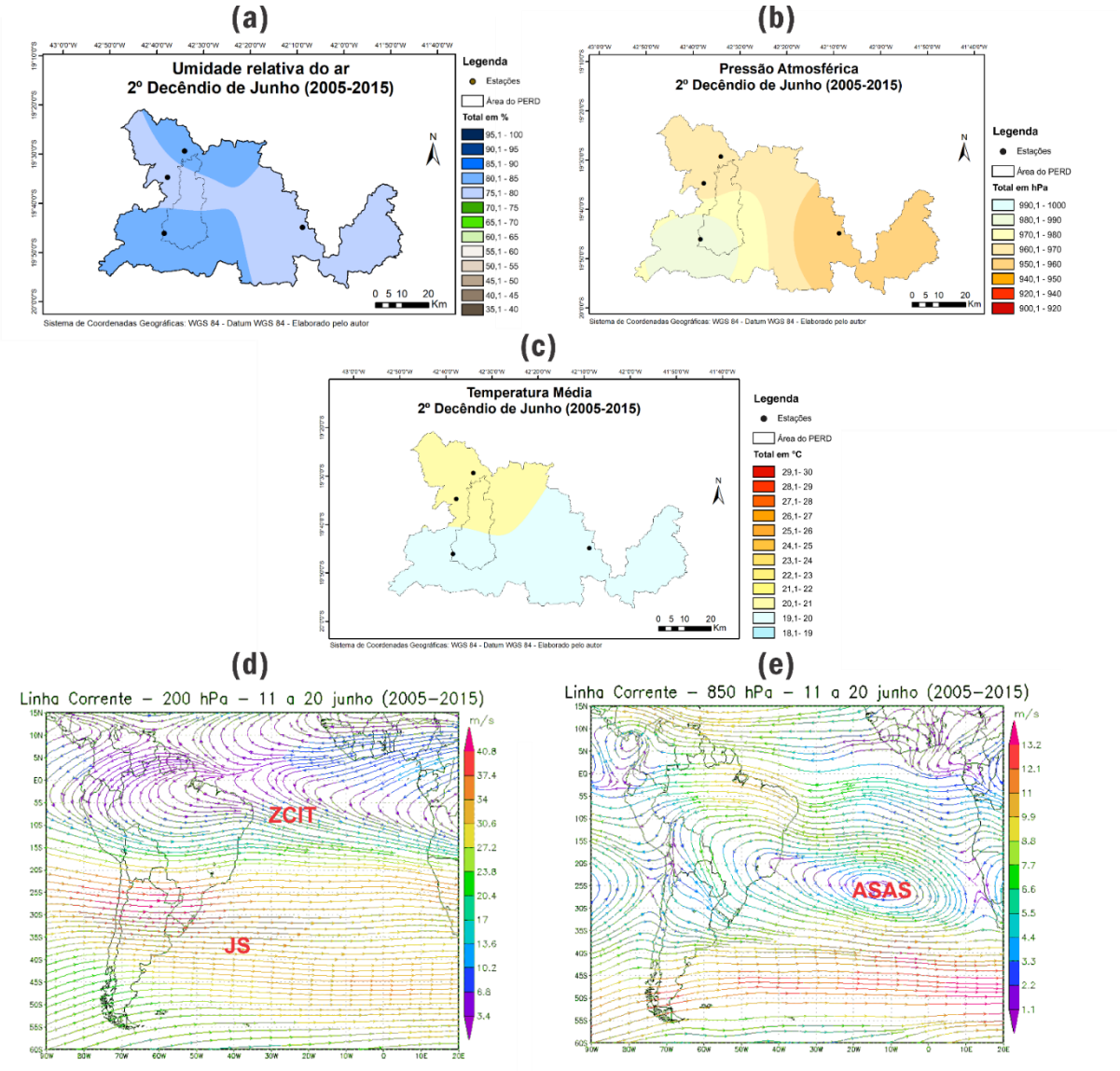
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 40 – Primeiro decêndio de junho sobre os parâmetros climáticos(a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul)



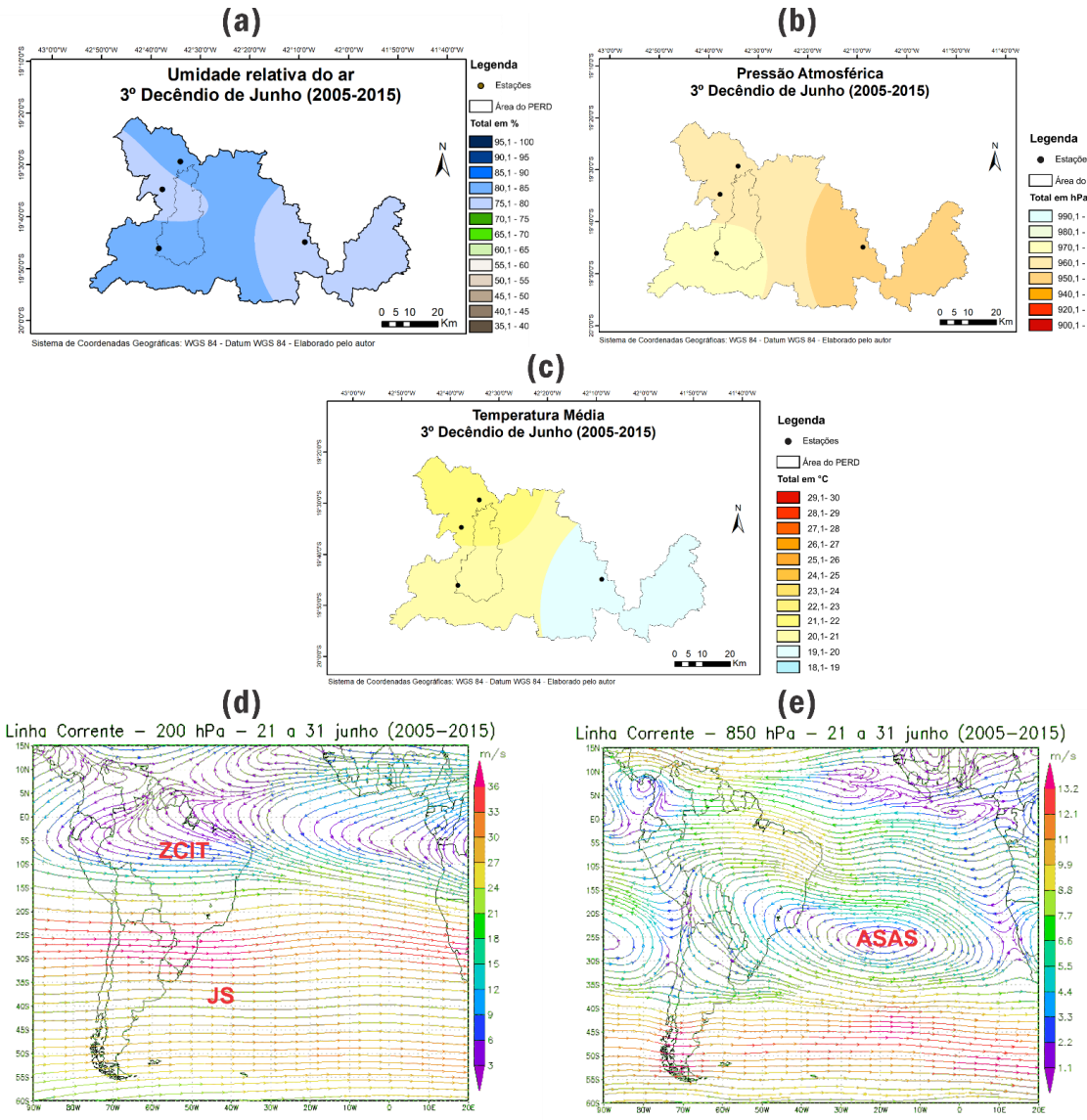
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 41 – Segundo decêndio de junho sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



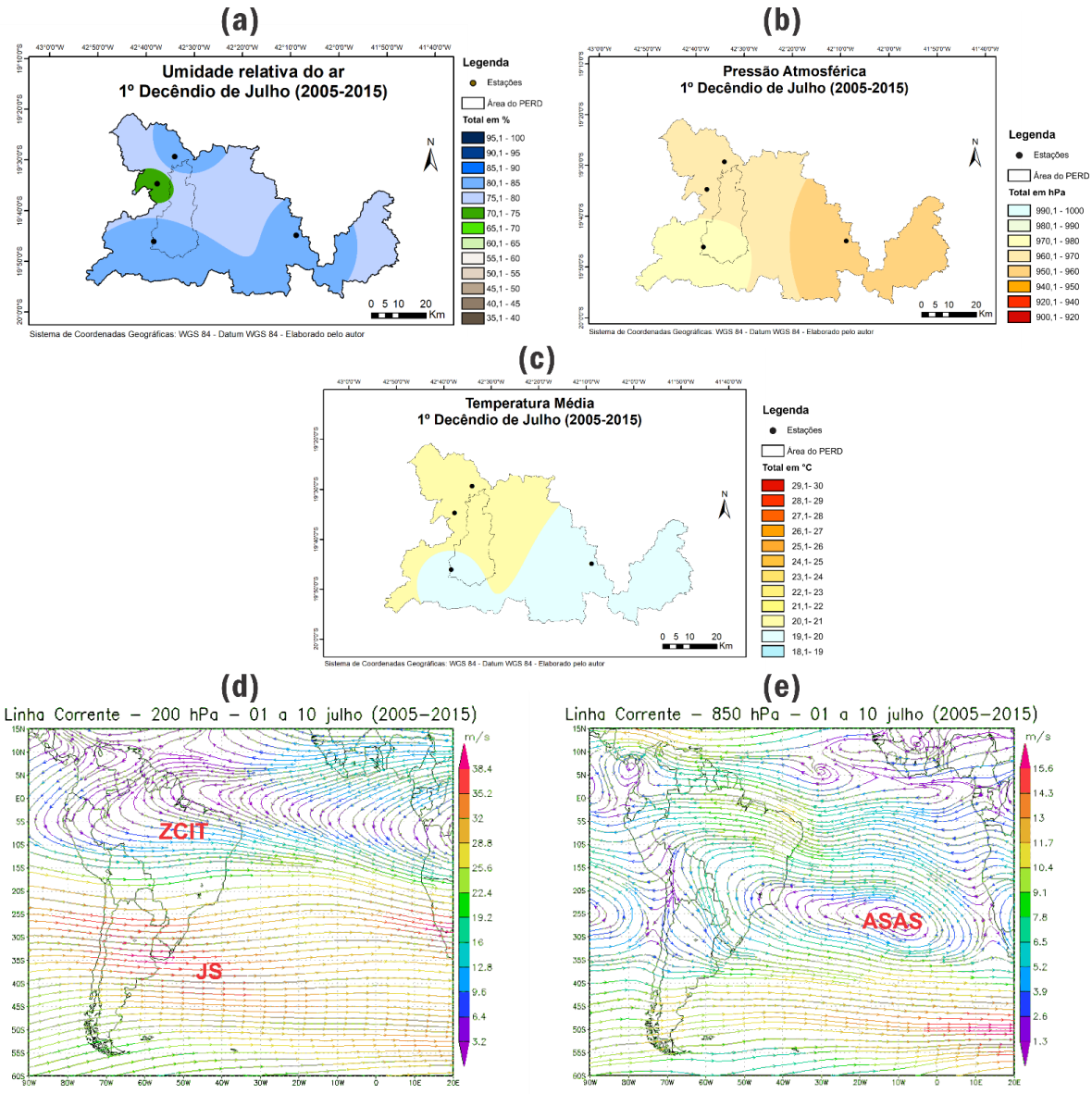
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 42 – Terceiro decêndio de junho sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



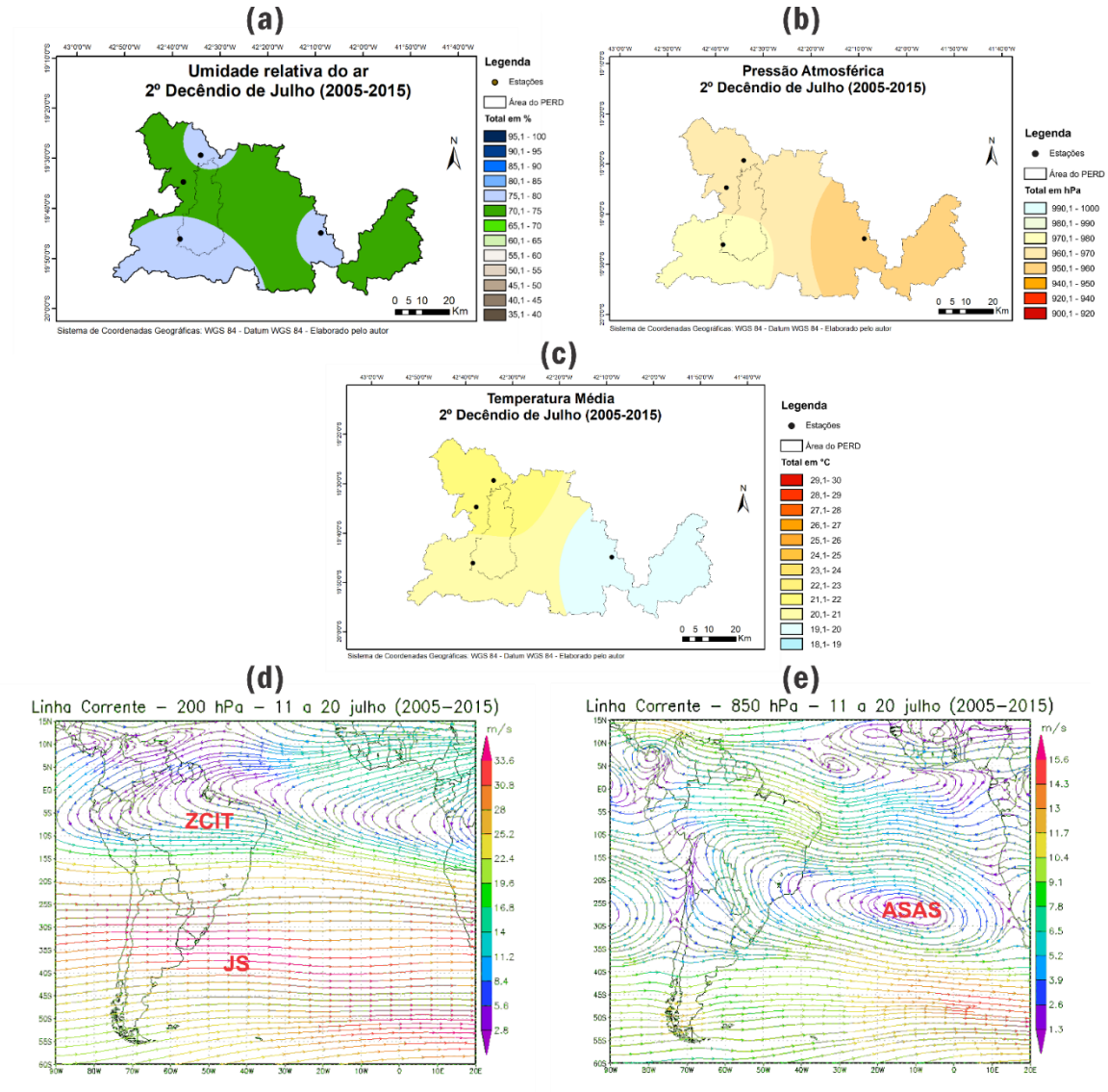
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 43 – Primeiro decêndio de Julho sobre sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



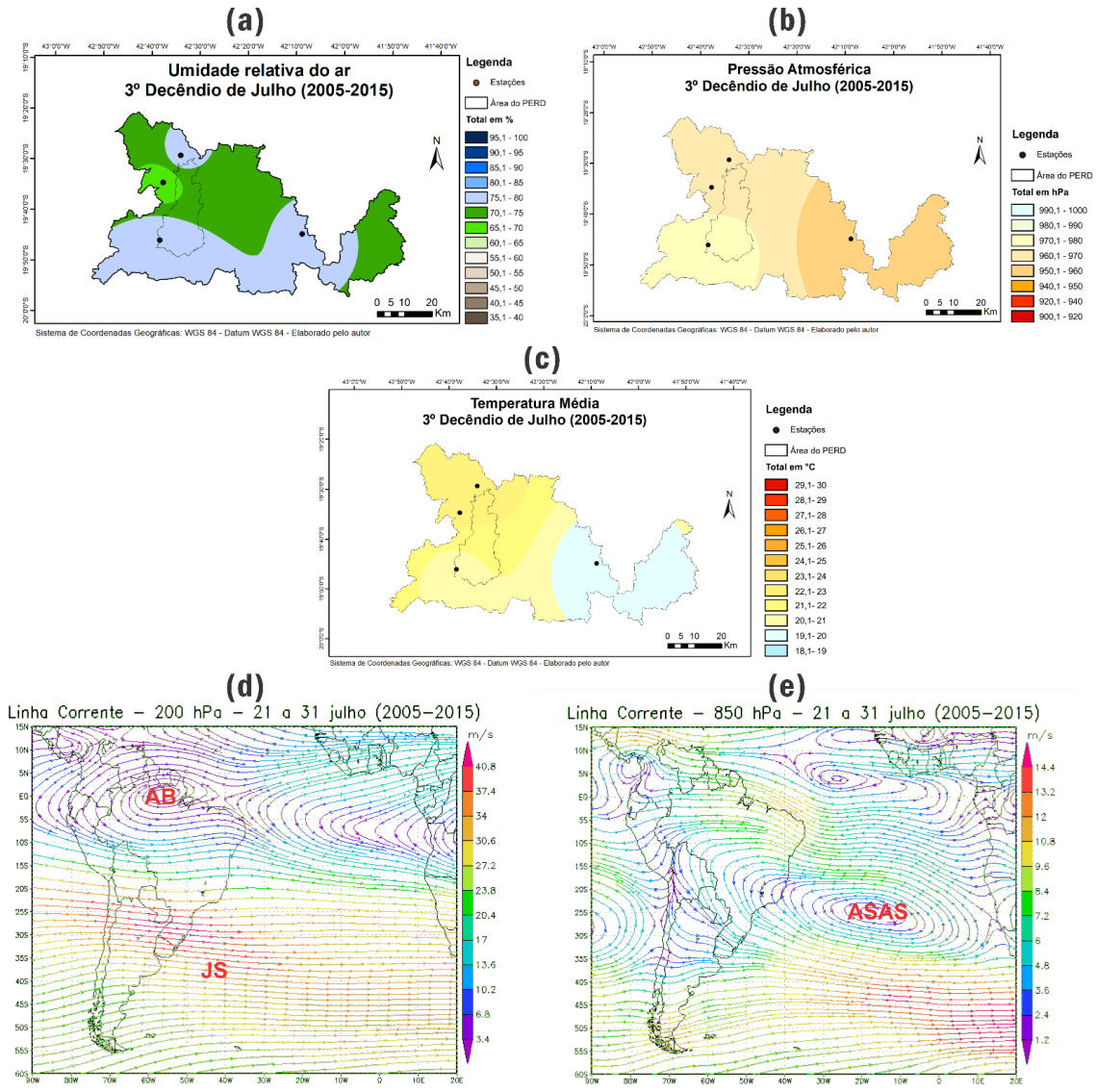
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 44 – Segundo decêndio de julho sobre os parâmetros climático (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença do JS (Jato Subtropical), ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul)



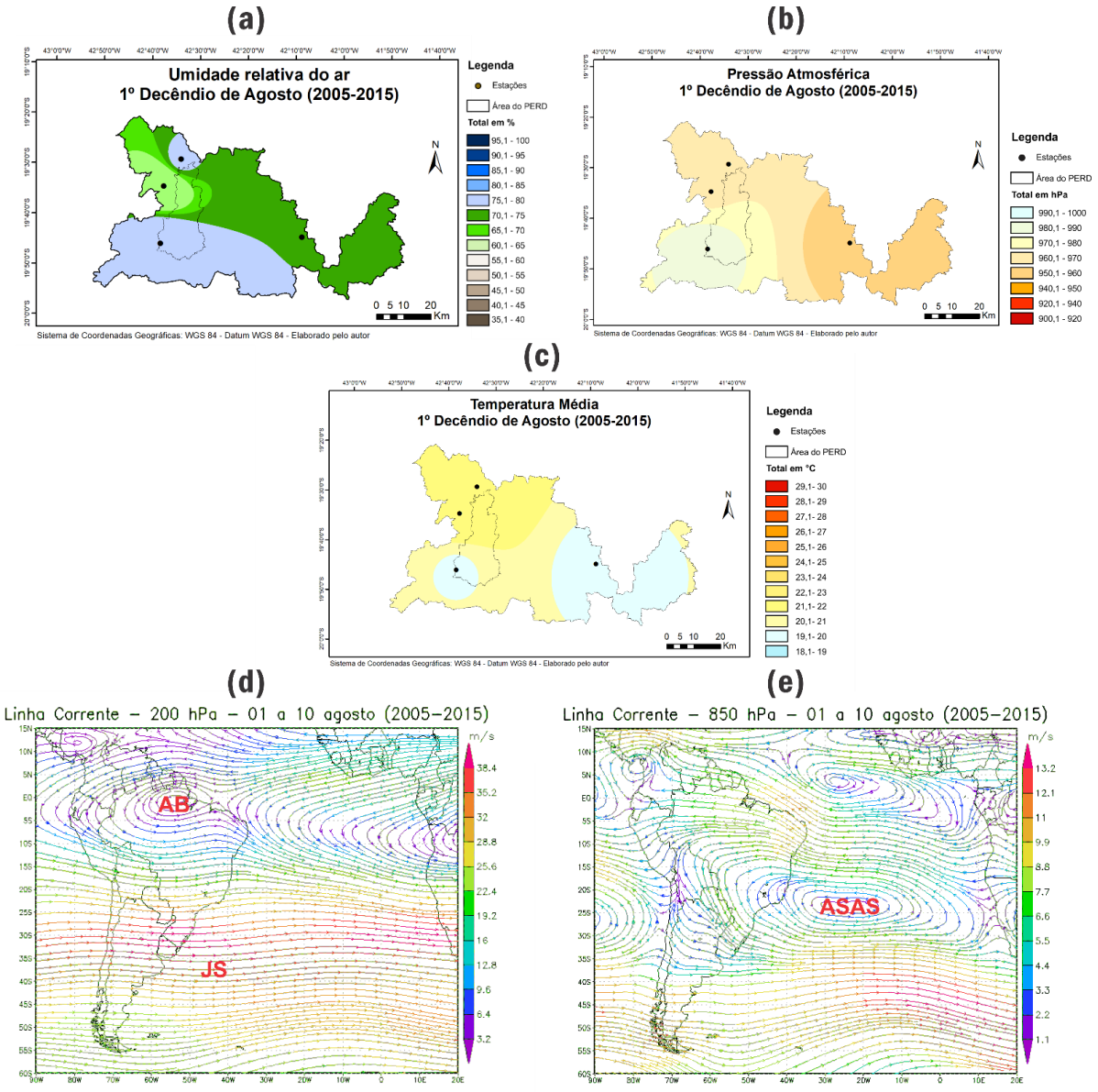
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 45 – Terceiro decêndio de julho sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



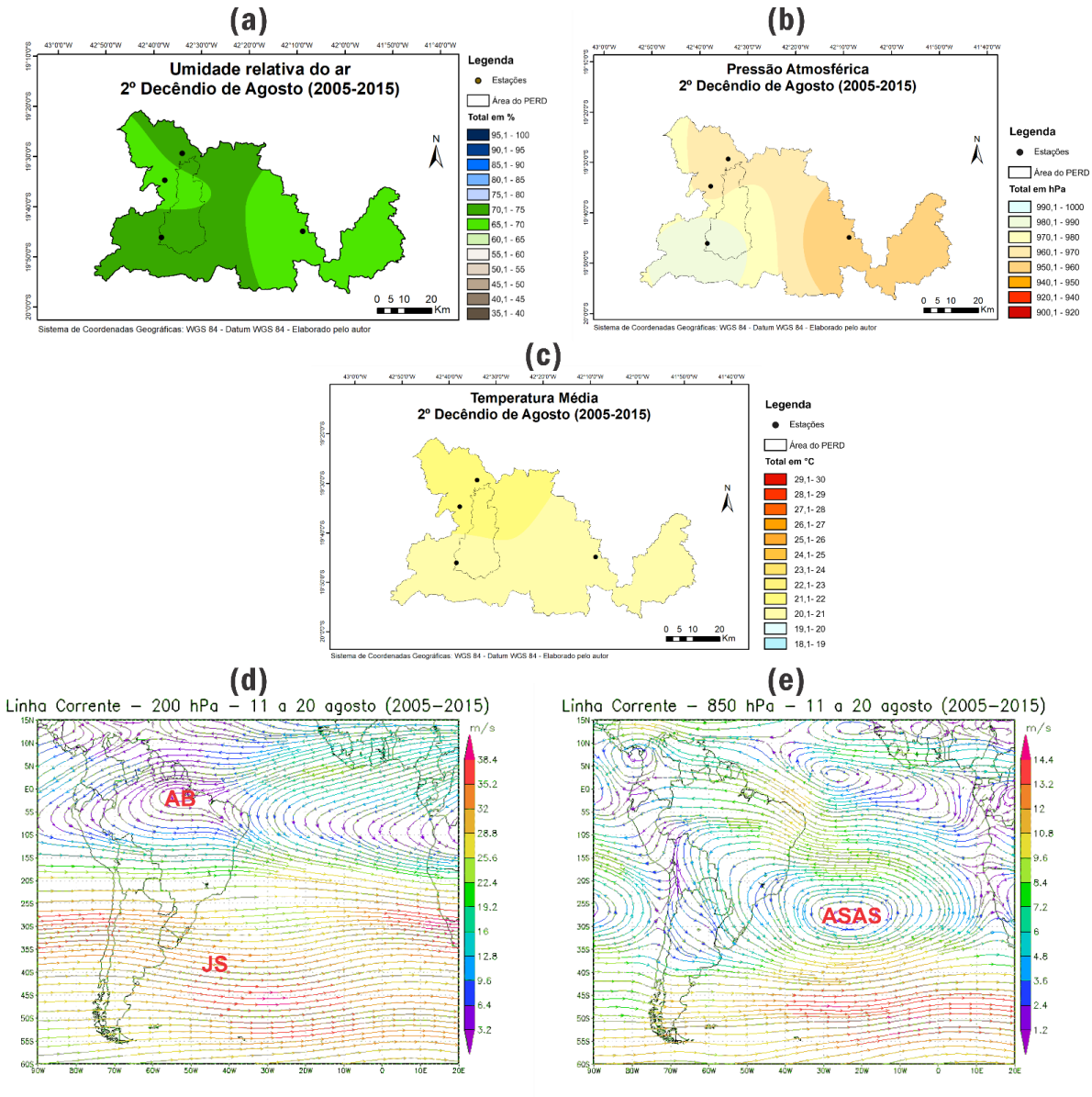
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 46 – Primeiro decêndio de agosto sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul)



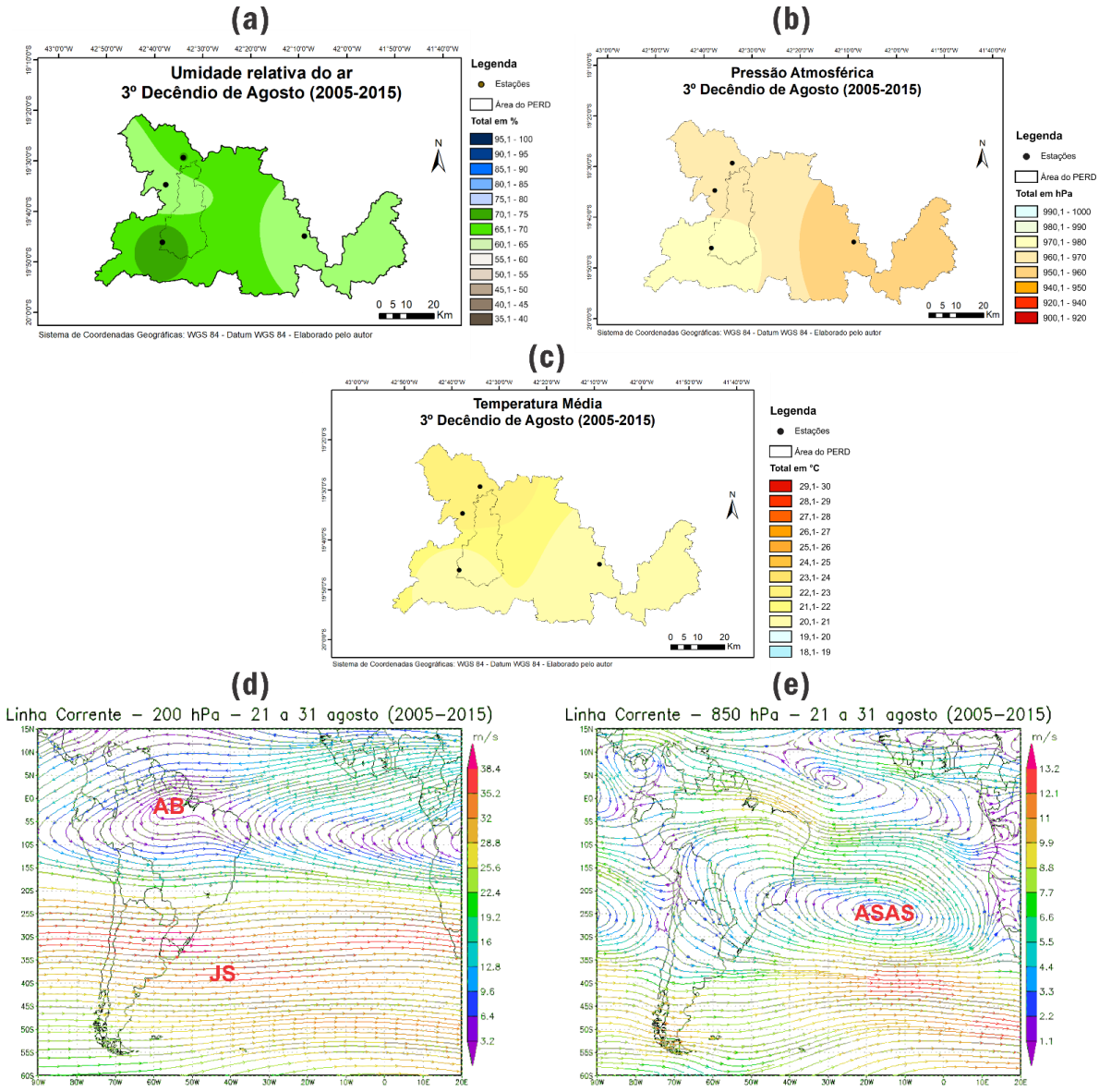
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 47 – Segundo decêndio de agosto sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul)



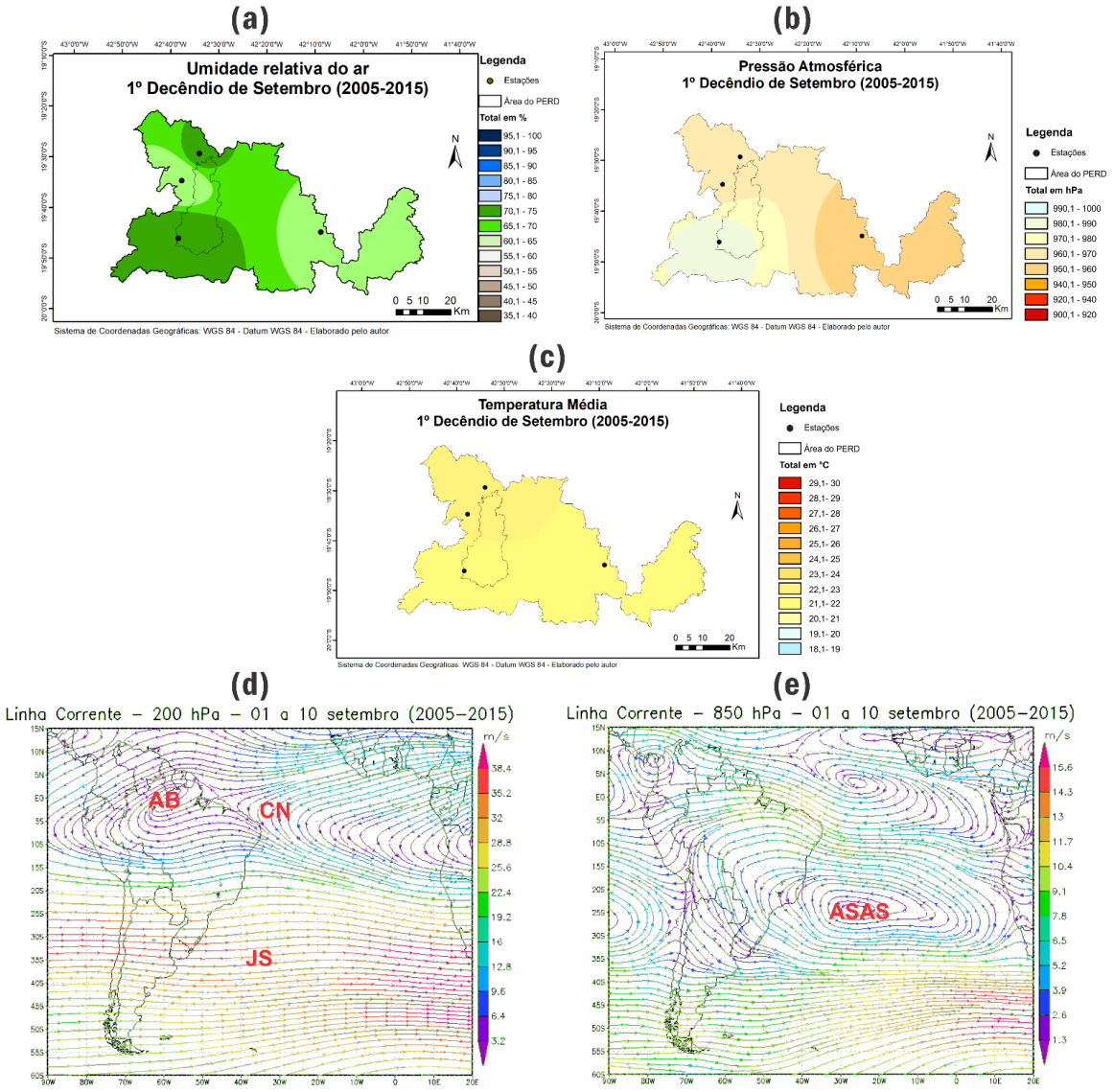
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 48 – Terceiro decêndio de agosto sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



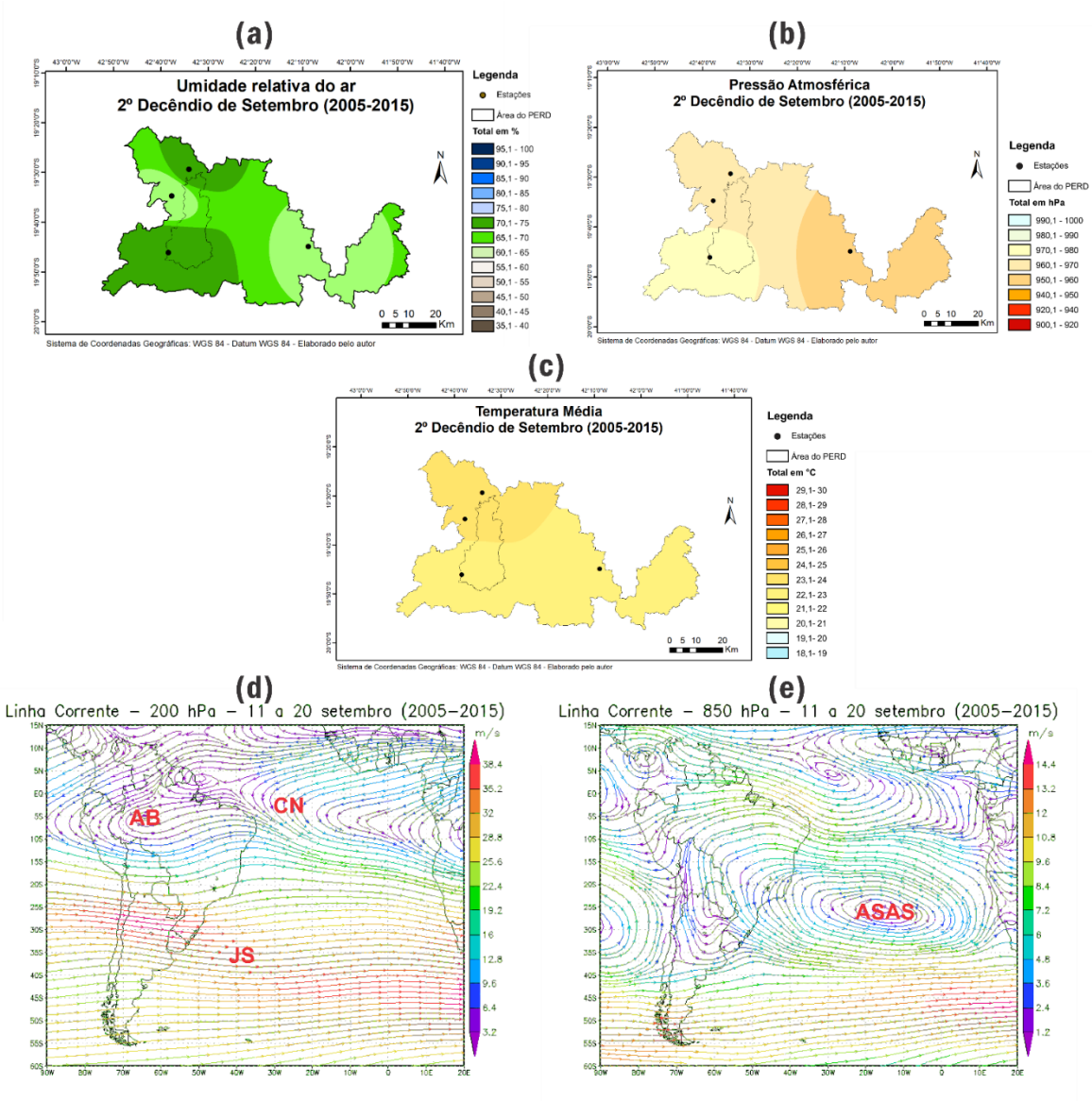
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 49 – Primeiro decêndio de Setembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



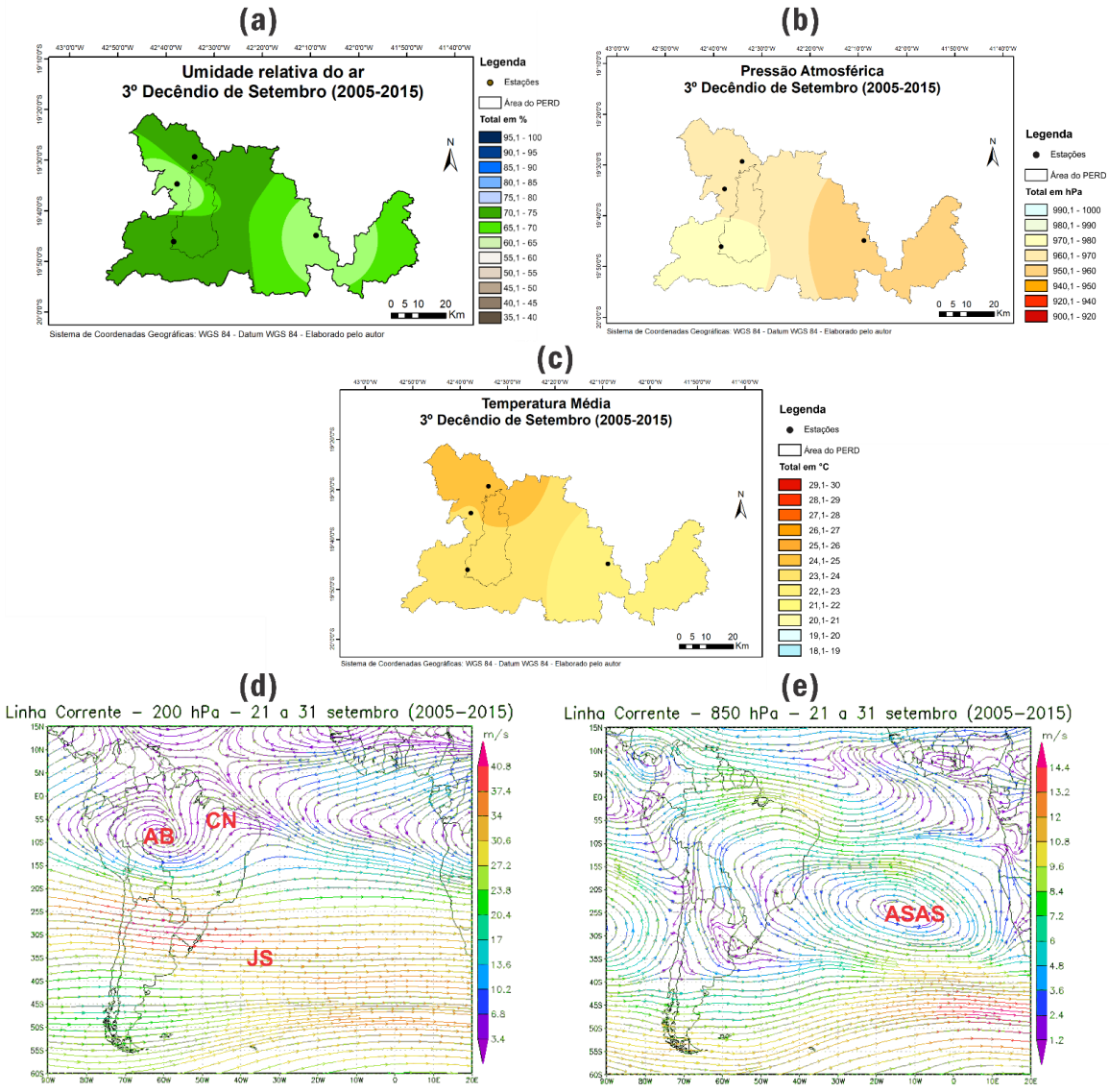
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 50 – Segundo decêndio de setembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul)



Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 51 – Terceiro decêndio de setembro sobre os parâmetros climáticos(a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul)



Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

4.2.2 Espacialização dos parâmetros climáticos e aspectos dinâmicos na estação chuvosa

A partir do início da estação chuvosa nos decêndios de outubro e novembro (APÊNDICE 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A), verificou-se a ocorrência de significativas alterações sobre os parâmetros climáticos na região do PERD e seu entorno. Esses decêndios caracterizaram-se por uma transição e efetivação da estação chuvosa apresentando uma elevação nos valores médios de temperatura em todas as estações, assim como nos valores de

umidade relativa, que no 3º decêndio de novembro registrou médias superiores a 77% (Apêndice 3Aa).

Os valores de pressão atmosférica demonstraram, ao longo dos decêndios, uma pequena oscilação, as quais a porção centro-sul do PERD registrou os valores mais elevados entre 970 hPa e 973 hPa. Nos campos de vento em altura geopotencial de 200 hPa, nota-se uma dinâmica de formação e intensificação da *Alta da Bolívia* e recuo do *Cavalo do Nordeste*. Em contrapartida, na altura de 850 hPa, é possível identificar o enfraquecimento do ASAS sobre o continente, assumindo sua posição climatológica sobre o oceano Atlântico (Apêndice 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A).

Sobre os decêndios de dezembro, nota-se nos dados de temperatura e umidade relativa uma elevação em todas as estações meteorológicas. Vale ressaltar que, na área do PERD, ao longo dos decêndios, ocorreram variações nos valores de umidade apresentando na porção centro-oeste do território valor inferior a 75%, em contrapartida, nas demais áreas do parque, observou-se uma variação entre 80% e 85% (Figura 53a).

O mês de janeiro indicou, por meio dos mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa e 850 hPa, a presença de sistemas e mecanismos atmosféricos que dinamizaram as variáveis climatológicas no decorrer dos três decêndios. Identifica-se a presença da AB em sua posição climatológica, assim como a presença do CN que configurou, no 2º decêndio, (Figura 56d) a formação de um bloqueio atmosférico que, juntamente com a posição do ASAS no campo de 850 hPa, contribuiu para a configuração de um veranico climático na superfície no mês de fevereiro (Figuras 56e, 57e, 58e, 59e, 60e).

Quanto aos dados de pressão atmosférica e temperatura, registrou-se respectivamente a diminuição e elevação dos mesmos (figuras 57b, 57c).

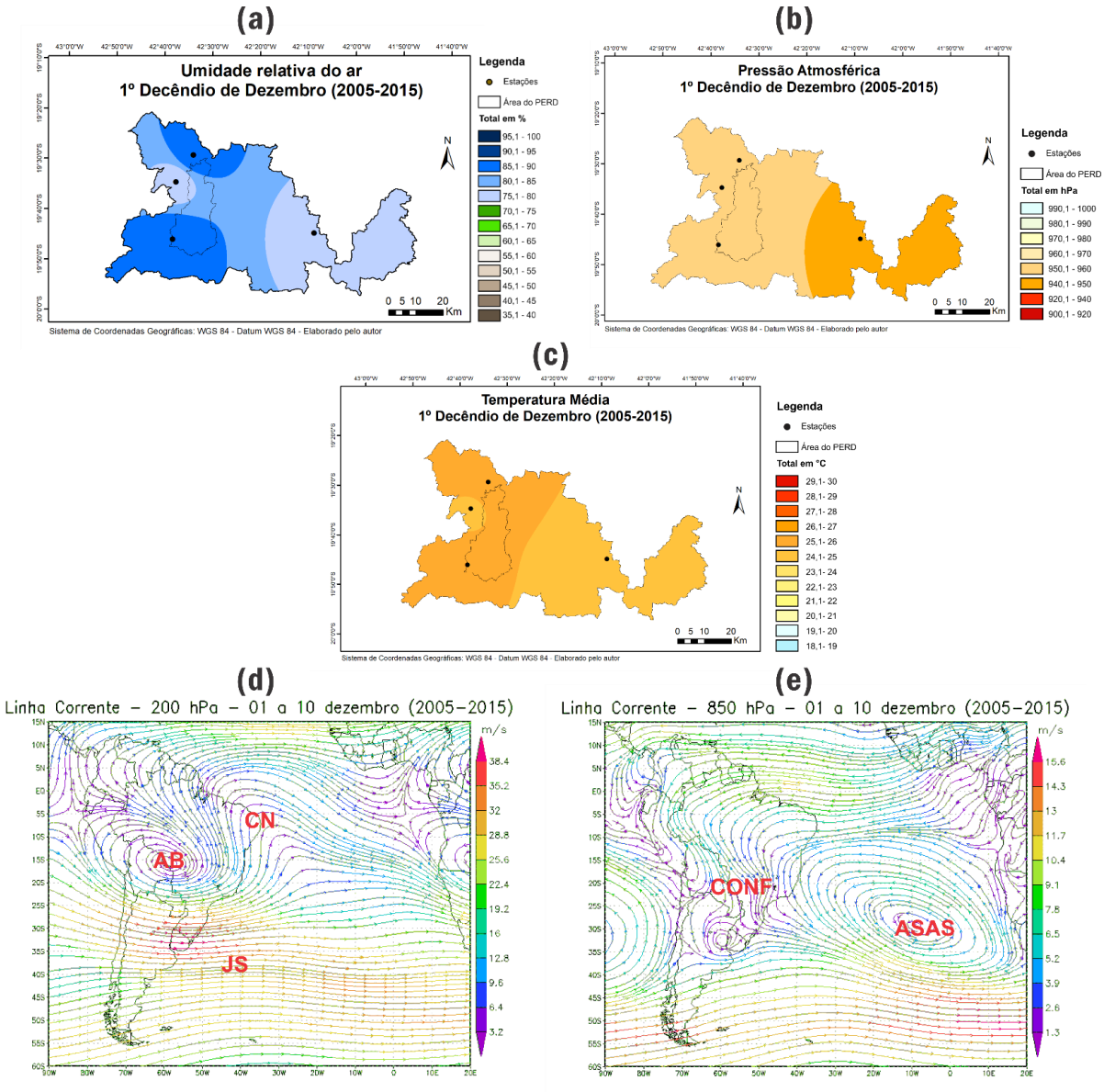
A transição entre o 3º decêndio de janeiro para o 1º decêndio de fevereiro foi marcada por grandes transformações nos elementos climáticos deste estudo, conforme pode ser observado nas figuras 58, 59 e 60. A análise dos dados apresentados nos mapas decendiais indicaram redução nos valores da pressão atmosférica e umidade relativa em todas as estações. Quanto à temperatura, os registros foram de elevação nos decêndios de fevereiro (Figuras 58c, 59c, 60c).

O resultado da dinâmica apresentada acima pode ser evidenciado mediante à ocorrência de um veranico climático que se trata de um fenômeno como “períodos curtos de dias consecutivos sem chuva ou com baixo totais de precipitação, durante o período chuvoso” (CUPOLILLO, 2015, p.56), sendo propiciado pela influência de sistemas atmosféricos que inibem a formação de nebulosidade e geram um mecanismo de subsidência que favorece a

estabilidade atmosférica. Esse fato também é observado por Antunes (2018) em relação ao PERD.

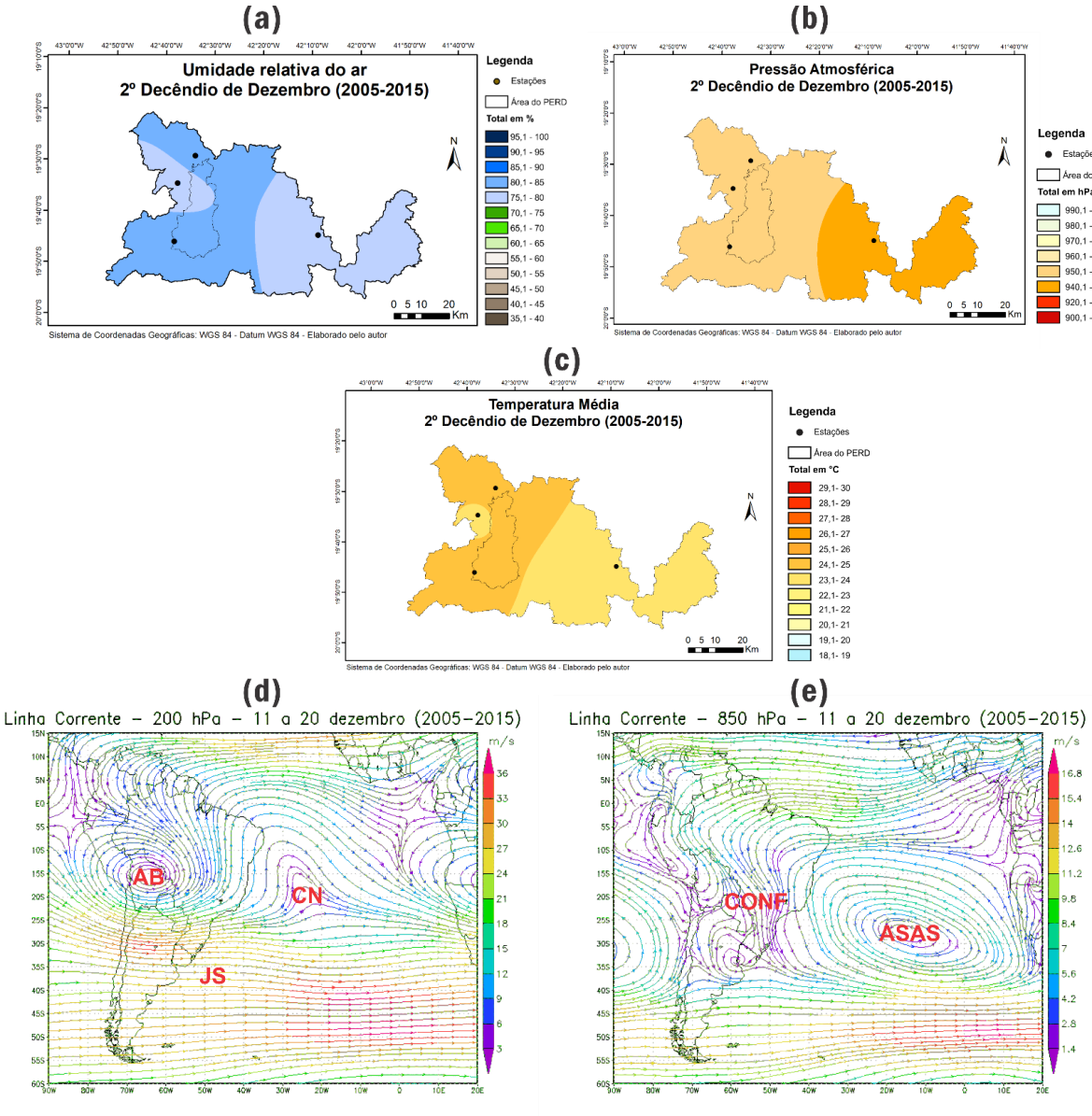
A partir dos decêndios de março, observa-se nos mapas de linhas de corrente 200 hPa, o avanço da AB sobre a região sudeste e um ligeiro recuo do CN. Tal fato contribui para o aumento gradativo da umidade relativa do ar e pressão atmosférica com redução da temperatura (Figuras 61, 62, 63).

Figura 52 – Primeiro decêndio de dezembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência).



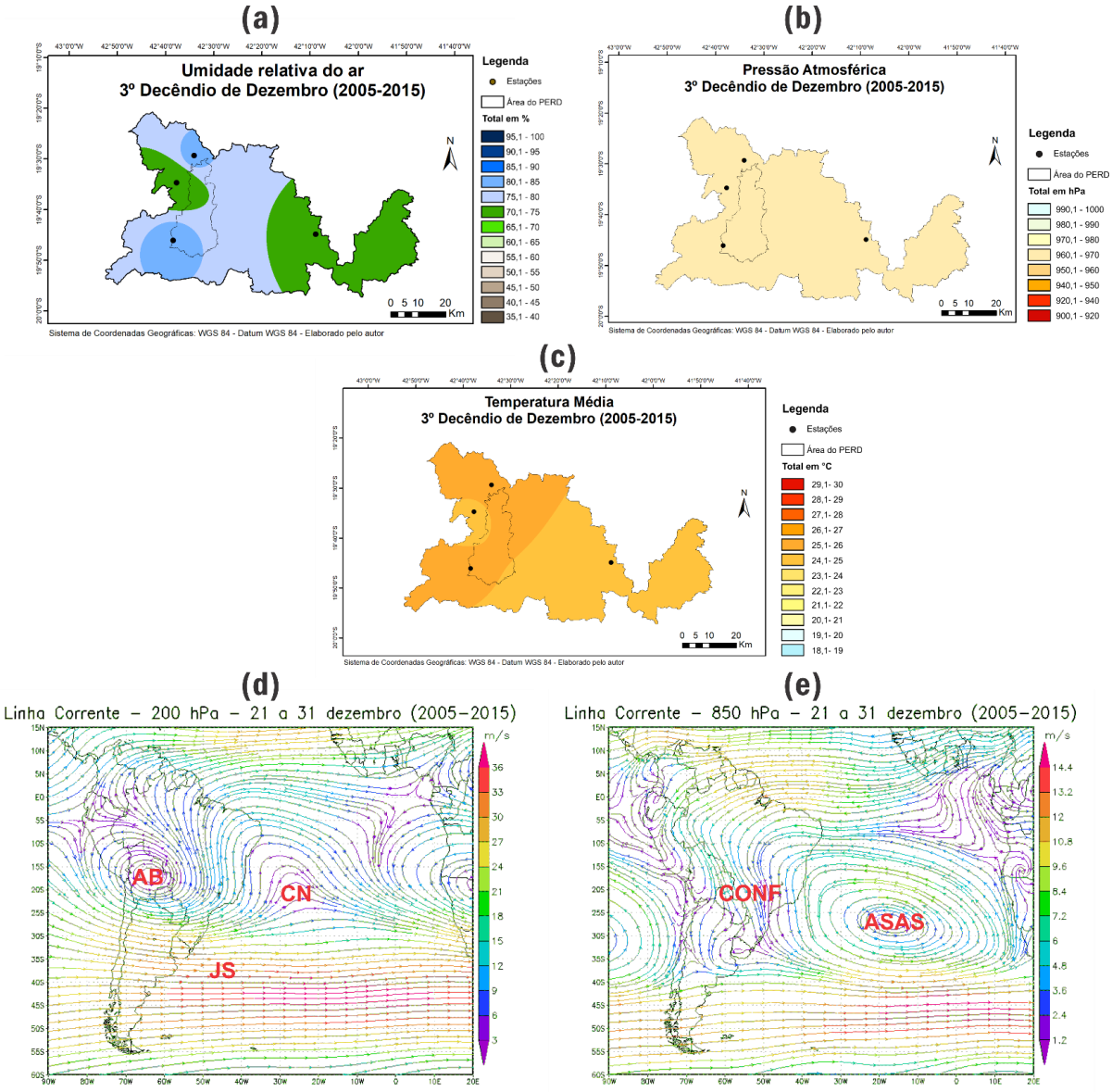
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 53 – Segundo decêndio de dezembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência).



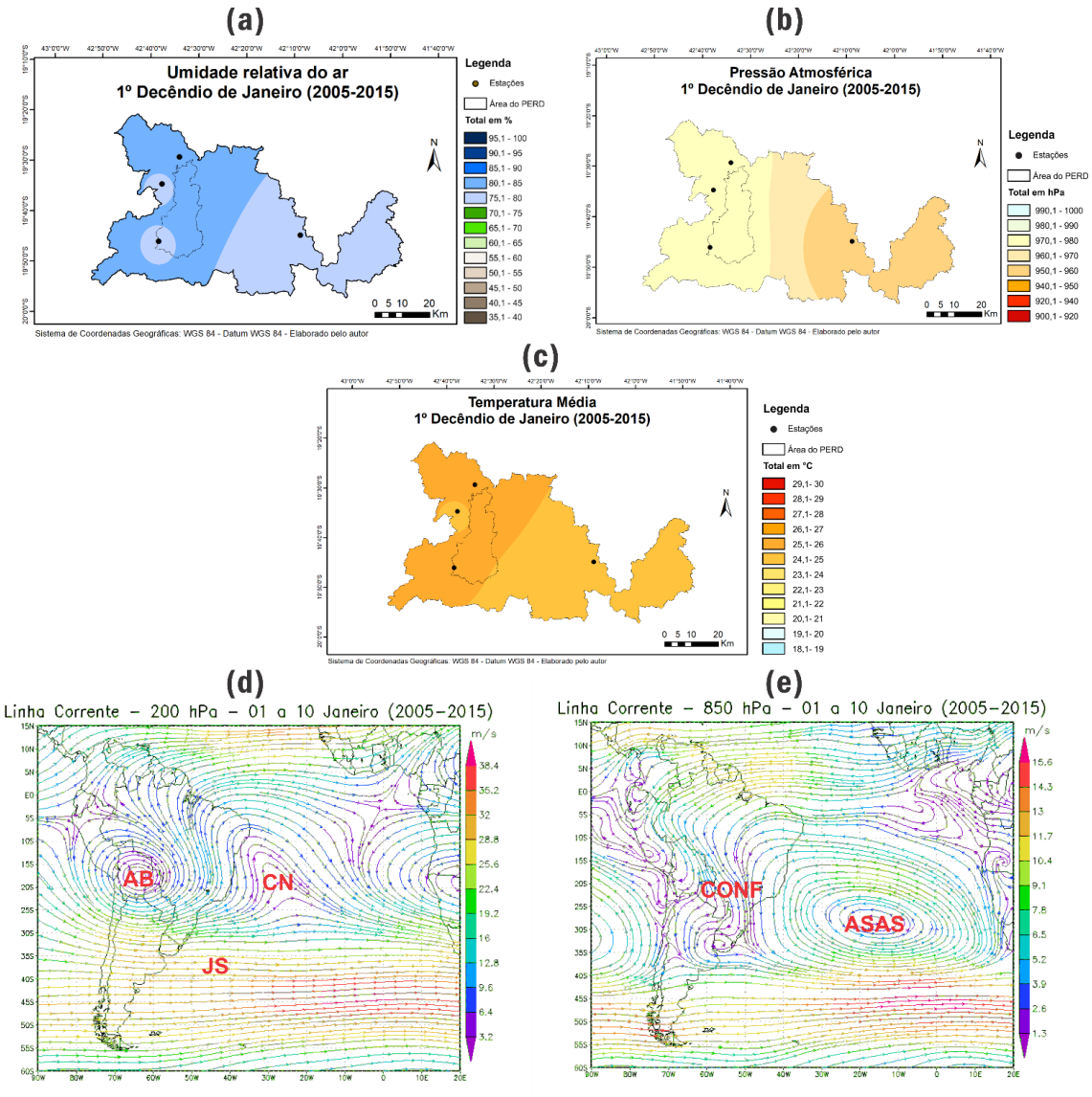
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 54 – Terceiro decêndio de dezembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência).



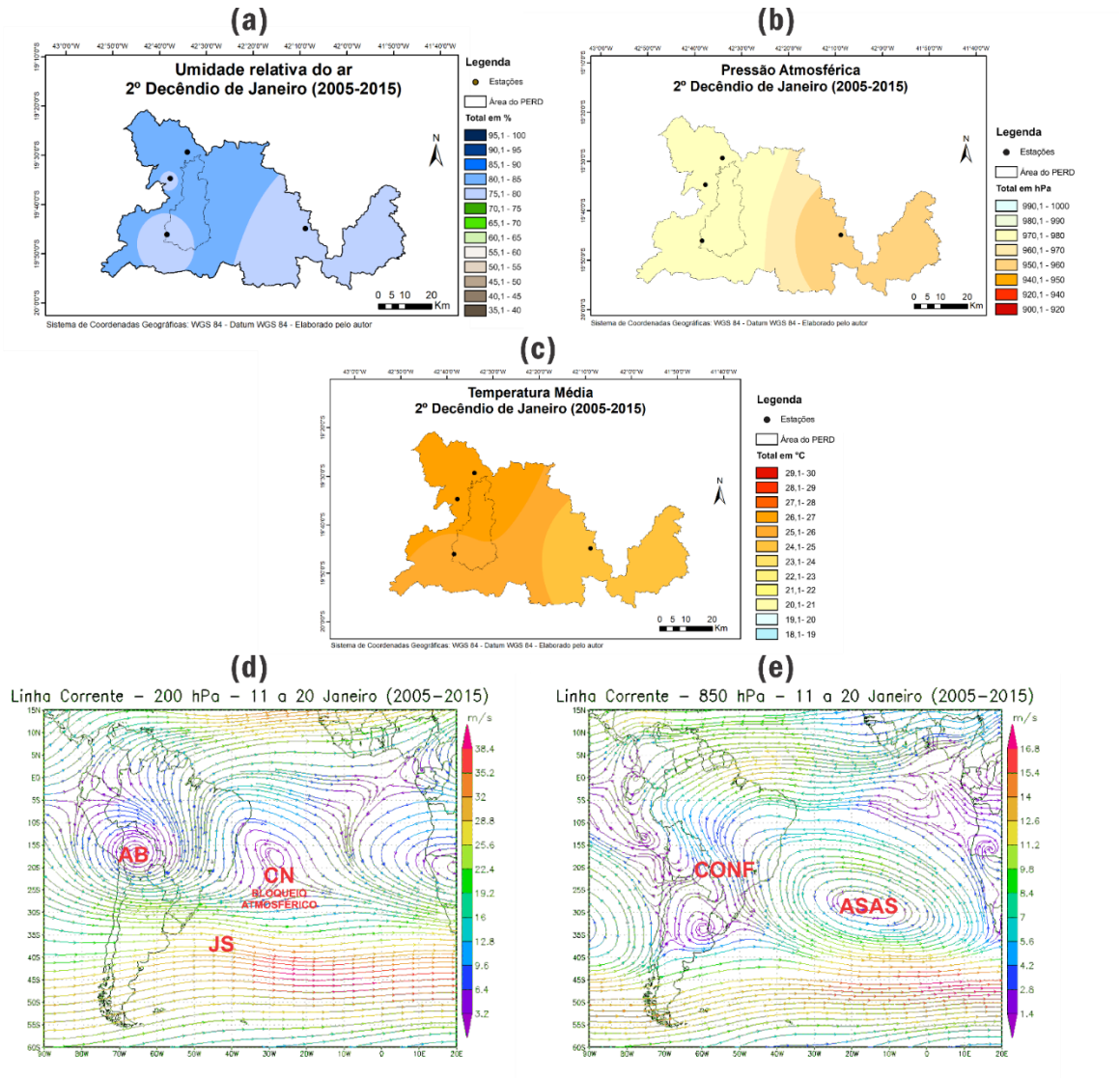
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 55 – Primeiro decêndio de janeiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência).



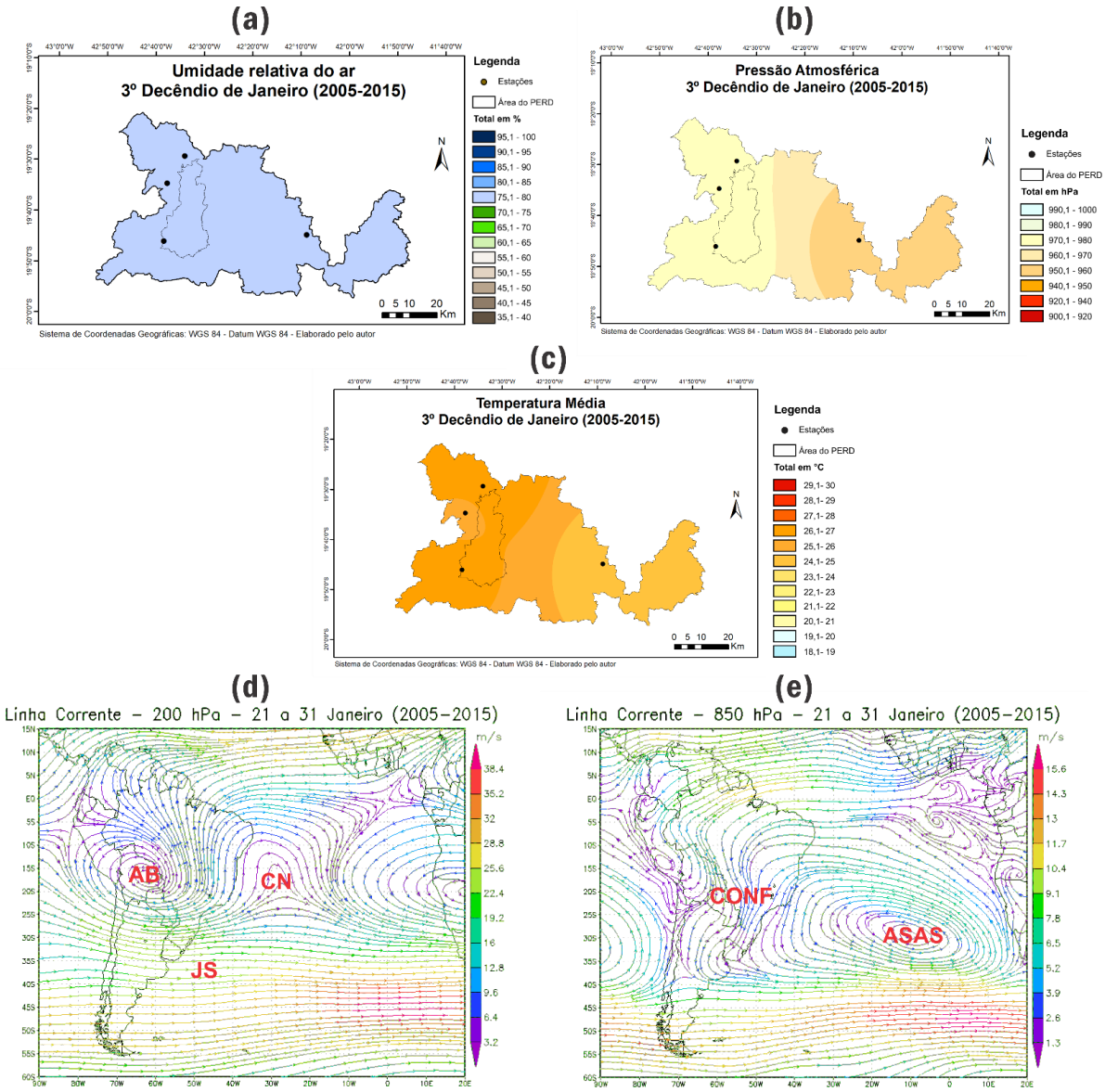
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 56 – Segundo decêndio de janeiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste) com Bloqueio Atmosférico, JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



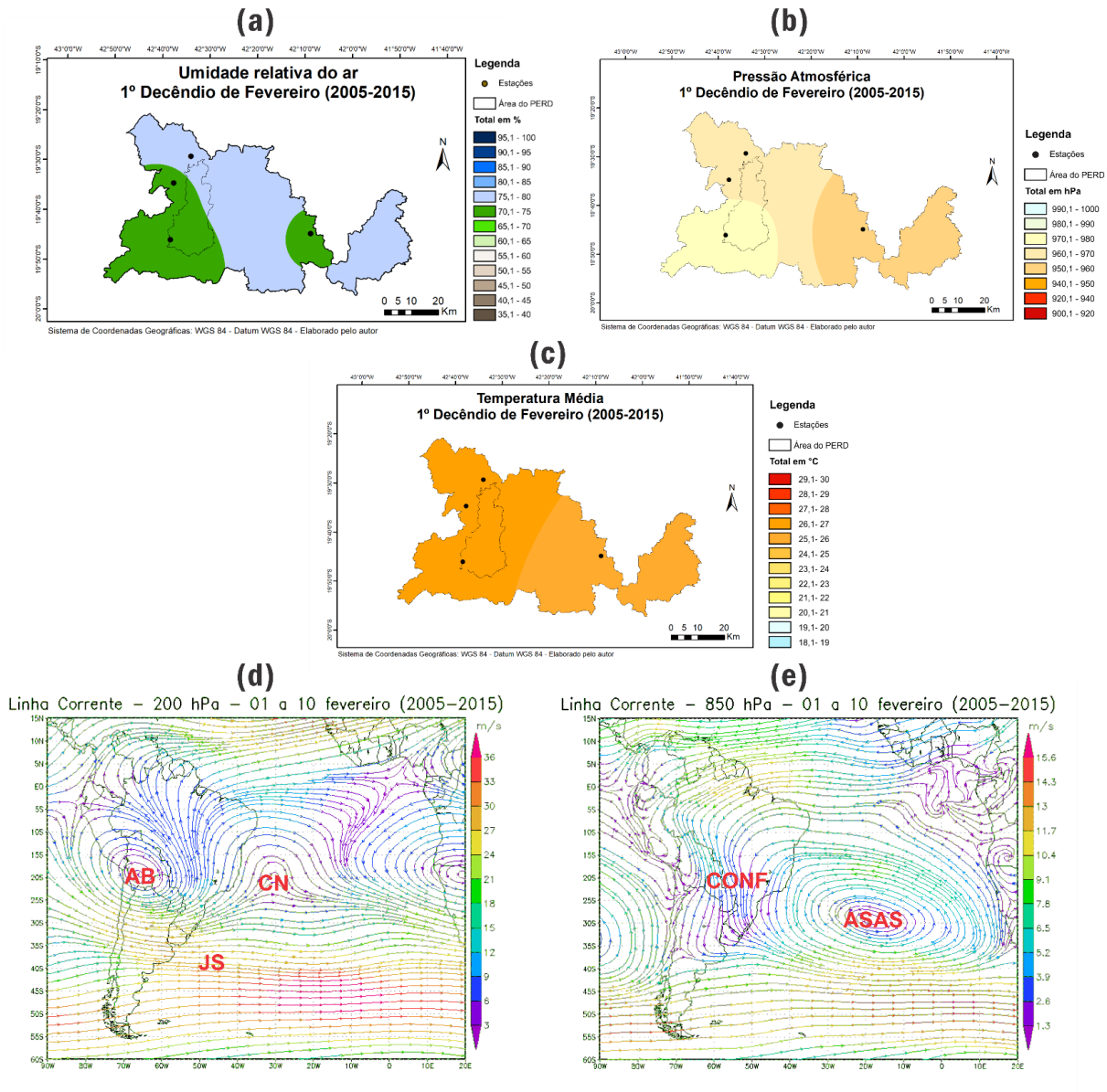
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 57 – Terceiro decêndio de sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



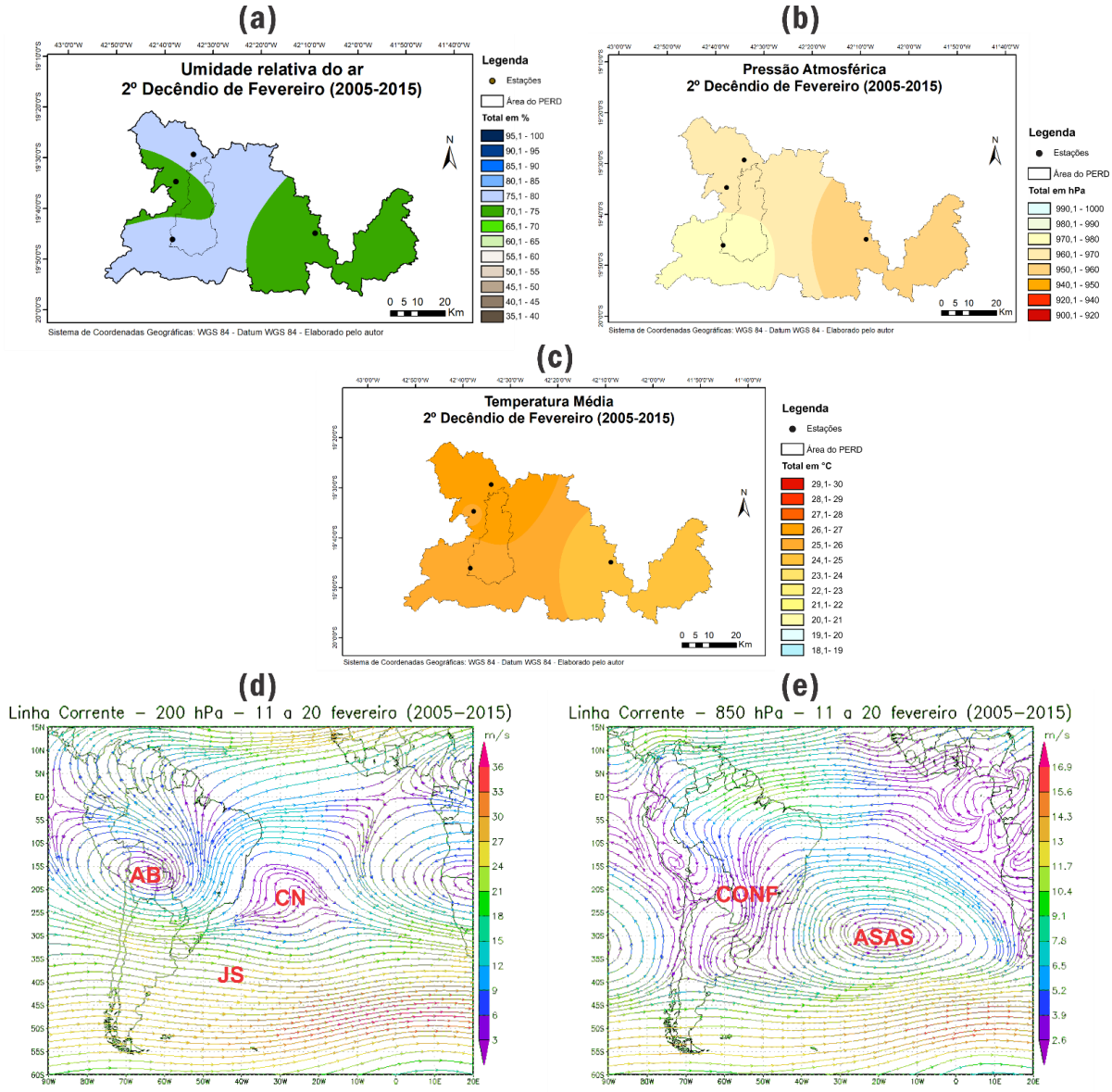
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 58 – Primeiro decêndio de fevereiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



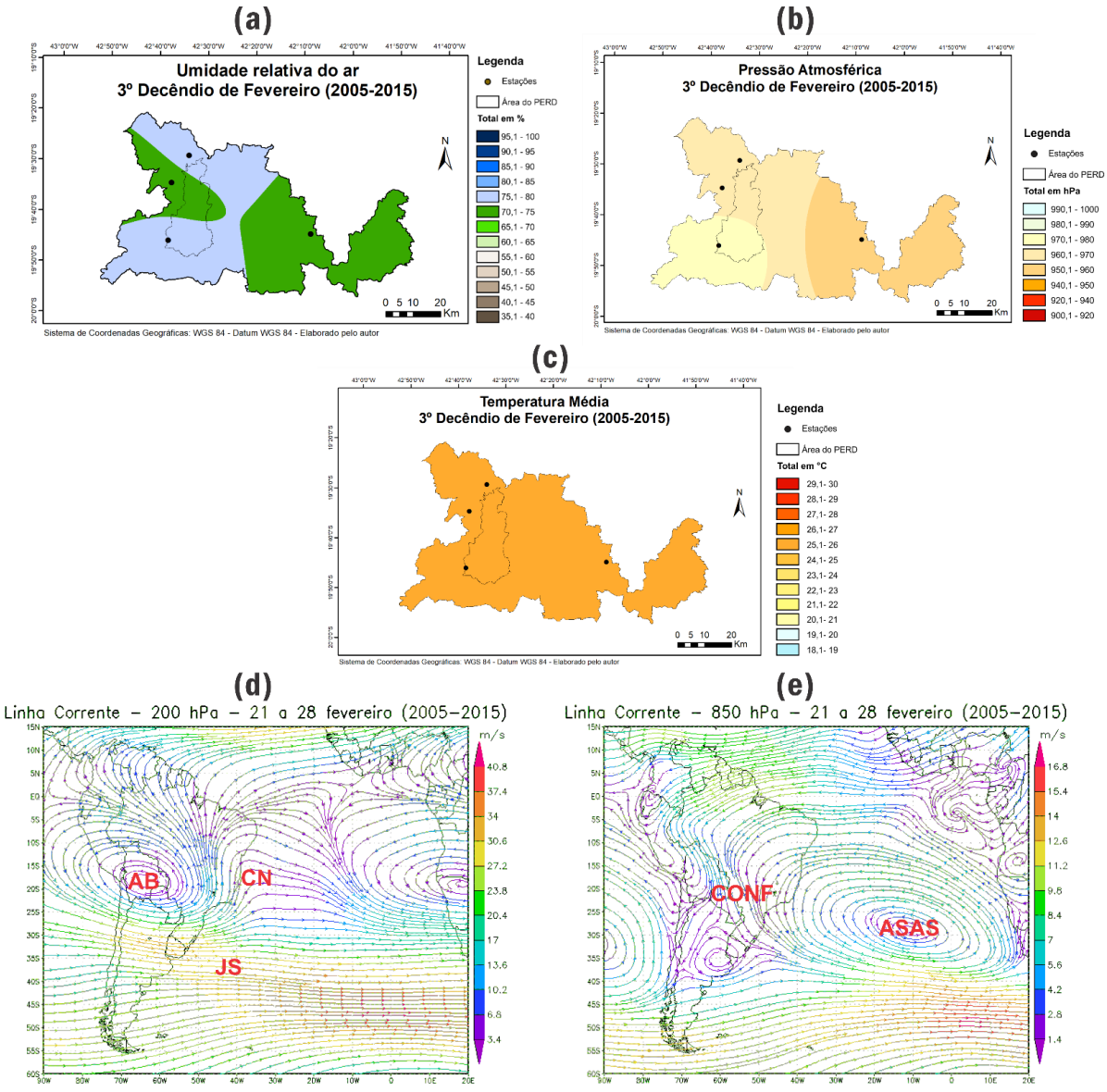
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 59 – Segundo decêndio de fevereiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



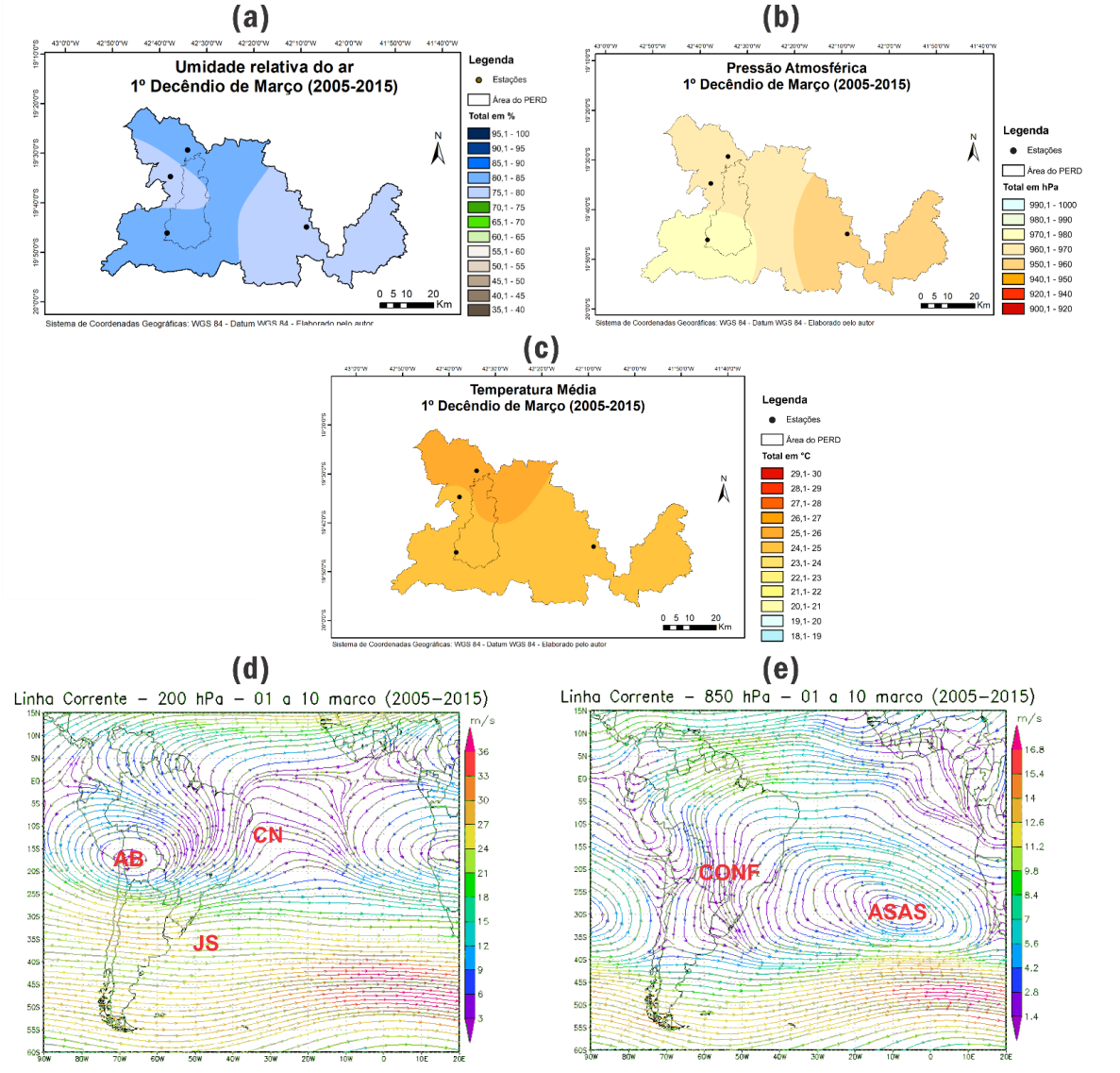
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 60 – Terceiro decêndio de fevereiro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



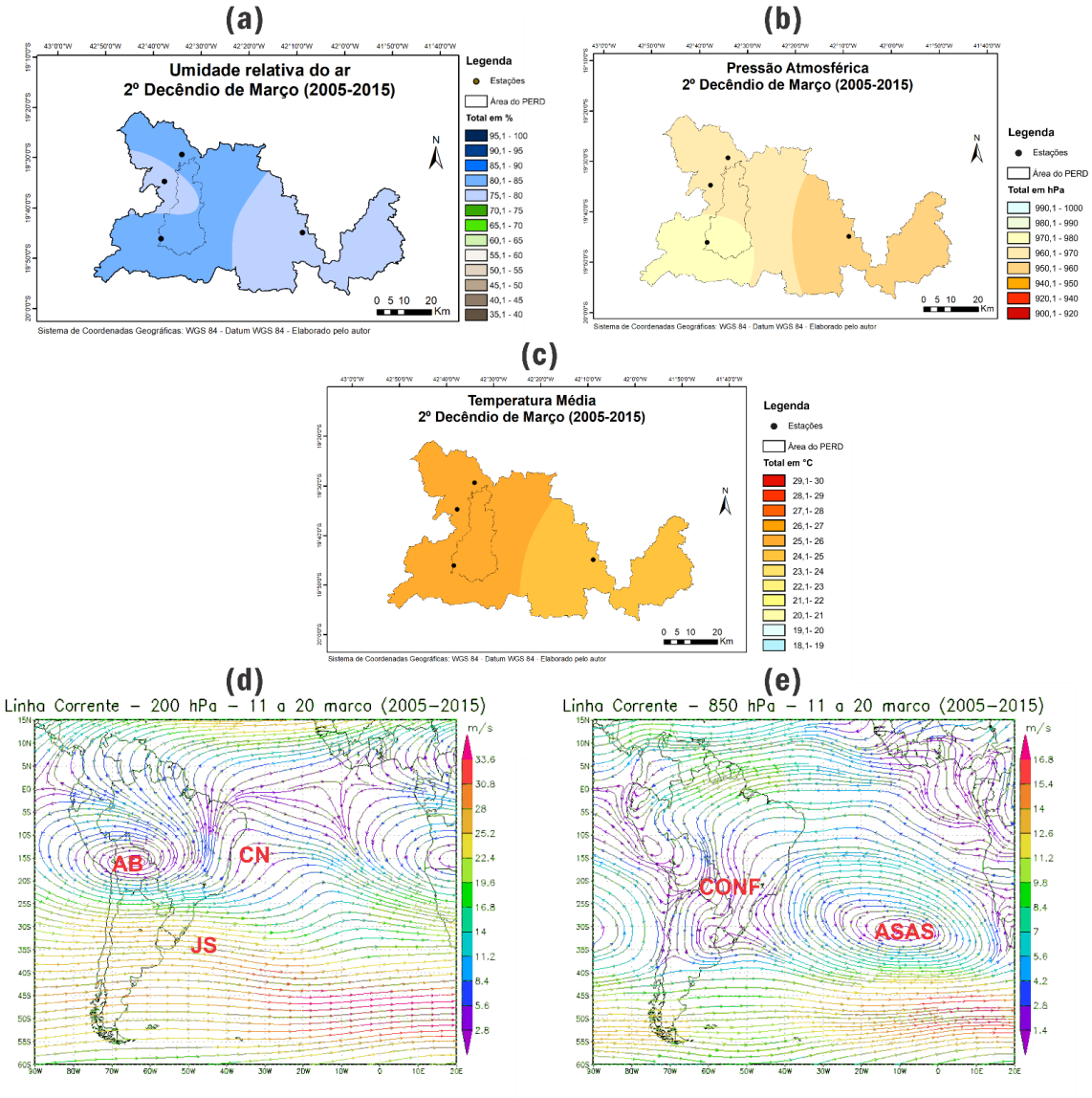
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 61 – Primeiro decêndio de março sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



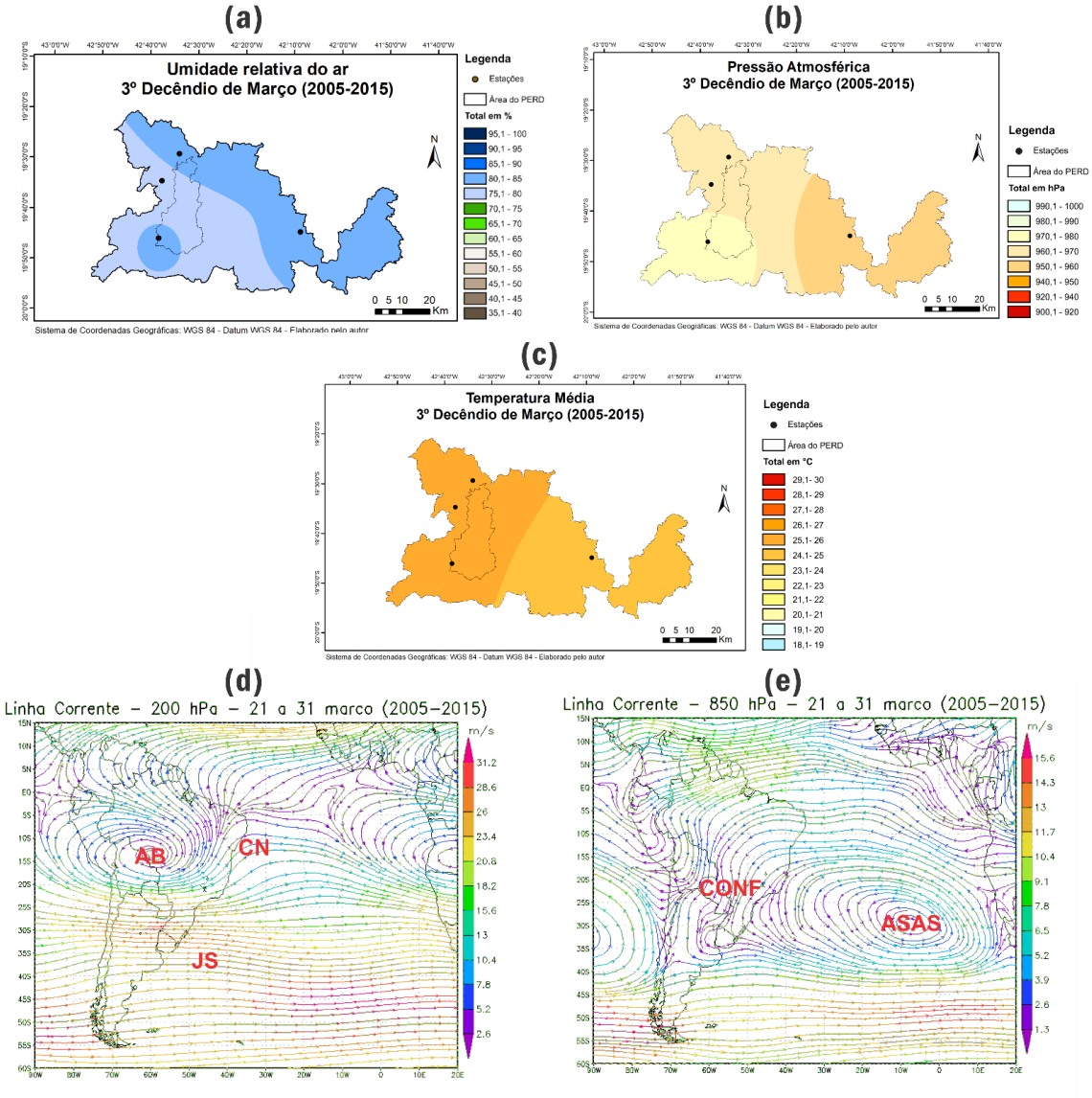
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 62 – Segundo decêndio de março sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 63 – Terceiro decêndio de março sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência)



Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a circulação geral da atmosfera apresentado por Ayoade (2015) permitiu verificar que constantes movimentos horizontais e verticais interagem com diversos fatores e produzem sobre a América do Sul re(arranjos) em escalas espaciais e temporais.

Levando em consideração que o clima é influenciado pelo ambiente e que os fenômenos naturais não podem ser compreendidos de maneira isolada como destaca Nimer (1979), verificou-se a presença de fatores dinâmicos e geográficos (relevo, latitude e continentalidade) que complementam à circulação atmosférica, contribuindo assim para a diversidade climática e desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos.

Este trabalho se propôs a analisar a atuação do *Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)* e o comportamento dos parâmetros climáticos: umidade relativa do ar, pressão atmosférica e temperatura média do ar sobre a região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno. Foi possível identificar, assim como destacado por Franca (2009) que o mecanismo atmosférico possui grande relevância sobre o clima da região em estudo, influenciando ao longo das estações seca e chuvosa às condições do tempo.

A análise sazonal da variabilidade e espacialização decendial dos elementos climáticos, proposta neste estudo, possibilitaram identificar cenários distintos que envolvem a atuação de sistemas e mecanismos atmosféricos, em especial o ASAS que exercem influência sobre a região do PERD e seu entorno.

Os registros da estação seca permitiram identificar nos elementos climáticos uma reduzida variabilidade, marcada pelo decréscimo dos valores de umidade relativa e temperatura que estão ligados à elevação da pressão atmosférica.

Quanto à atuação de mecanismos atmosféricos nos altos níveis, identificou-se, no início da estação seca, o recuo da Alta da Bolívia (AB) e avanço do Cavado do Nordeste (CN) sobre o continente Sul-Americano que contribuíram, na passagem do 2º ao 3º decêndio de abril, com a intensificação da subsidência do ar e redução dos valores de umidade relativa, fato que demarcou o início da estação seca do período em estudo. Nos campos de linhas de corrente de 850 hPa, o ASAS manteve-se persistente com seu centro posicionado sobre o oceano Atlântico e sua borda localizada sobre a região do PERD, configurando no 3º decêndio de abril um bloqueio atmosférico que se estendeu até o 2º decêndio de maio propiciando o aumento da subsidência do ar sobre o continente e reduzindo os percentuais de umidade relativa do ar sobre a região em estudo.

No decorrer da estação seca, os decêndios entre maio a setembro, apresentaram normalidade nas médias climatológicas nos níveis de 200 hPa, com a AB localizada no noroeste da América do Sul, em sua posição climatológica e nos baixos níveis, o ASAS manteve-se persistente, deslocando levemente à oeste e atuando sobre o continente.

Quanto à estação chuvosa, os dados e os mapas decendiais analisados permitiram identificar no comportamento dos parâmetros climáticos umidade relativa e temperatura média, a ocorrência de aumento sobre os valores registrados nas estações meteorológicas. Em contrapartida, a pressão atmosférica demonstrou pequena oscilação sobre a variabilidade, marcada por redução na maioria dos decêndios nas cotas barométricas e ligeira elevação nos decêndios de janeiro e fevereiro.

A dinâmica atmosférica na estação chuvosa foi marcada pela forte atuação de mecanismos atmosféricos nos decêndios de janeiro e fevereiro. Identificou-se a presença da AB em sua posição climatológica, além da presença do CN que configurou a formação de um bloqueio atmosférico, no qual juntamente com a posição do ASAS, resultaram em movimentos subsidentes do ar seco. Salienta-se que a subsidência adiabática do ar reduziu os valores de pressão atmosférica e dos percentuais de umidade relativa do ar em plena estação chuvosa, além de elevação dos valores de temperatura. Tal fato, contribuiu para a formação de um veranico climático, à superfície, nos decêndios de fevereiro (Figuras58d, 58e, 59d, 59e, 60d, 60e).

A atuação do ASAS e o posicionamento anômalo do CN resultaram em movimentos subsidentes de ar seco, proporcionando redução nos valores de pressão atmosférica e dos percentuais de umidade relativa do ar em plena estação chuvosa, além de elevação nos valores de temperatura. Os resultados desta dinâmica atmosférica demonstrada nos decêndios de janeiro e fevereiro propiciaram a configuração do fenômeno veranico climático na superfície da região do PERD, na qual é caraterizado por Cupolillo (2015) como curtos períodos de estiagem, duração média entre dez a vinte dias, ao longo da estação seca (APÊNDICE B).

Ao analisar a variabilidade dos elementos climáticos no território do PERD foi possível identificar que a espacialização dos resultados demonstrou que algumas áreas concentraram maiores percentuais e valores comparados às demais. No que diz respeito à umidade relativa, verifica-se que a porção norte do parque apresentou os maiores percentuais, seguida pela porção sudoeste e sul. Já os menores valores foram identificados na porção oeste e centro-oeste do parque. A espacialização da pressão atmosférica registrou uma suave variabilidade entre os valores registrados no PERD, demonstrando cotas barométricas mais elevadas na porção sul, próximo à estação meteorológica, e as menores cotas nas porções central e norte do território. Por fim, às temperaturas médias apresentaram um comportamento similar à umidade relativa,

com espacialização dos maiores valores registrados na porção central e norte do parque e os menores valores nas regiões sudoeste e sul, próximo à estação meteorológica do PERD.

Logo, ao considerar a relevância que o PERD apresenta por ser o maior remanescente de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais, o conjunto de informações e análises deste estudo permitiram investigar a climatologia do ASAS e verificar sua sazonalidade, variabilidade e espacialização sobre três parâmetros climáticos distintos numa avaliação da inter-relação entre estes, que foram apresentadas nos resultados.

A compreensão sobre a dinâmica dos sistemas e mecanismos atmosféricos apresentadas neste estudo, demonstraram como estes influenciam nas condições do tempo e configuração do clima na região do PERD e seu entorno, assim como também pode ser observado nos estudos de Cupolillo (2015), Antunes (2018), Lima (2019) e Cunha (2019).

Neste sentido, a relevância deste estudo se dá para além da análise dos resultados aqui apresentados, pois espera-se que estes possam subsidiar outras pesquisas e trabalhos em diferentes perspectivas sejam elas de cunho ambiental ou social. Sugere-se que sejam ampliadas às redes de observação e equipamentos meteorológicos para que novos estudos sejam realizados sobre a influência e atuação dos mecanismos atmosféricos nesta região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. **Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais**: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. Revista Geonomos, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p.17-22, dez. 1998.

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. Ateliê Editorial, 2003.

ALVES, F. C. **Avaliação de interpoladores para espacialização de variáveis de variação na bacia hidrográfica do rio Ivaí**. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.** v. 15, p. 4070-4077. Curitiba, 2011.

AMORIM, R. R. **Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistema, sistemas antrópicos e sistemas ambientais**. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 13, n. 41 mar/2012 p. 80 – 101

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. **Análise Geoambiental dos setores de encosta da área urbana de São Vicente-SP**. Sociedade e Natureza. Ano 19, n. 37. 19-40p. 2007.

ANTUNES, D. A. **Diagnóstico Climatológico do Parque Estadual do Rio Doce – PERD.** Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, Bambuí - MG, 2018.

ARAGÃO, J.O. R. **O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil**. Bull Inst. Fr. Études Andines, v.27, n.3, p. 839-844, 1998.

ARAÚJO, F. C.; MELLO, E. G.; SILVA, B.B.; MERCANTE, E.; GOLIN, G. M. **Comparação de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Piquiri (PR).** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, p. 5485-5490, 2015.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de M.J. Z. Santos. 16. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 332 p.

BARBIERI, P. R. B. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões Sul e Sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica.** 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85.** 1999. 164 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Parte I: **Sistemas Meteorológicos que Afetam o Tempo na América do Sul.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. **Tempo e Clima no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 95-109, 2009.

CASSETI, Valter. **Estrutura superficial**. Elementos de Geomorfologia. Ed. UFG, 2001.

CETEC. **Levantamento da vegetação do Parque Estadual do Rio Doce. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais** – CETEC: Belo Horizonte/MG, 2001.

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. **Interactions betweensea surfasse temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone**. Geophys Res Lett, v. 31, L03204, 2004.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980. 188p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas**: uma introdução à geografia física. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

CLIMANÁLISE: **boletim de monitoramento e análise climática**. São José dos Campos: INMET-INPE, Mensal. Edições: jan. 2005 a dez. 2014. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim//>. Acesso em: 28 nov. 2019.

CLIMANÁLISE ESPECIAL. Cachoeira Paulista, edição comemorativa de 10 anos, 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/index1.shtml>. Acesso em: 22 dez. 2019.

COHEN, J.; CAVALCANTI, I. F. A.; BRAGA, R. H. M.; NETO, L. S. Parte I: **Sistemas Meteorológicos que Afetam o Tempo na América do Sul.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. **Tempo e Clima no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 25-41, 2009.

CPRM & Comig. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** – Projeto Leste. Folhas de Coronel Fabriciano e Caratinga. Escala 1:100.000, 2001.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Disponível em: <www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 22 dez. 2019.

CPTEC, 1996. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

CUNHA, D. M. **Variabilidade das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce –MG/ES no período de 1991 a 2017**. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial. Belo Horizonte, 2019. 281f.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico Hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce.** 1ª. ed. Saarbrücken - Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. v. 1. 224p.

DE MEIS, M.R.M. & TUNDISI, J.G. **Geomorphological and limnological process as a basis for lake typology. The middle Rio Doce lake system.** In: Tundisi, J.G. & Saijo, Y. (eds.) Limnological Studies in the Rio Doce Valley Lakes. Brazilian Academy of Sciences, São Carlos, 1997. p. 25-50

DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros. Dissertação (Mestrado em Meteorologia**) – Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013, p. 112

DRUMMOND, G.M.; MARTINS, C.S.; MACHADO, A.B.M.; SEBAIO, F.A.; ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais:** um atlas para a sua conservação. 2ª. Ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. p. 222.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS Professional GIS for the desktop, versão 10.5, 2015.** Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Acesso em: 20 mar. 2019.

ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E. **Classificação Sinótica dos Campos de Pressão Atmosférica da América do Sul e sua Relação com as Baixas do Chaco e do Noroeste Argentino**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.3, 365 - 375, 2012

FERREIRA, E. A.; MELO, M. L.; ALMEIDA, J. M. V.; BEZERRA, W. A.; REINKE, C. K.; SEABRA, M. S. **Estudo de Caso: Configuração da atmosfera na ocorrência de baixo índice de umidade relativa do ar no Centro-Oeste do Brasil**. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006. *Anais...* Florianópolis: XIV CBMet, 2006.

FERREIRA, N. J.; RAMIREZ, M. V.; GAN, M. A. **Parte I: Sistemas Meteorológicos que Afetam o Tempo na América do Sul.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 43-60, 2009.

FRANCA, R. R. da. **Anticiclones e umidade relativa do ar: um estudo sobre o clima de Belo horizonte. Dissertação (mestrado em Geografia)** - Departamento de Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo horizonte. 2009. 109f.

GARCIA, P. M. B. **Uso e ocupação do solo urbano em Timóteo:** uma abordagem geoambiental. Dissertação (mestrado em ciências naturais) - Escola de Minas Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. 121f.

GIACOMIN, G.; CARVALHO, M.B.; SANTOS, A.P.; MEDEIROS, N.G.; FERRAZ, A.S. **Análise comparativa entre métodos interpoladores de modelos de superfícies.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 6, n. 66/6, 2014.

HASTENRATH, S. **Climate and circulation of the tropics**. New York Atmospheric Sciences Library, 1985, p. 455
https://www.letrasambientais.com.br/img/posts/Cavado_do_Nordeste.jpg. Acesso em: 22 dez. 2019.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Lista das espécies da fauna ameaçada de extinção**. Instrução Normativa n° 3, de 27 de maio de 2003. IBAMA, Ministério do Meio Ambiente. Brasília: 2003.
INFOCLIMA: boletim de monitoramento e análise climática. CPTEC/INPE. Mensal. Edições de jan. 2005 a dez. 2015. Disponível em: <http://infoclima.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 30 set. 2019.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – **Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Doce** - Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/306?task=view>. Acesso em: 18 dez. 2019.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – **Sugestões de Pesquisas Necessárias e Prioritárias Para as Unidades de Conservação**. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/formulariospesquisauc/sugestoes_pesquisas_prioritarias.pdf.>. Acesso em: 18 dez. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), Boletim Agroclimatológico. Mensal. N.10/2015 a 12/2016. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2019.

ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. **Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno**. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro. **A Meteorologia Brasileira além do ano 2000.** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 860-865.

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)**. *Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais***,** Guarapuava, V.8, N.1, p. 61 – 71. 2012.

KODAMA, Y. **Large-scale commom features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPZC, and the SACZ)**. Pat I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. Journal of Meteorological Society of Japan, 70, 4, 813-835, 1992.

KODAMA, Y. **Large-scale commom features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPZC, and the SACZ)**. Pat I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. Journal of Meteorological Society of Japan, 71, 561-610, 1993

LACERDA PEIXOTO, E. **Caracterização e perspectivas do Parque Estadual do Rio Doce-MG: uma abordagem a partir de imagens de sensoriamento remoto e fotografias hemisféricas de dossel**. Dissertação (mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. **Sistemas frontais que atuaram no sul do Brasil (período 1987-1995).** Climanálise, Cachoeira Paulista, p.131-135, 1996. Edição Especial.

LENTERS, J.D. & COOK, K.H. 1999. **Summer time precipitation variability over South America:** Role of thelarge-scale Circulation. Monthly Weather Review, *127*: 409–431.

LIMA, J. M. **Análise espaço-temporal das chuvas persistentes na região do Parque Estadual do Rio Doce – PERD (2005 A 2015).** Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Bambuí, 2019. 346 p.

LUCAS, T. de P. B. **Gêneses e Espacializações das Precipitações nas estações chuvosas de 2010/2011 e 2011/2012 em Belo Horizonte Minas Gerais e suas correlações com os**

impactos hidrológicos. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, 2015.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R**. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso.** Revista Brasileira de Geografia Física, v4, p. 793-804, 2011.

MELLO, C.L. **Sedimentação de tectônica cenozóicas no médio vale do rio Doce (MG, sudeste do Brasil) e suas implicações na evolução de um sistema de lagos.** Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1997. 275p.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. S. **Parte I: Sistemas Meteorológicos que Afetam o Tempo na América do Sul.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 25-41, 2009.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficinas de Textos, 2007.

MINAS GERAIS. Decreto-Lei nº 1.119, de 14 de julho de 1944. Dispõe sobre parques florestais. Diário do Executivo, Minas Gerais, 15 de julho de 1944.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, 2008. **Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio>. Acesso em: 10 dez 2019.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; OLIVEIRA, C. P. **Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical.** In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

MOLION, L.C.B. **Enos e o clima no Brasil**. Ciência Hoje, 10(56), p. 24-29, 1989.

MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE – **Manifesto Aeroporto Rio Doce**. Disponível em: <http://ong.prosperustec.com.br/mprd/wpcontent/uploads/2008/10/para_conhecimento_e_manifestacao_rio-doce.pdf.>. Acesso em: 15 dez. 2019.

MUSK, L. **Weather Systems**. Cambridge University Press, 1988.

NETO, A. T. S. **Caracterização geoambiental da área de expansão do município de Santana do Paraíso, Vale do Aço-MG.** Dissertação (mestre em Geotécnia). Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2012. 136f.

NIMER, E. **Ensaio de um novo método de classificação climática:** contribuição à climatologia intertropical e subtropical, especialmente do Brasil. Boletim de Geografia. Rio de Janeiro, v. 31, n.277, 141-153, 1972.

NIMER, E.; 1979: **Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Rio de Janeiro, RJ; p. 421.

OLIVEIRA, L.L.; VIANELLO, R.L.; FERREIRA, N.J. **Meteorologia fundamental**. Erechim: Edição FAPES, 2001. P. 432.

PADILHA REINKE, C. K.; SATYAMURTY, P. **Um Caso de Estagnação de Ar Quente e Seco sobre a Região Central do Brasil.** In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Fortaleza, 2004.

PERIN, E. B.; VIANNA, L. F. N.; RICCE, W. S.; MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. **Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação:** Revisão dos Métodos Mais Eficientes. Revista Geografia, Rio Claro v. 40, n. 2, p. 269–289, 2015.

PERÔNICO, C. **Preenchimento sedimentar de lagos assoreados na região do médio rio Doce, Minas Gerais.** Tese (doutorado em Ciências Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto 2009. 108f.

PEZZI, L.P., e CAVALCANTI, I. F., 1994. **O Jato Subtropical Sobre a América do Sul no Período de 1980 a 1989.** VIII Cong. Bras. Met / II Cong. Lat. Iber. Met. Vol 2. 148-151.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul.** São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, 1994.

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N. N. M.; OLIVEIRA, G. S. **Climatologia de Precipitação e Temperatura no período de 1986 a 1996.** In: CLIMANÁLISE ESPECIAL. *Edição Comemorativa de 10 anos - MCT/INPE/CPTEC*, 1996, Cachoeira Paulista, v. 1. Disponível em: <www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.shtml>. Acesso em: 13 nov. 2019.

REBOITA, Michelle Simões et al. **Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state).** Revista Brasileira de Climatologia, v. 17, 2015.

REBOITA, Michelle Simões et al**. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica.** Revista brasileira de meteorologia, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REIS, Jean Souza dos. **Características dinâmicas e termodinâmicas dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas. Natal, 76p, 2018.

Relatório técnico-científico das atividades do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD, site 4, Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce – MG - 2000. Agosto, 2000. 18 p.

Relatório técnico-científico das atividades do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD, site 4, Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce – MG - 2002. Setembro, 2002. 391 p.

Relatório técnico-científico das atividades do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD, site 4, Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce – MG - 2007. Setembro, 2008. 501 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para Distinção de Ambientes.** Viçosa: NEPUT, 2002. p. 338.

RIBEIRO, G. A., REIS, J. A. T. **Avaliação de métodos discretos e de modelos distribuídos de interpolação para a apropriação da precipitação média na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória – ES.** Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia, Vitória, n. 5, p.1-8. 2009.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica.** Mercator, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 95-112, 2002.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geografia do Brasil**. Edusp, 1996.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais.** Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Lavras – UFLA: Lavras, 2009. 101p.

SAADI, A.; CAMPOS, JCF. **Geomorfologia do caminho da lama:** contexto e consequências da ruptura da Barragem do Fundão (novembro 2015, Mariana–MG) I. Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico-UFMG Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 63-103, 2015.

SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J.; SILVA, P. E.D. **Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estados Climáticos**. CPTEC. XVI Congresso de Meteorologia, 2010.

SALGADO-LABOURIAU, Maria Léa. **História ecológica da Terra.** Editora Blucher, 1994.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo Climático e a Gênese das Chuvas na Zona Costeira Paulista. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SCHEUER, P.R. **Sistemas Frontais associados a episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS.** 2017. TCC. (Bacharel em Meteorologia). Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Florianópolis, 2017. 68f.

SELUCHI, M.E. & SAULO, A.C. 2010. **Mecanismos físicos associados à formação da Baixa do Chaco.** *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, *Proceedings*. Belém, 2010, 1 CD-ROM.

SETTE, D. M. **Os climas do cerrado do Centro-Oeste.** *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, v. 01, n. 1, p. 29-42, 2005.

SILVA DIAS, M. A. F. **Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo.** Revista Brasileira de Meteorologia, 2, 1987, p.133-150.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Parte I: **Sistemas Meteorológicos que Afetam o Tempo na América do Sul.** In: CAVALCANTI, I. F. A.;

FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 25-41, 2009.

SILVA, Jackscilene Nascimento; DA SILVA CAIADO, Estela; CAIADO, Marco Aurélio Costa. **Escolha de Parâmetro para Interpolação de Precipitação Diária Utilizando o Interpolador Inverse Distance Weight (IDW)**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

SILVA, L. V. C.; VIANA, P. L.; MOTA, N. F. O. Diagnóstico da cobertura vegetal. **Contribuição ao Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Doce. Projeto Doces Matas. Relatório Técnico**, 2001.

SOARES, J. P. **Estudo da relação entre as características abióticas e bióticas na compartimentação de comunidades ecológicas no Parque Estadual do Rio Doce/MG com base na geomorfologia e na interação inseto-planta**. Dissertação (mestrado) Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2006. 99p.

SOBRINHO, T. R. G.; JARDIM, K. A.; SANTOS, V. F. **O geossistema como proposta metodológica aplicada a planície costeira do Amapá:** Cabo Norte, Brasil. Tecnológicas do Amapá. Caderno de Geografia, v.29, n.57, 2019

SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.

SORRE, M. Le Climat. In: SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Armand Colin, 1951. Chap. 5, p.13-43.

SOUZA, R. L. F. **Variabilidade interdecadal da precipitação da Amazônia Ocidental brasileira.** Dissertação (mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2009. 80p.

TABARELLI, Marcelo et al. PELD-CNPq. **Dez anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do Brasil**: achados, lições e perspectivas. Ed. Universidade da UFPE, 2013.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. único.2008. p. 558.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva**: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (EDITORES) – **Limnological Studies On the Rio Valley Lakes, Brazil**. Brazilian academy of Sciences, University of São Paulo School of Engineering at S. Carlos, Center For Water Resources and Applied Ecology. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. 528 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital 2, 2006.

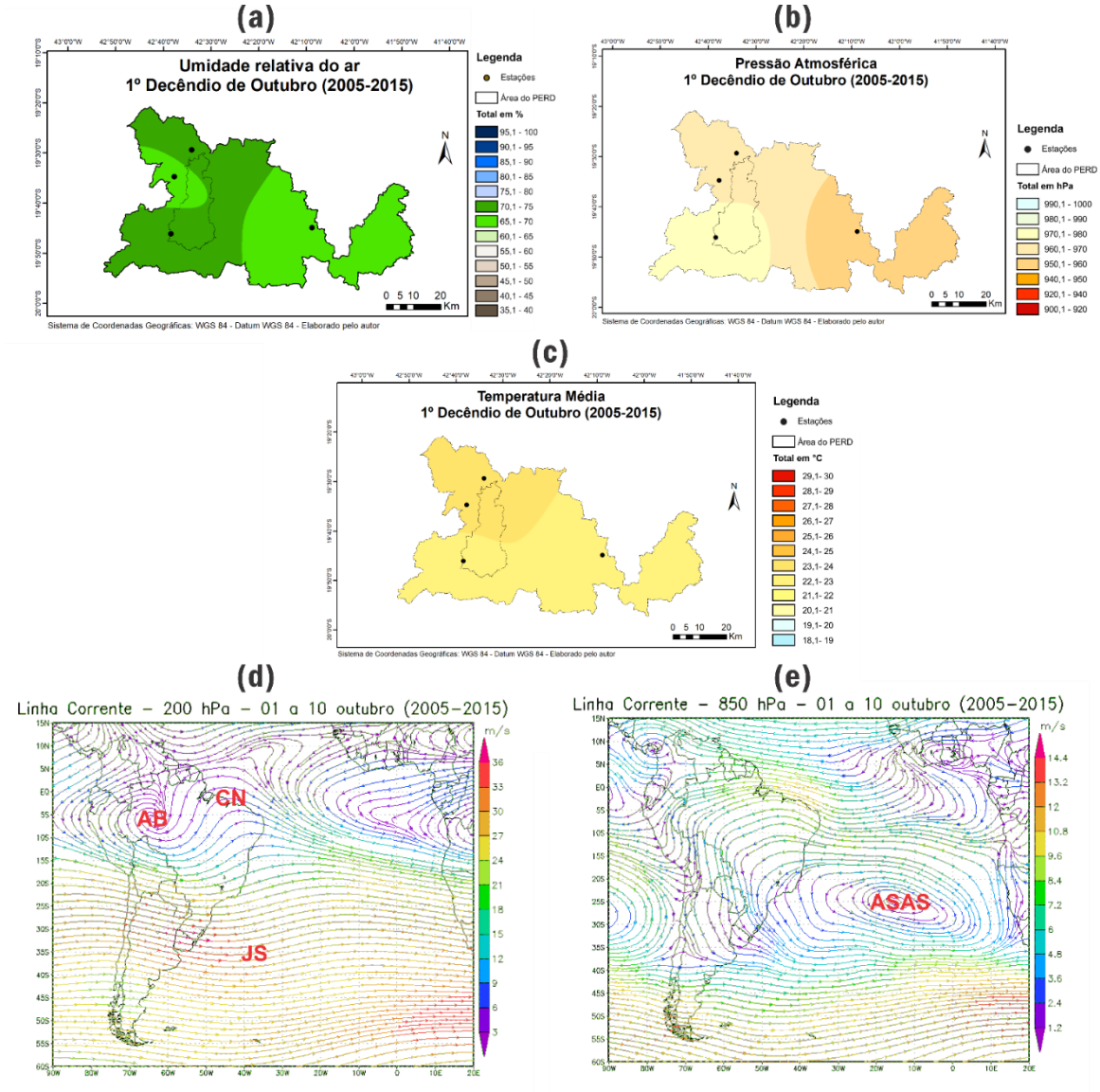
VASCONCELOS, S. G.; SAADI, A. **O Quaternário do médio rio Doce**: aporte da morfodinâmica e do aluvionamento na confluência dos rios Piracicaba e Doce. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Recife, ABEQUA. 2003.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G, **Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais.** In: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1986. Brasília. *Anais I*. p. 185-194.

World Meteorological Organization. **Guide to the global observing system**. n. 488, Genebra, Suíça. 172p. 2012

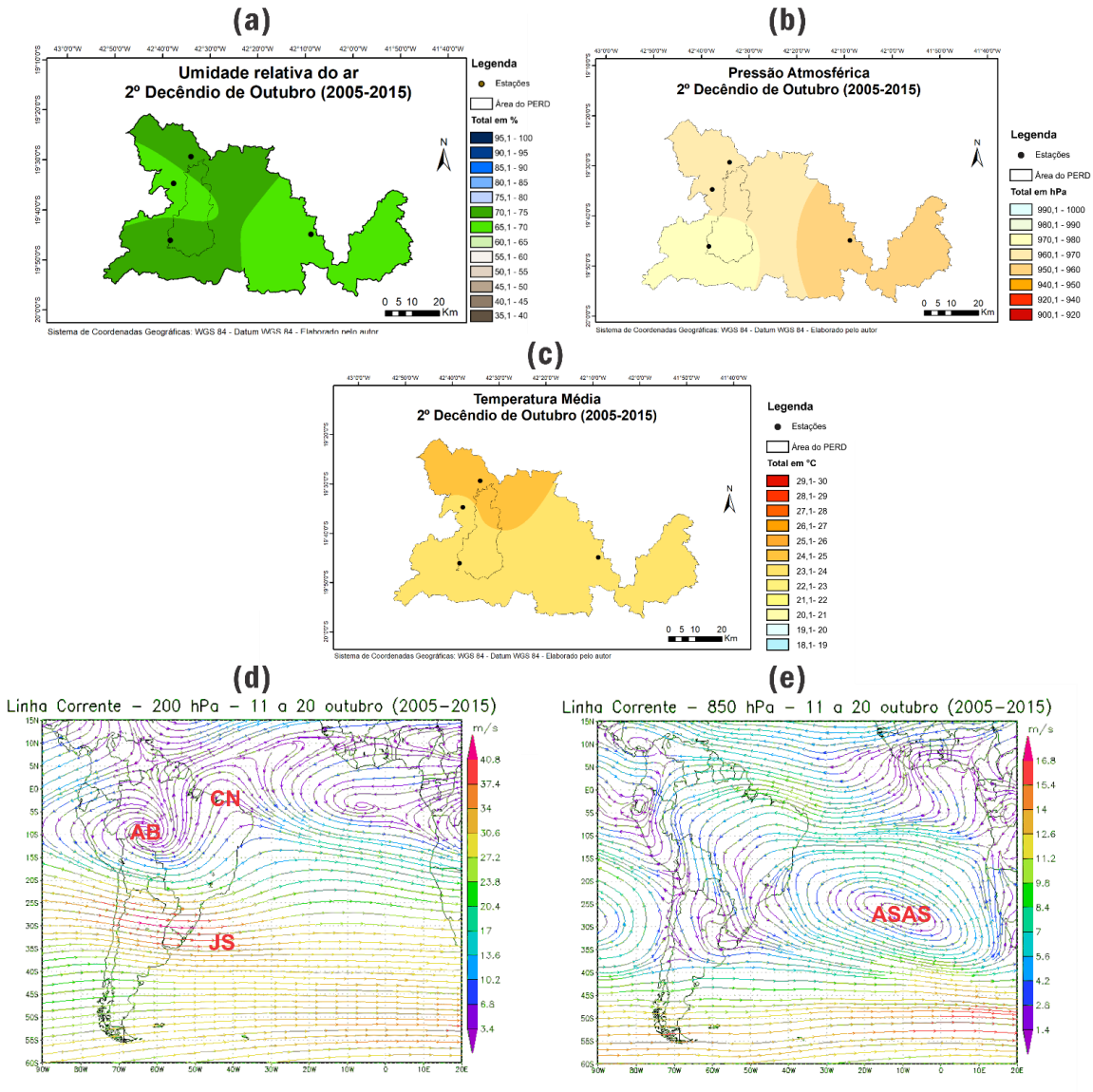
APÊNDICE A

Figura 1A – Primeiro decêndio de outubro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul)



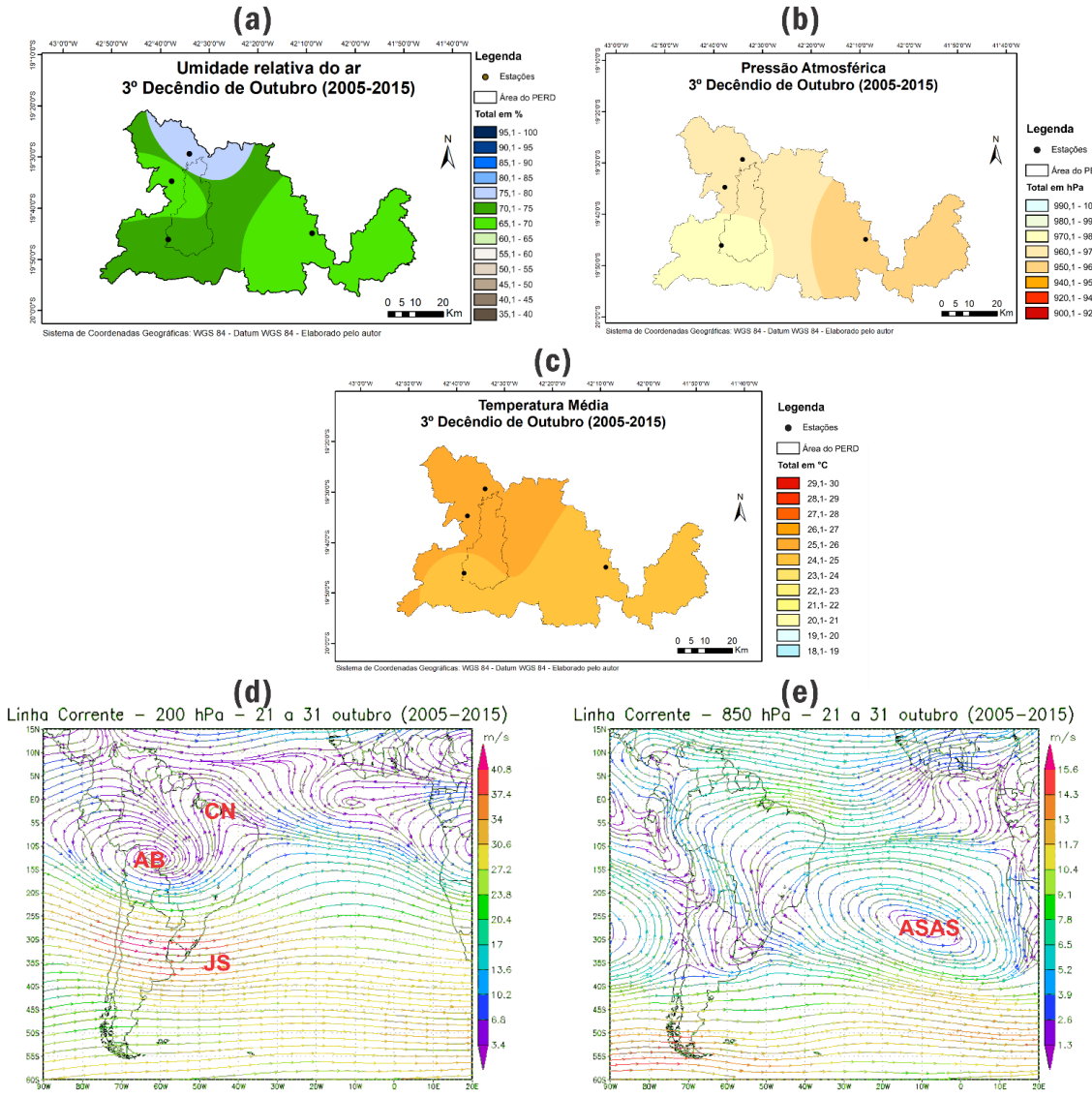
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 2A – Segundo decêndio de outubro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



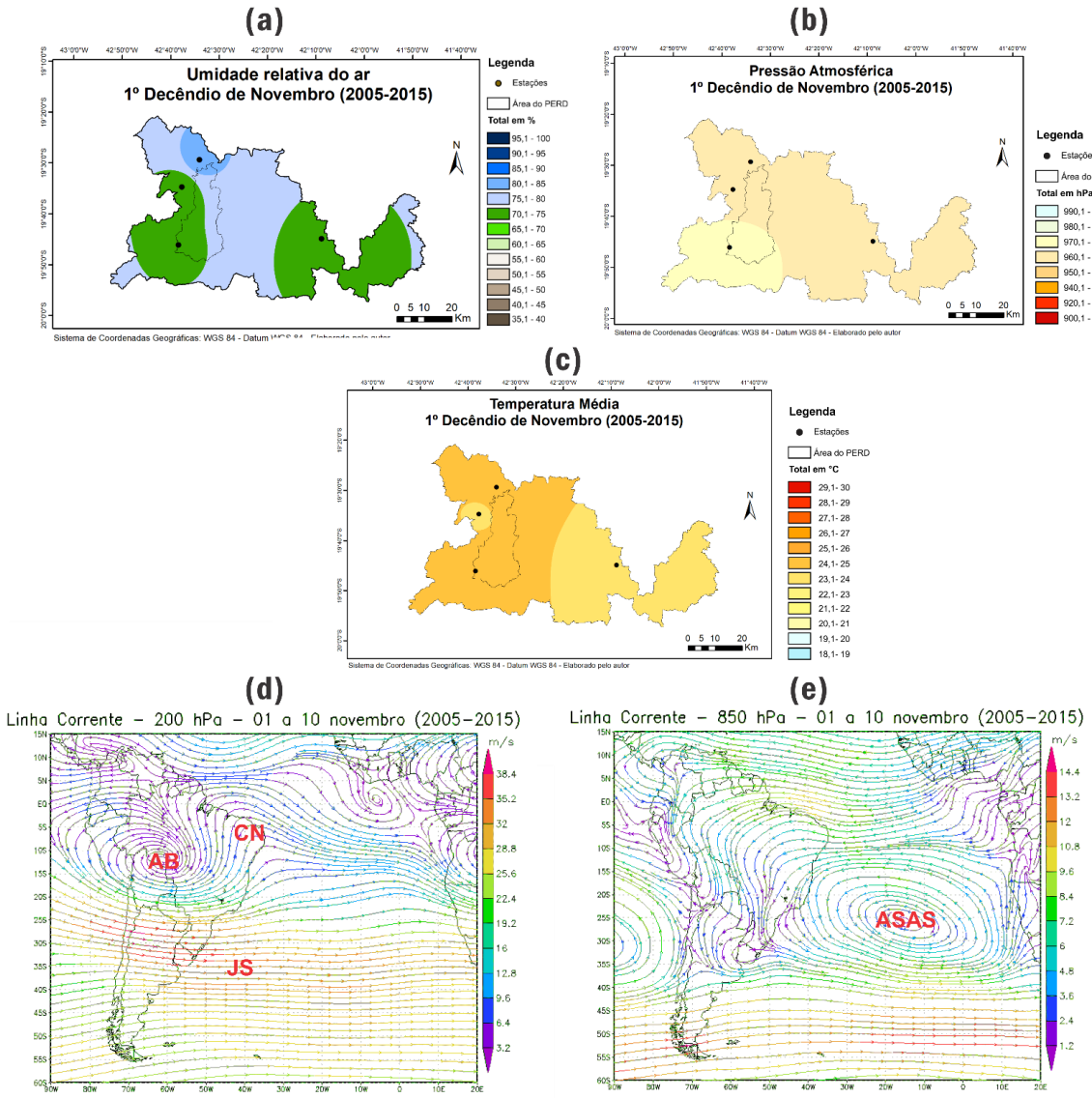
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 3A – Terceiro decêndio de outubro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



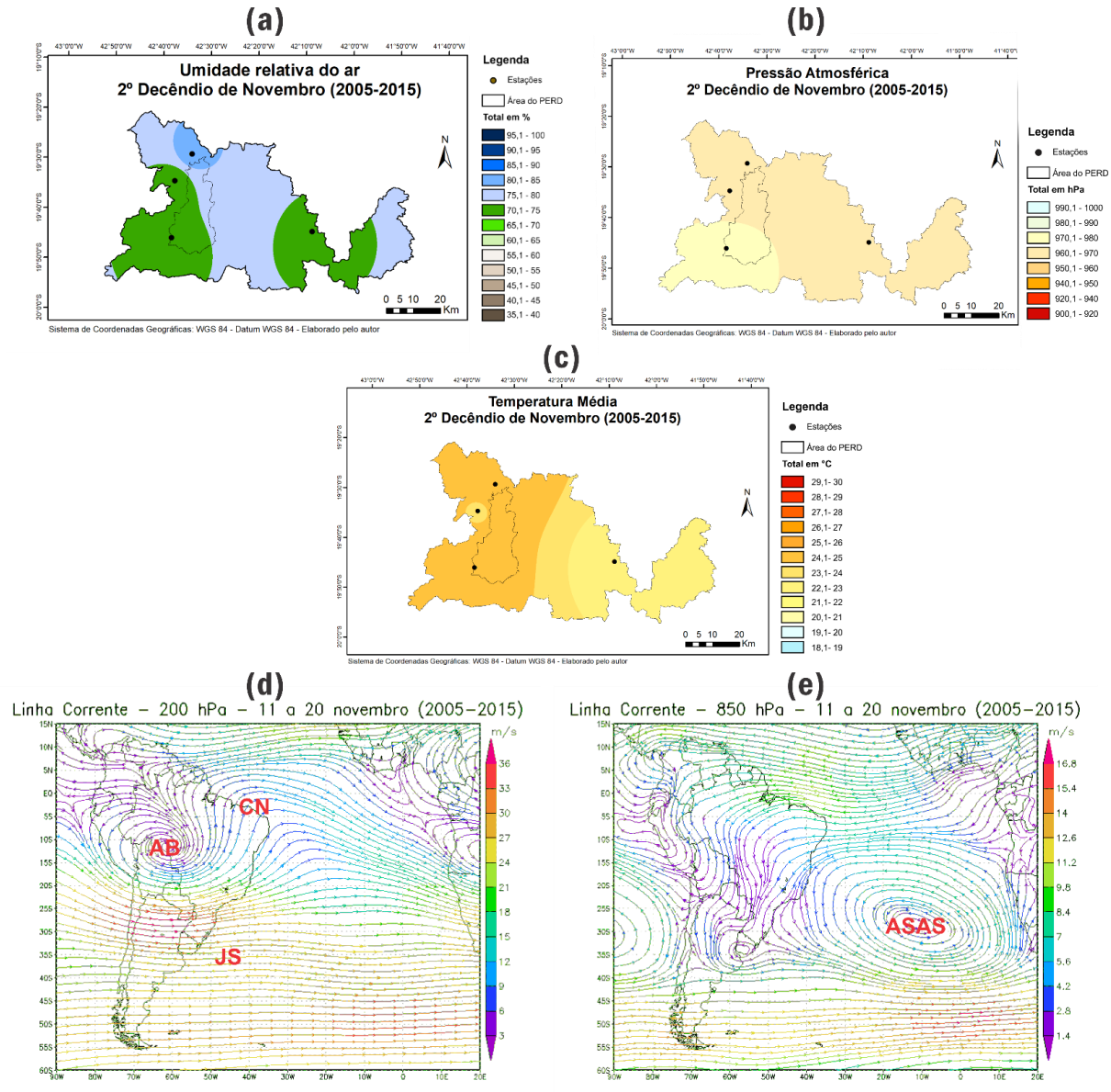
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 4A – Primeiro decêndio de novembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



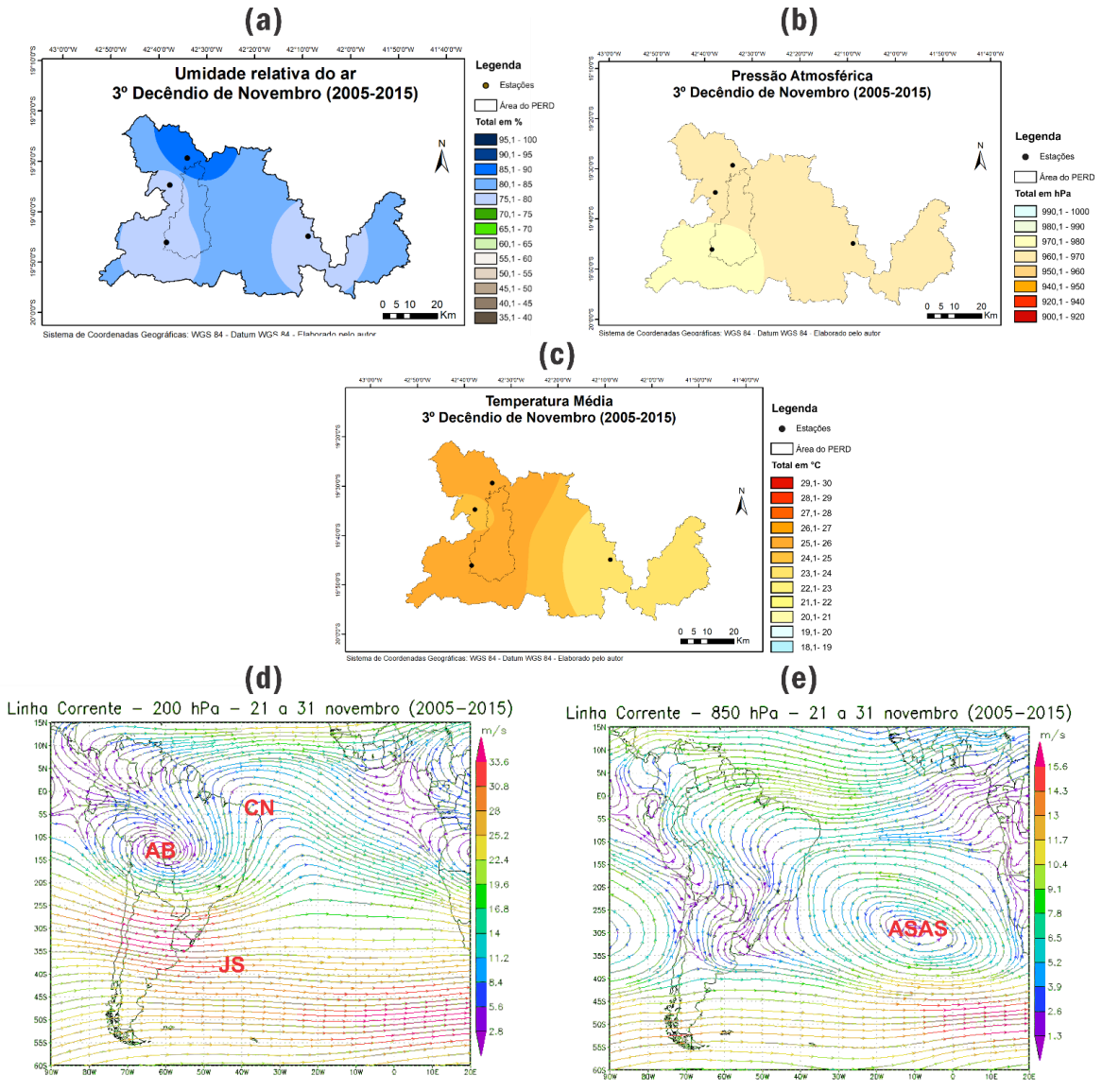
Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

Figura 5A – Segundo decêndio de novembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

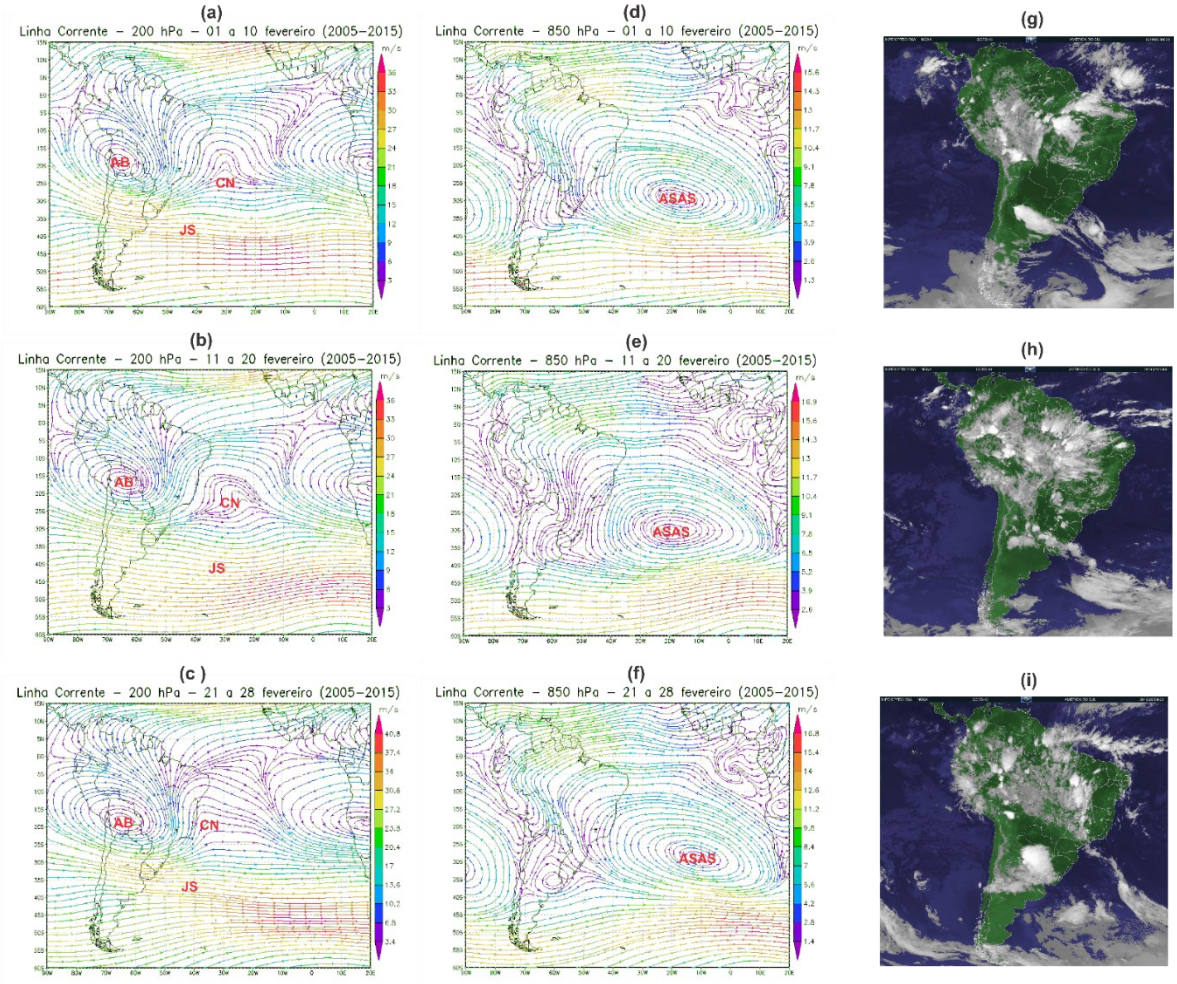
Figura 6A – Terceiro decêndio de novembro sobre os parâmetros climáticos (a) Umidade Relativa, (b) Pressão Atmosférica e (c) Temperatura Média e mapas de linhas de corrente nas alturas de 200 hPa (d) e 850 hPa (e) com presença da AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical) e ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul).



Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

APÊNDICE B

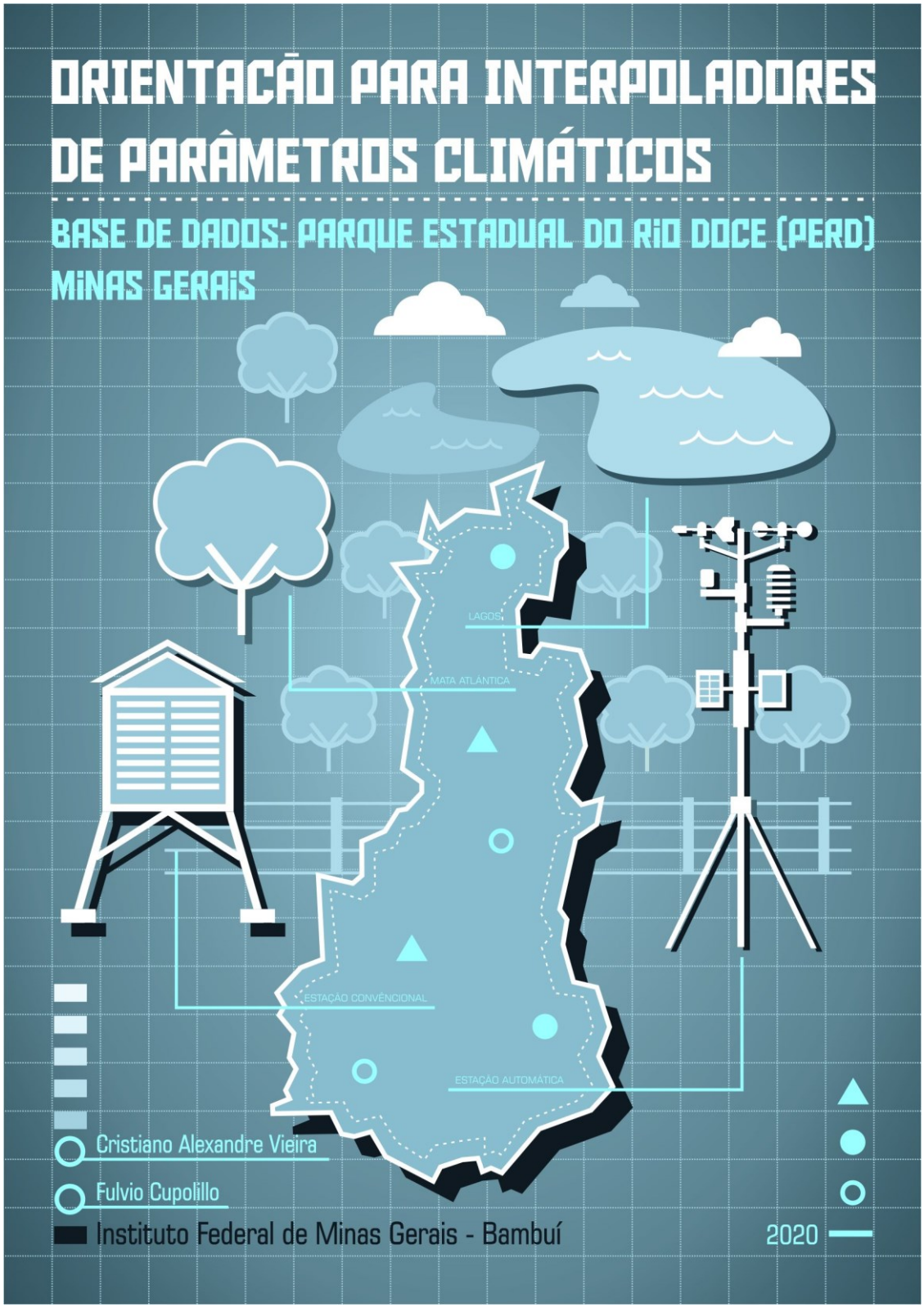
Figura 1B – Configuração do fenômeno Veranico Climático em fevereiro (a) 1º decêndio Campos de linhas de corrente em 200 hPa, (b) 2º decêndio Campos de linhas de corrente em 200 hPa, (c) 3º decêndio Campos de linhas de corrente em 200 hPa, (d) 1º decêndio Campos de linhas de corrente em 850 hPa (e) 2º decêndio Campos de linhas de corrente em 850 hPa, (f) 3º decêndio Campos de linhas de corrente em 850 hPa, (g) Imagem de Satélite GOES-13 dia 03/02/2014 06:00 UTM, (h) Imagem de Satélite GOES-13 dia 12/02/2014 06:00 UTM (i) Imagem de Satélite GOES-13 dia 25/02/2014 06:00 UTM.



Fonte: INMET, INPE e NOAA, 2019

APÊNDICE C

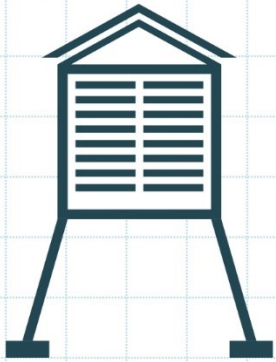
Produto Técnico: Cartilha

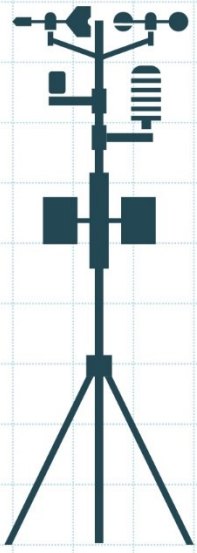


ORIENTAÇÃO PARA INTERPOLADORES DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS

BASE DE DADOS: PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD) MINAS GERAIS

- **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - Campus Bambuí**
- **Cristiano Alexandre Vieira** (autor)
  Estudante do Curso de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - IFMG
- **Fulvio Cupolillo** (orientador)
  Professor Doutor do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - IFMG
- **Jean Monteiro Lima** (colaborador)
  Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - IFMG
- **João Bosco Coelho Nunes** (Design e ilustração)
  Bacharel em Design Gráfico - UNIVALE





2020

INTRODUÇÃO

Os mapas temáticos constituem um importante mecanismo para análise de informações do espaço geográfico em diferentes escalas. No contexto atual a construção dos mapas utiliza, em grande parte, a técnica de geoprocessamento na qual permite organizar e comparar dados descritivos em camadas, possibilitando extensa análise por intermédio do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A manipulação dos dados geográficos a partir do SIGs proporcionam inúmeros benefícios em diversas áreas do conhecimento, dentre elas os estudos dos fenômenos que se alteram no espaço, ou seja, que apresentam variabilidade espacial dos fenômenos naturais.

Na busca pela compreensão destes fenômenos os métodos de interpolação revelam-se como uma importante ferramenta, resultante de um processo estatístico-matemático que permite manipular informações geoespaciais, extraindo novas informações e constituindo um conjunto de dados e mapas a partir do uso de SIGs.

Percebe-se a existência de diversos métodos de interpolação disponíveis no SIG, porém ao mapear a variabilidade espacial de parâmetros climáticos, de acordo com Alves (2011) é preciso considerar questões básicas como a forma, tamanho e orientação da área em estudo, de modo que não comprometa nos resultados finais.

Esta cartilha tem como objetivo analisar as características e aplicação de alguns métodos de interpolação e apresentar, por meio de mapas temáticos produzidos através do software ArcGis 10.3, os resultados referentes à espacialização dos parâmetros climáticos: precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar.

Os dados analisados neste estudo correspondem ao período entre 2005 e 2015, relacionado aos valores médios decendiais extraídos das estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e do Parque Estadual do Rio Doce (PERD), área de concentração da pesquisa de Pós-graduação Stricto sensu em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), cuja cartilha faz parte do Produto Técnico da pesquisa e dissertação de mestrado.

Os mapas temáticos desenvolvidos neste trabalho foram organizados em decêndios, levando em consideração os percentuais máximos e mínimos registrados na estação seca e chuvosa da área em estudo. Para cada parâmetro climático foram gerados oito mapas temáticos, abordando os métodos de interpolação distintos, de modo que pode-se comparar visualmente o desempenho e espacialização das informações.

Contudo, pretende-se com esta cartilha subsidiar pesquisas e trabalhos acadêmicos que visam a comparação e identificação do desempenho de distintos métodos de interpolação para análise de diferentes parâmetros climáticos.

GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRAFIA (SIG)

A técnica de geoprocessamento de uma superfície real para uma análise espacial por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite organizar, conforme destaca Alves (2011) uma representação de grande relevância para os estudos na atualidade, uma vez que por meio do ambiente digital pode-se visualizar e comparar atributos de dados descritivos e organizá-los por meio da sobreposição de camadas.

De acordo com Câmara et al. (1996) os Sistemas de Informações Geográficas são capazes de armazenar, analisar e manipular dados geográficos, das quais possuem inúmeros benefícios no que tange a visão espacial e na ocorrência de fenômenos atmosféricos, por exemplo. Este sistema permite a realização de análises não-estruturadas e relacionamentos não-convencionais entre os dados por meio da representação espacial em mapas.

O processamento de um SIG possibilita realizar análise espacial de determinada região superando a técnica analógica, com o armazenamento de informações geográficas dos mapas para o formato digital, favorecendo uma amostra visual e comparativa que envolve diferentes variantes por meio de sobreposições (ALVES, 2011).

As possibilidades de convergência de dados proporcionados pelos SIGs conferem os benefícios desta ferramenta, tornando-a indispensável na compreensão dos fenômenos espaciais em diversas áreas do conhecimento. O aperfeiçoamento destes estudos pode ser estabelecido a partir da geoestatística, que corresponde ao ramo da estatística aplicada, definida por Olea (1991) como o estudo dos fenômenos que se alteram no espaço, ou seja, que apresentam variabilidade espacial dos fenômenos naturais.

INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

O método de interpolação revela-se como uma importante ferramenta, que resulta de um processo estatístico-matemático que permite encontrar valores intermediários entre os valores discretos de uma função. A interpolação também possibilita a manipulação de informações geoespaciais, extração de novas informações com formação de um conjunto de dados e construção mapas a partir do uso de SIGs.

De acordo com Burrough (1986) citado por Mazzini e Schettini (2009) a interpolação

espacial consiste num procedimento que visa estimar os valores de propriedades locais que não foram amostrados (matriciais) tendo por base os valores de dados observados em locais conhecidos (vetoriais).

Para Lucas et al. (2013) os interpoladores são ferramentas matemáticas capazes de atribuir valores relativos a alguma variável junto aos pontos que são inseridos em um certo campo de valores ou banco de dados já existentes a partir de pesquisas e observações sistemáticas e georreferenciadas. Deste modo é permitido a transformação de dados discretos em contínuos.

A ideia base do processo de interpolação é que, em média, coexiste uma similaridade maior de valores entre as áreas mais próximas frente as áreas mais distantes (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Fato este que fundamenta as relações espaciais existentes entre fenômenos geográficos, permitindo o uso da correlação espacial como mecanismo de diferença entre os valores estimados.

Segundo Alves (2011) o conceito de interpolação é útil quando os dados disponibilizados para uma determinada área são insuficientes e se quer ter conhecimento dos valores de abrangência dessas amostras. Desta forma o uso de métodos de interpolação para diferentes parâmetros meteorológicos possibilita sua estimativa em áreas ou regiões na qual não há instalação de estações meteorológicas.

O resultado do processo de interpolação espacial é obtido através de isolinhas, linhas do mesmo valor, que correspondem as linhas de contorno de mesma altitude.

Logo, ao analisar o comportamento e distribuição espacial de variáveis meteorológicas torna-se fundamental para elaborar e definir estratégias de planejamento territorial, políticas que atendam desde ao zoneamento agrícola, questões energéticas, ambientais e riscos climáticos. Neste sentido, as vantagens no uso de técnicas de interpolação mostram-se eficazes através da facilidade na verificação de parâmetros e sua espacialização de modo que permite organizar estudos e propor melhorias com agilidade e precisão (PERIN et al., 2015).

TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO

Os interpoladores são assinalados, de acordo com os estudos de Hartkamp et al. (1999) em diferentes categorias, sendo elas globais ou locais, exatos ou suavizantes; e entre determinísticos ou estocásticos, conforme serão apresentados a seguir.

Os interpoladores globais envolvem todos os pontos da área amostrada na qual determinam apenas uma função mapeada sobre toda a região. Já os locais definem-se sobre porções determinadas do mapa, onde as alterações de valores interferem diretamente sobre os pontos próximos (MAZZINI e SCHETTINI, 2009).

Interpoladores exatos são utilizados quando se tem uma precisão sobre valores dos pontos, uma vez que estes representam os dados de forma precisa e não apresenta resíduos. Em contrapartida, os interpoladores suavizantes (smoothing) são aplicados quando existe uma incerteza relacionada aos valores amostrados; eles produzem superfícies com curvas suavizadas e permite que os possíveis erros sejam reduzidos (MAZZINI e SCHETTINI, 2009).

Os interpoladores estocásticos utilizam a probabilidade e possuem critérios estatísticos para atribuir um peso aos pontos em seu cálculo. Os determinísticos não utilizam os métodos da probabilidade, neste modelo são geradas combinações lineares dos valores amostrados tendo por base, de acordo com Mazzini e Schettini (2009) a geometria da distribuição espacial dos dados.

De acordo com Hartkamp et al. (1999) alertam para o fato de que quando os dados são escassos existe uma grande variação sobre os resultados gerados, ao passo que quando se tem uma grande distribuição de informações, a interpolação revela resultados semelhantes.

Sendo assim a qualidade de uma interpolação depende da distribuição e conhecimento dos pontos usados no cálculo e correlação de modelos estatísticos aos fenômenos estudados, na qual a escolha deste modelo é fundamental para obter melhores resultados (LUCAS et al., 2013).

A escolha do interpolador deve ser avaliada a partir de seu desempenho para cada variável ou parâmetro estudado. Diversos estudos apresentam argumentos e testes em defesa de determinado método de interpolação, no entanto verifica-se que para cada região e parâmetro meteorológico um determinado método torna-se mais apropriado, tendo em vista a variabilidade espacial e outros aspectos.

Conforme salienta Burrough & McDonel (1998) citados por ASSAD et al. (2003) existem diversos métodos de interpolação disponíveis no SIG, no entanto ao mapear a variabilidade espacial de parâmetros climáticos é necessário considerar questões básicas como a forma, tamanho e orientação da área em estudo, de modo que não comprometa nos resultados obtidos.

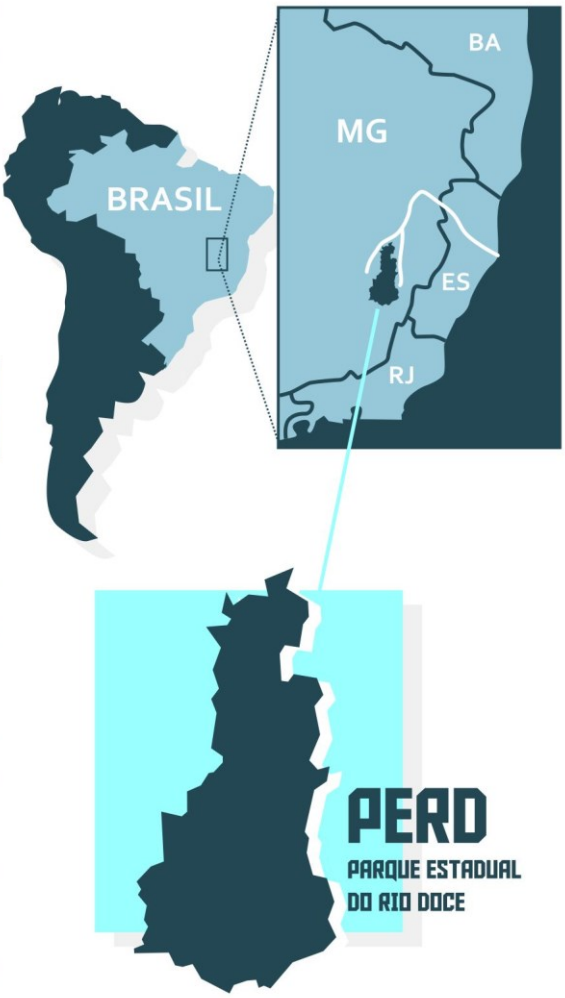
Esta cartilha consiste em avaliar alguns interpoladores selecionados, sendo eles: *Global*

Polynomial Interpolation (GPI), *Inverse Distance Weigth* (IDW), *Krigagem* (KRG) e *Spline*, ambos utilizados na geração de grades regulares e espacialização dos parâmetros climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura média e umidade relativa do ar sobre a região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) em Minas Gerais.

LOCALIZAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE (PERD)

O Parque Estadual do Rio Doce – PERD (Figura 1), possui 35.973 ha e localiza-se no leste do Estado de Minas Gerais, na porção central da Bacia do Rio Doce, sob as coordenadas 19º42'00" Sul 42º30'36" Oeste. Esta área compreende aos municípios de Timóteo, Marliéria e Dionísio. Seus limites geográficos são o Rio Piracicaba, ao norte, e Rio Doce, a leste. O Parque é uma Unidade de Conservação (UC) criada em 14 de julho de 1994, por meio do Decreto-Lei nº1.119 (MINAS GERAIS, 1944), e constitui-se por um importante remanescente de Mata Atlântica do Estado sendo administrado pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF, desde 1962, conforme apresentado pelo Relatório PELD- site 4 (2002).

Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Rio Doce – PERD



ORGANIZAÇÃO DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Séries históricas de precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, foram utilizadas em escala diária, considerando um período de onze anos (2005-2015).

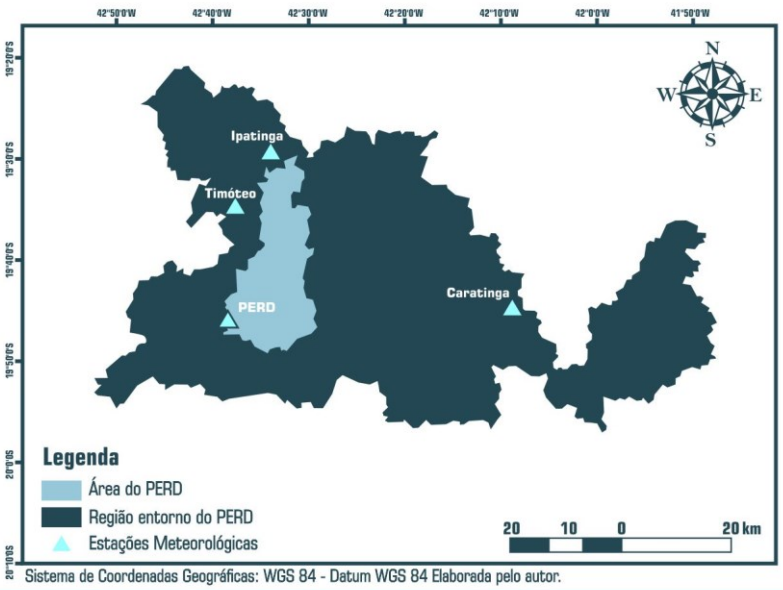
Os dados meteorológicos foram obtidos a partir de quatro estações meteorológicas demonstradas na tabela 1 com a localização geográfica, altimetria e identificação das estações meteorológicas, sendo duas correspondentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Timóteo e Caratinga; e duas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Ipatinga e PERD (Figura 2).

Tabela 1 – Estações Meteorológicas do estudo

LOCALIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)	ID. EST. METEOROLÓGICA
Caratinga	19,7357	42,13714	609	AUT 554
Ipatinga	19,4700	42,52300	305	PCB 32507
Timóteo	19,5738	42,62241	333	AUT 511
PERD	19,8030	42,63380	297	PCB 30800

Fonte: INMET (2019), INPE (2019)

Figura 2 - localização das estações meteorológicas



Sistema de Coordenadas Geográficas: WGS 84 - Datum WGS 84 Elaborada pelo autor.

CÁLCULO DE MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS

Foram calculadas as médias climatológicas decendiais do período entre 2005 a 2015. Os dados referem-se aos parâmetros meteorológicos precipitação, pressão atmosférica, temperatura média e umidade relativa, referente às estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e PERD.

Os dados obtidos em formato .txt foram convertidos ao formato .xls, sendo posteriormente tratados e organizados no software computacional Microsoft Excel.

Para calcular as médias climatológicas seguiu-se o modelo aplicado por Cupolillo (2015), o qual foi computado o somatório da frequência de ocorrência das variáveis meteorológicas em decêndios durante a estação chuvosa (DPC) e durante a estação seca (DPS) dividido pelo período de anos correspondentes a cada uma das quatro estações meteorológicas, de forma que:

(1)

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

Pm = Precipitação Média Sazonal DPC e DPS por ano
nd = Número de decêndios DPC e DPS
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

(2)

$$Pa = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

Pa = Pressão Atmosférica Sazonal DPC e DPS por ano
nd = Número de decêndios DPC e DPS
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

(3)

$$TM = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

TM = Temperatura Média Sazonal DPC e DPS por ano
nd = Número de decêndios DPC e DPS
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

(4)

$$UR = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N}$$

UR = Umidade Relativa Sazonal DPC e DPS por ano
nd = Número de decêndios DPC e DPS
N = Número de anos de dados para cada local

$\sum_{i=1}^{nd} di$ = somatório da umidade relativa acumulada por decêndio, DPC e DPS

Este procedimento foi realizado por meio da soma dos valores diários registrados no "primeiro decêndio" do mês de "janeiro" para cada ano. Em seguida calculou-se a média dos totais obtidos para o "primeiro decêndio" de cada um dos meses de "janeiro" do período em estudo "2005-2015". O procedimento foi otimizado para o decêndio mais úmido e mais seco identificado no período em estudo para esta análise.

GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Para geração dos mapas de precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, os valores obtidos foram interpolados no Software ArcGis 10.3 utilizando os interpoladores Global Polynomial Interpolation (GPI), Inverse Distance Weigth (IDW), Krigagem (KRG) e Spline.

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS INTERPOLADORES

A espacialização dos valores registrados através dos parâmetros meteorológicos do estudo, referentes a região do Parque Estadual do Rio Doce, foi realizada por meio da comparação visual dos mapas temáticos gerados, correspondente aos decêndios selecionados na estação seca e chuvosa sobre cada parâmetro.

MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

Para análise dos diferentes parâmetros meteorológicos, foram selecionados quatro interpoladores, cujo objetivo é avaliar qual destes apresenta o melhor desempenho sobre a região em estudo, levando em consideração a espacialização e sua representação visual nos mapas temáticos.

A seguir serão apresentadas as principais características, potencialidades e desafios do uso de cada um dos interpoladores selecionados para análise dos dados meteorológicos no estudo.

Global Polynomial Interpolation (GPI)

Também chamado de Interpolação polinomial global corresponde a uma função matemática caracteriza-se pelo ajuste e suavização que é realizada sobre a superfície em decorrência da função polinomial aplicada sobre os pontos observados. Este método determinístico é considerado rápido, porém não apresenta um certo grau de exatidão conforme destaca Jakob e Young (2006) que sugerem sua aplicação para superfícies que apresentam mudanças graduais, podendo causar suavização das informações, cuja localização média dos dados poderá exercer influência sobre a superfície.

De acordo com Souza et al. (2011), é possível identificar neste método que a escala dos dados é ajustada gradualmente de forma linear com uma função polinomial, quadrática e cúbica, conforme alteram-se às ordens, numa sequência entre a primeira até a décima.

Inverse Distance Weigth (IDW) ou Inverso Quadrático da Distância

É um método matemático exato podendo também ser considerado suavizante. Constitui-se de acordo com Marcuzzo et al. (2011) como um método computacional rápido, uma vez que a definição dos pesos para ponderação linear é simplista e o peso de cada ponto representa o inverso de uma potência da distância, de forma que, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior será o peso atribuído ao valor da amostra. Em síntese, por meio deste interpolador, os valores referentes aos pontos próximos são similares, em contrapartida, os pontos distantes tornam-se independentes e apresentam menor influência.

O IDW consiste num interpolador local, sendo que a distância entre os pontos e a potência da função tornam-se fundamentais para sua aplicação. Nesse método os pontos de dados encontram-se no interior das isolinhas equivalentes, porém geralmente há a geração de muitas "ilhas" de dados tornando as isolinhas menos suaves (Marcuzzo et al., 2011).

Este método de análise espacial assume de acordo com Amorim et al. (2006) que cada amostra de ponto exerce uma influência local sendo que a mesma reduz-se com a distância. Neste sentido os pontos mais próximos para o processamento da célula, influem de forma mais significativa frente aos que estão distantes. Segundo os autores o uso do IDW é sugerido quando a variável a ser mapeada diminui com a distância.

Um aspecto interessante sobre este método de interpolação relaciona-se a formação de contornos concêntricos ao redor dos pontos de amostragem, fato que se dá pelo caráter estatístico e influência que cada ponto exerce num raio de forma igual em todas as direções, ou seja, na configuração de círculos (ANDRIOTTI, 2009).

Para os autores Jakob e Young (2006) o método IDW determina um valor para determinada área não medida por meio de valores amostrados em seu entorno, pois terão um peso maior sobre os mais distantes. Torna-se adequado o seu uso mediante interpretação preliminar de uma superfície, no entanto a ausência de predição de erros pode resultar numa suavização geral da variável, sendo para tanto, melhor aplicado em pontos amostrais que estão igualmente distribuídos pela área.

Krigagem, Krigeagem ou Kriging (KRG)

Corresponde a um método estocástico que utiliza a geoestatística para efetuar a interpolação, consiste num conjunto de técnicas de estimação de superfícies, baseadas na modelação da estrutura de correlação espacial, tornando-se vantajosa perante outros métodos.

As análises de Jakob e Young (2006) demonstram na perspectiva da geoestatística, que as informações espaciais proporcionam o cálculo de distâncias tal como a modelação e autocorreção. Este processo é realizado a partir de um semivariograma, que corresponde a relação entre variância de pares de observações e a distância que as separa, permitindo fazer interferências.

Os estudos de Vieira (2000) apresentam a Krigagem junto a Teoria das Variáveis Regionalizadas que refere-se à dependência espacial entre amostras vizinhas para estabelecer os valores em áreas não-amostradas. Tal variação espacial é expressa quantitativamente em um semivariograma estimado a partir de uma amostra. O gráfico (semivariograma) representa a correlação espacial dos dados amostrais pela dispersão da semivariância (medida de dispersão) em detrimento dos pontos.

De acordo com Lucas et al. (2013) a Krigagem apresenta uma série de técnicas com análise de regressão que buscam reduzir a variância estimada a partir de um modelo prévio disposto na função de um variograma.

Segundo Mazzini e Shettini (2009) o método estabelece o nível de dependência entre as amostras e a partir da modelagem do semivariograma pode definir os melhores pesos das amostras, sendo um interpolador tanto suavizador como exato.

Logo, verifica-se que este método apresenta como vantagem a capacidade de desagregar os dados e fornecer estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

Spline ou Curvatura Mínima

Revela-se como um método de interpolação que por meio de uma função matemática reduz a curvatura da superfície em estudo, de modo que suaviza os pontos amostrados.

Segundo De Amorim et al. (2008) este método é utilizado para ajustar a superfície, sendo apropriado quando coexiste a tendência de variações gradativas sobre os fenômenos interpolados.

Esta técnica deriva de uma ferramenta de desenho técnico, na qual segundo Mazzini e Schettini (1997) o Spline é muito aceito e utilizado no qual apresenta boa convergência e aproximações precisas, valendo-se da divisão sobre a série de dados e uso de polinômios, constituindo a interpolação de um grande domínio, como desvantagem está o fato de não ser um interpolador exato e como consequência os dados nem sempre apresentam valores reais.

Este método de interpolação apresenta melhores resultados em superfícies que

representam tendências gradativas, como é o caso das chuvas médias na bacia. No entanto torna-se inviável em caso de grandes intervalos nas superfícies ou na situação de pequena distância horizontal (DE AMORIM et al., 2008).

ACURACIDADE DOS INTERPOLADORES

Esta cartilha não visa discutir os algoritmos matemáticos dos métodos de interpolação, mas sim sua aplicação prática e resultados de caráter qualitativo realizados visualmente através da geração de mapas temáticos, com verificação de acurácia e desempenho dos interpoladores selecionados sobre cada um dos parâmetros climáticos, conforme será apresentado a seguir.

Precipitação

O parâmetro climático precipitação compreende a um componente do ciclo hidrológico e constitui uma relação entre a água da atmosfera e o solo, integrado ao escoamento superficial. A precipitação se forma a partir da ascensão de massas de ar úmido, ou seja, a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre.

Existem diferentes tipos de precipitação e tais distinções ocorrem devido a fatores como o relevo e ação das massas de ar, na qual estão ligadas às condições de ascensão do ar. Os três principais tipos de precipitação são as precipitações convectivas, orográficas e ciclônicas ou frontais e o estudo deste parâmetro climático torna-se fundamental devido a água ser o principal elemento que permite a vida dos seres vivos.

A coleta dos dados relacionados a precipitação pluvial (chuvas) é realizada por meio do pluviômetro (Figura 3a), que possui um cilindro com um fundo afunilado na qual a água é coletada e direcionada à um reservatório; a intensidade da precipitação é medida através do pluviógrafo (Figura 3b), que também registra a quantidade da precipitação a partir do pluviograma, onde é possível identificar a evolução da chuva através do tempo, numa escala em milímetros (INMET, 2011).

Figura 3 – Instrumentos Meteorológicos. 3a: Pluviômetro; 3b: Pluviógrafo.

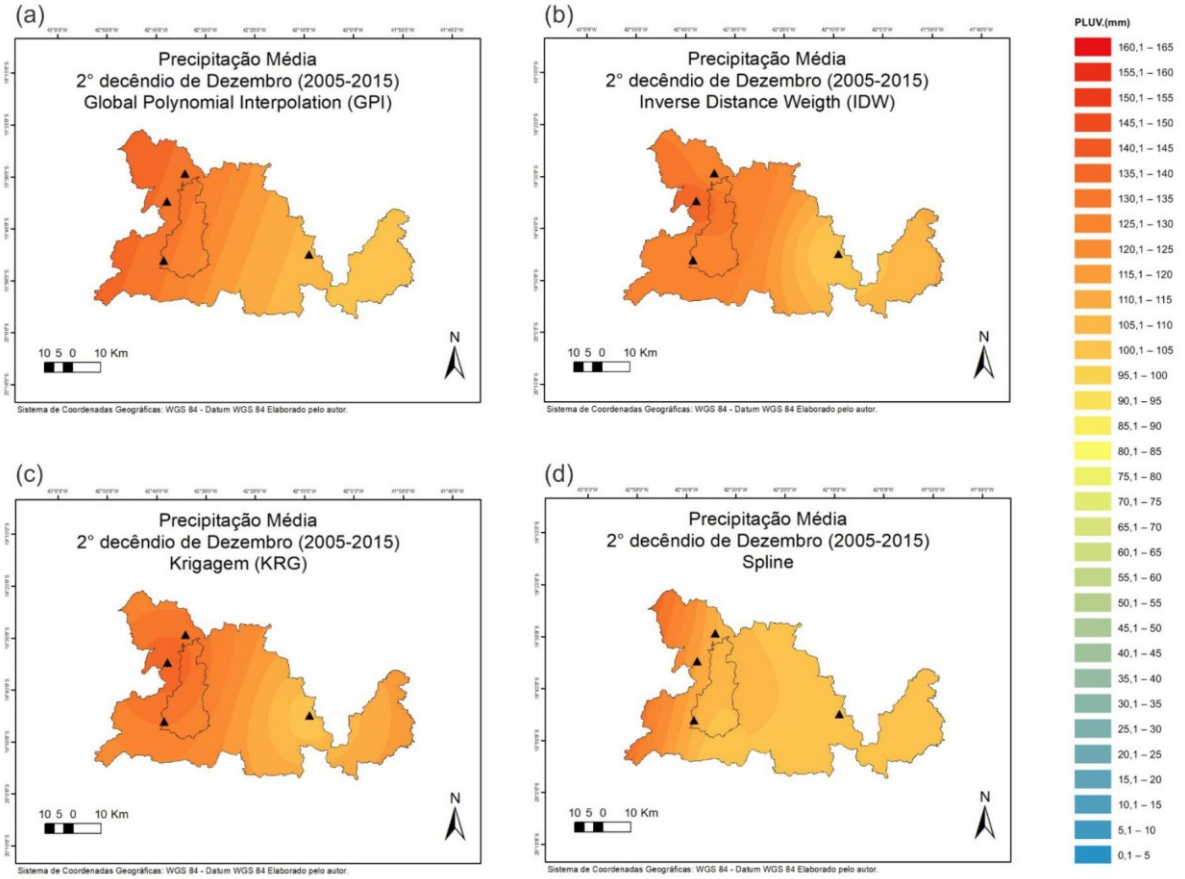
(a) (b)



Fonte: UFPEL, 2020. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/

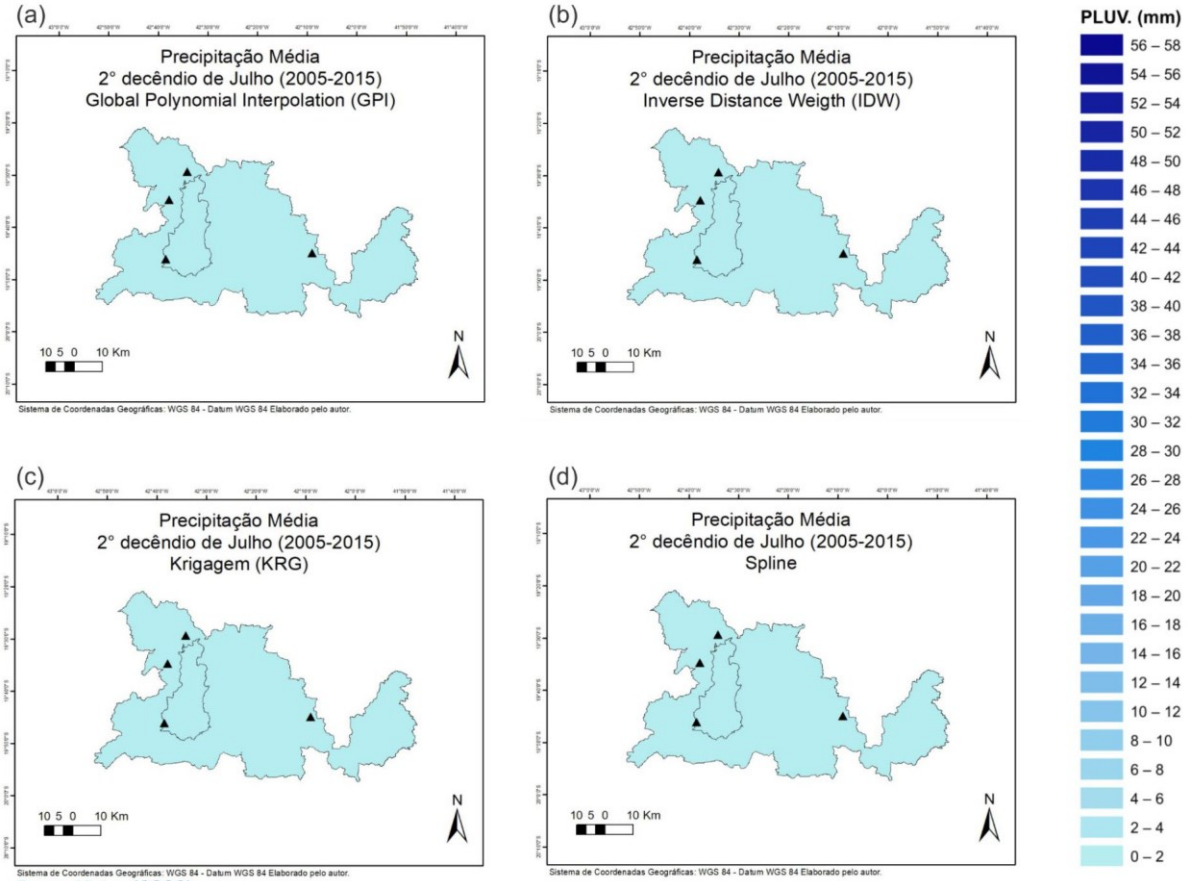
Seguem os mapas temáticos correspondentes ao parâmetro precipitação, com dados médios decendiais das estações meteorológicas do PERD e entorno. Os mapas das figuras 4 e 5, referem-se ao decêndio que apresentou o maior (2° decêndio de dezembro) e menor (2° decêndio de julho) índice de precipitação na estação chuvosa e seca ao longo do período investigado (2005-2015).

Figura 4 – Teste de interpoladores no 2° decêndio de dezembro – Precipitação Média (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Figura 5 – Teste de interpoladores no 2° decêndio de julho – Precipitação Média (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Pressão Atmosférica



O parâmetro climático pressão atmosférica refere-se à força da gravidade um peso da coluna de ar, conforme destaca Conti e Furlan (2008) denomina-se pressão o peso do ar exercido sobre a superfície, na qual apresenta uma variabilidade a depender de sua localização, latitude, dentre outros aspectos.

Para Varejão-Silva (2006) a compreensão sobre a pressão atmosférica é muito relevante pois sendo o ar um fluido, tende a movimentar-se em direção às áreas de menos pressão e o movimento da atmosfera, dentre outros aspectos, relaciona-se à distribuição da pressão atmosférica.

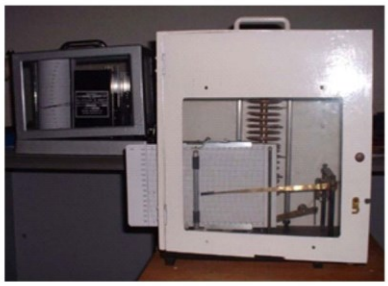
Os instrumentos utilizados para medir a pressão atmosférica são os barômetros (Figura 6a) e os barógrafos (Figura 6b), o primeiro é constituído por um tubo de vidro protegido por um cilindro de metal, estando este unido a uma cuba fixa e escala compensada; o mercúrio contido no interior do tubo transparente ora sobre e desce de acordo com as variações da pressão do ar. Já os barógrafos acompanham as variações na pressão a partir do movimento de um sistema de alavancas que acionam um ponteiro, e por meio de um mecanismo simples, contendo braços e alavancas, transmite as variações da pressão até uma pena com tinta, imprimindo sobre um papel milimetrado um gráfico, a partir de um cilindro em rotação semanal, a variação da pressão atmosférica (INMET, 2011).

Figura 6 – Instrumentos meteorológicos.
6a: Barômetro, 6b: Barógrafo

(a)



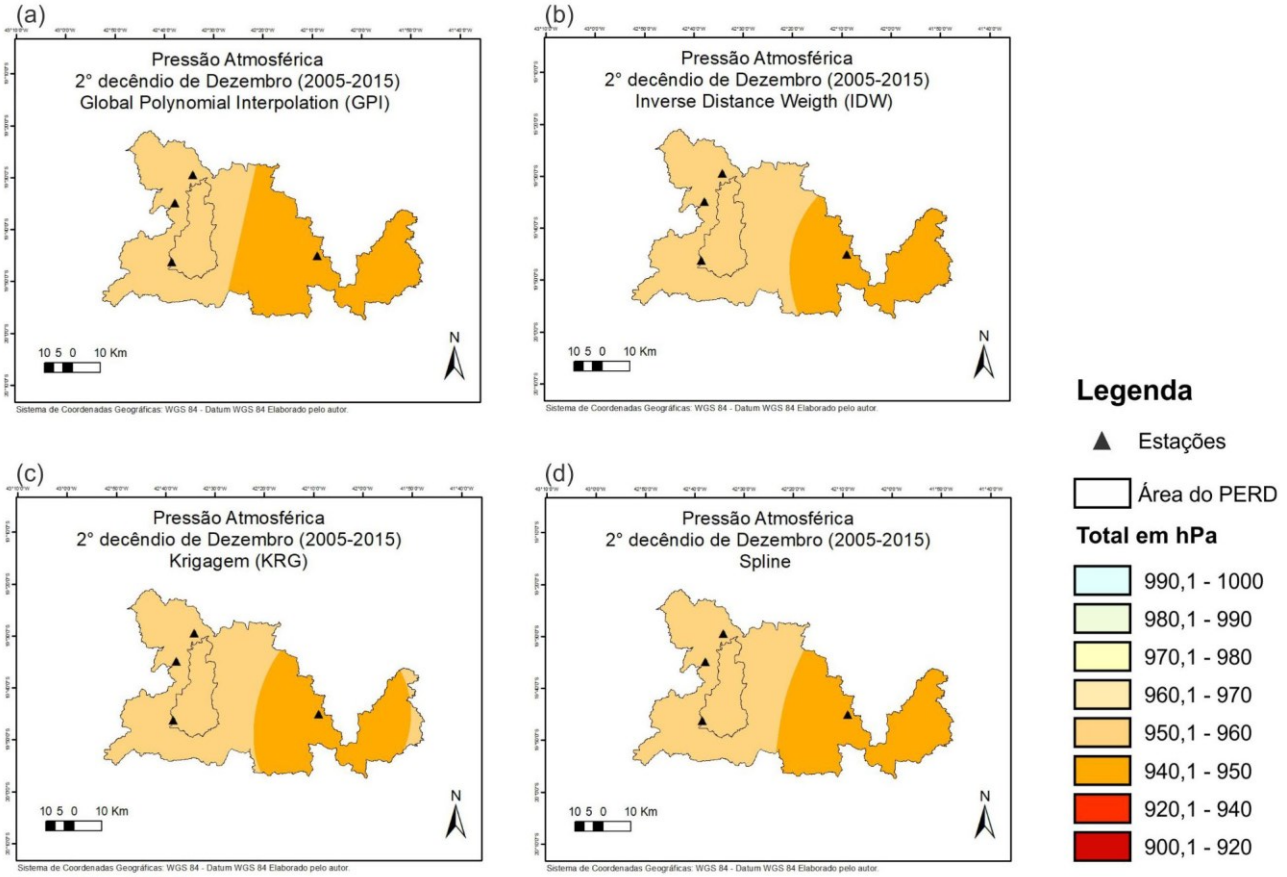
(b)



Fonte: UFPEL, 2020. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/

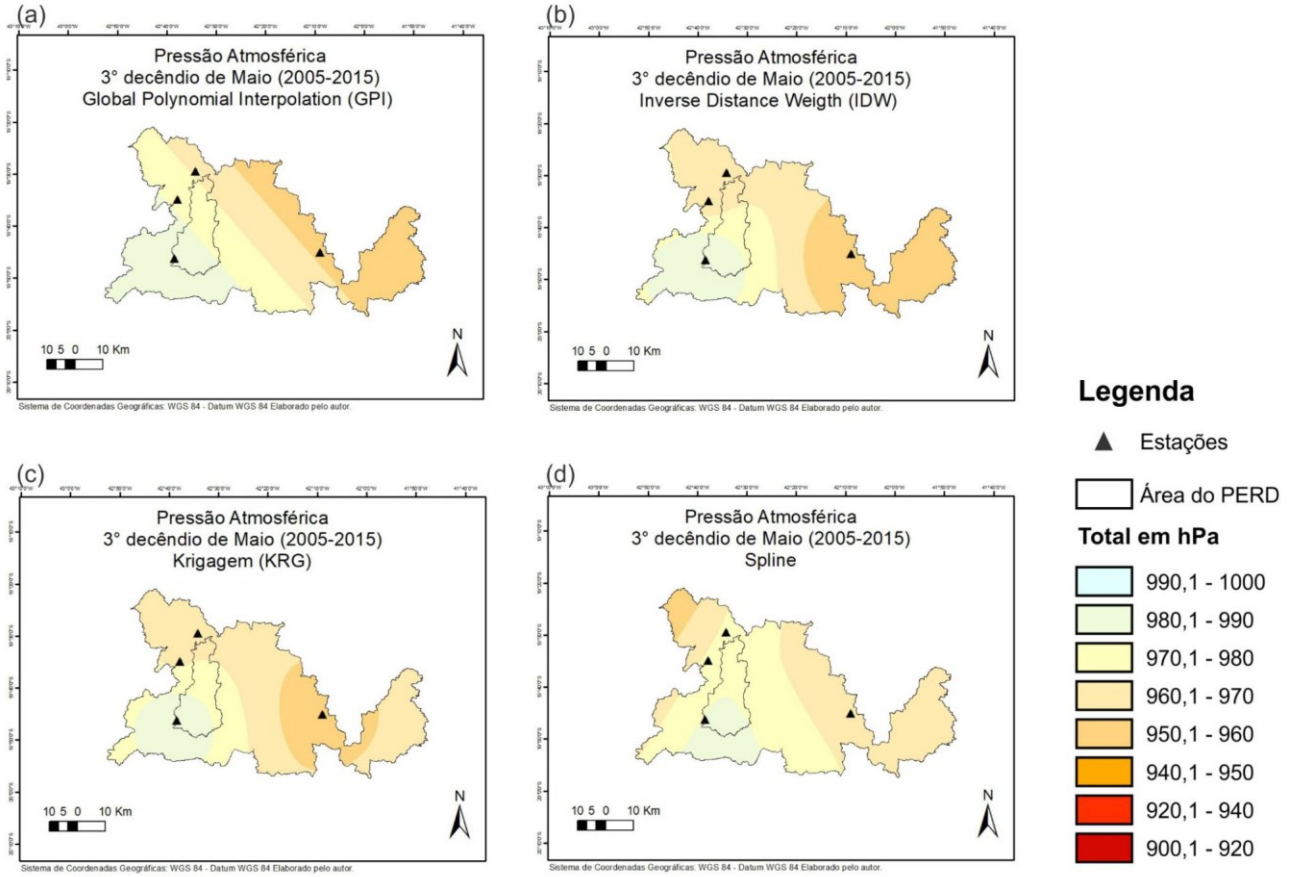
A seguir são apresentados os mapas decendiais deste parâmetro ao longo das estações chuvosa e seca, com destaque para o 2° decêndio de dezembro (Figura 7), que registrou os menores valores e o 3° decêndio de maio (Figura 8) com o maior registro médio identificado no período em estudo (2005-2015) nas estações meteorológicas do PERD e seu entorno.

Figura 7 – Teste de interpoladores no 2° decêndio de dezembro – Pressão atmosférica (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Figura 8 – Teste de interpoladores no 3° decêndio de maio – Pressão atmosférica (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Temperatura

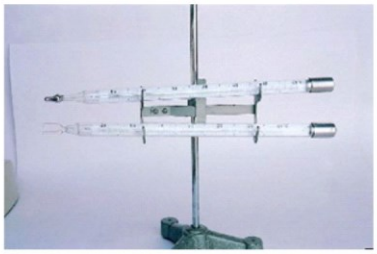
Ao analisar o parâmetro temperatura pode-se afirmar que corresponde a medida do calor sensível do ar, na qual de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007) sua variação acompanha ao movimento aparente do sol resultado de sua trajetória diária.

Quanto à variação espacial, composta por aquecimento/resfriamento têm-se alterações quanto às porções continentais e oceânicas que conferem padrões sazonais distintos devido à incidência e inclinação dos raios solares ao longo do ano.

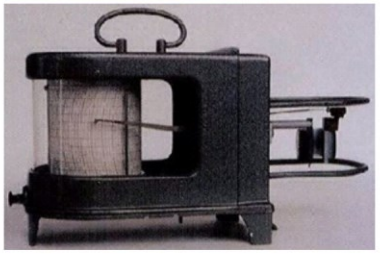
Os instrumentos responsáveis por fornecer os registros da temperatura são os termômetros (Figura 9), existe uma diversidade destes instrumentos porém na meteorologia destaca-se o termômetro de máxima e mínima (Figura 9a) onde os termômetros de máxima verificam a temperatura em um dado momento a partir do mercúrio, eles possuem um estrangulamento no tubo capilar e situa-se inclinado cerca de 5° em relação ao plano horizontal, ficando num nível abaixo da câmara de expansão; já no termômetro de mínima o bulbo bifurcado possui como elemento sensível o álcool etílico, sua disposição geralmente está localizada junto ao termômetro de máxima. Outro importante instrumento de medida são os termógrafos (Figura 9b) na qual as temperaturas são medidas por um aparelho constituído de sensores que acionam alavancas capazes de medir as alterações sobre a temperatura ambiente; as variações são registradas a partir de um termograma fixado em um tambor rotativo, que resulta em um gráfico contínuo a cada 24 horas consecutivas (INMET, 2011).

Figura 9 – Instrumentos meteorológicos.
9a: Termômetros de máxima e mínima, 9b: termógrafo.

(a)



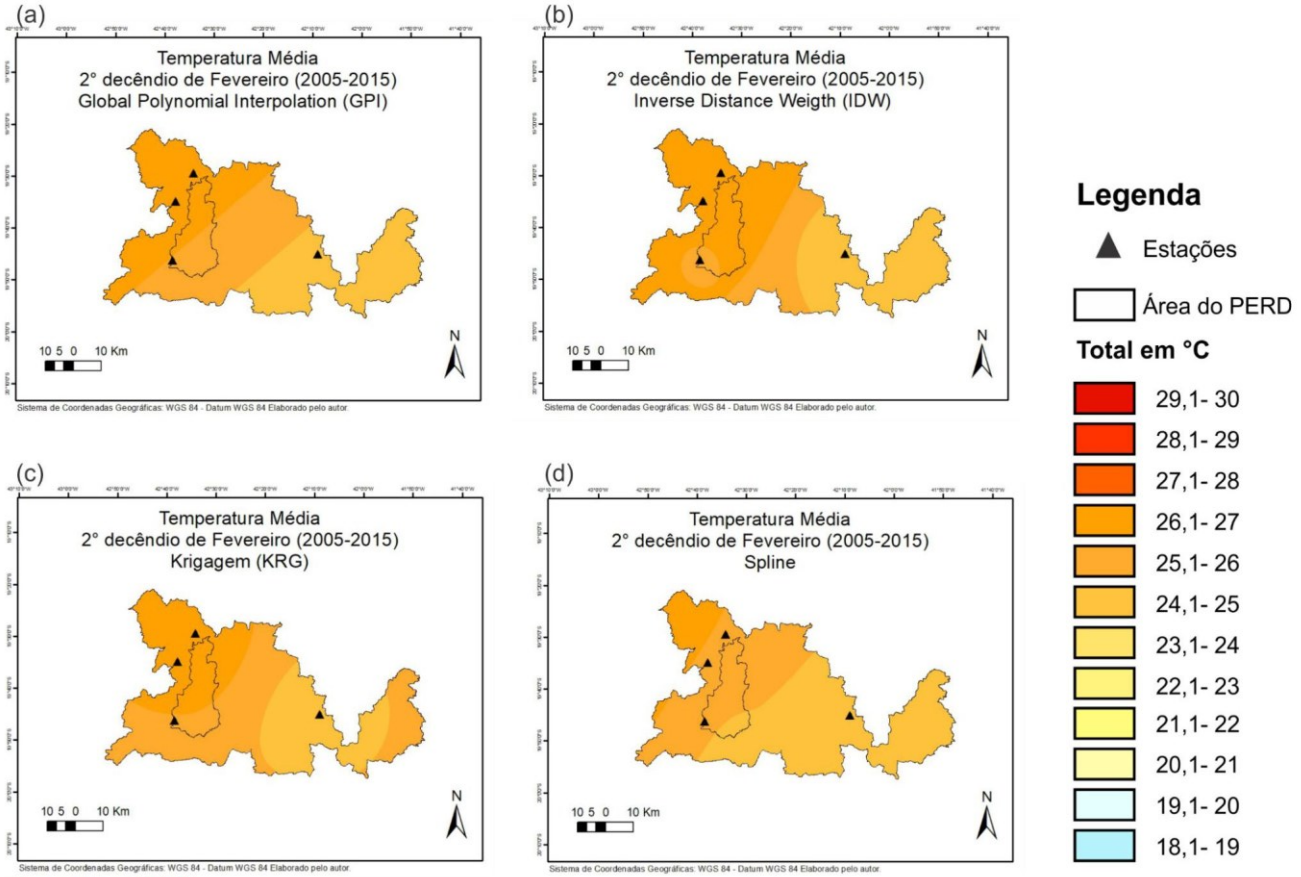
(b)



Fonte: UFPEL, 2020. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/

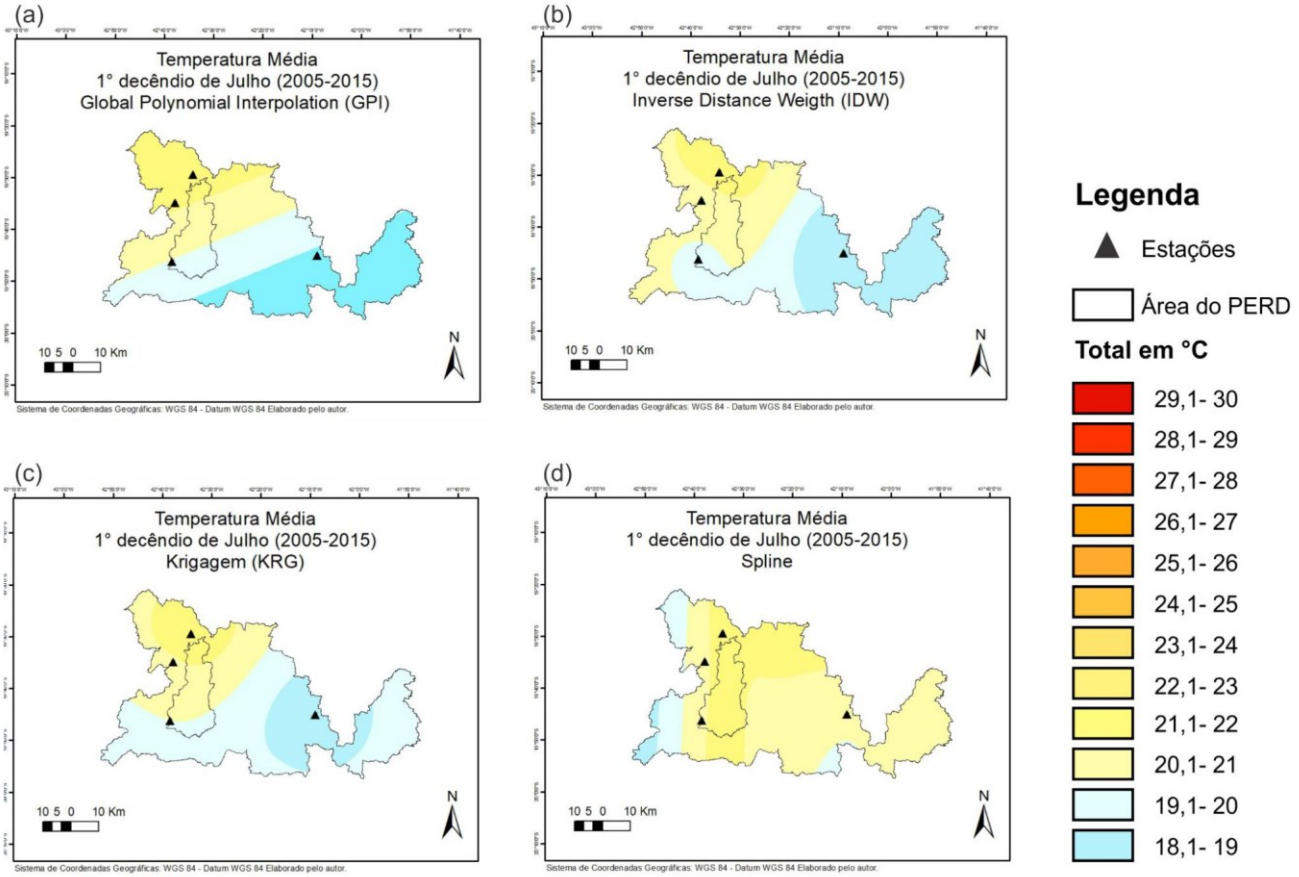
Seguem os mapas temáticos correspondentes ao parâmetro temperatura, com dados médios decendiais das estações meteorológicas do PERD e entorno. Os mapas da figura 10 referem-se ao 2° decêndio de fevereiro que registrou a maior temperatura na estação chuvosa e a figura 11, corresponde ao 1° decêndio de julho, na qual registrou a menor temperatura na estação seca ao longo do período investigado (2005-2015).

Figura 10 – Teste de interpoladores no 2° decêndio de fevereiro – Temperatura Média (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Figura 11 – Teste de interpoladores no 1° decêndio de julho – Temperatura Média (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline..



Fonte: Vieira (2020)

Umidade Relativa Do Ar



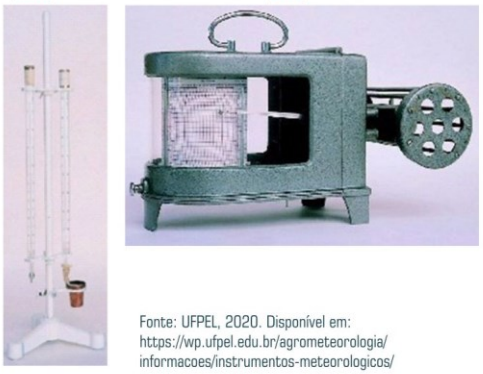
Por fim, o parâmetro umidade relativa do ar refere-se, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) à presença do vapor d'água na atmosfera, sendo representada pela relação entre o vapor existente no ar e seu ponto de saturação.

Para Franca (2009) a umidade atmosférica sofre influência indireta pela atuação de anticiclones por meio dos movimentos de subsidência de ar, que dificultam o transporte de umidade para as camadas médias e superiores; já nas regiões com baixa pressão, os movimentos de ascendência propiciam elevações de vapor d'água na atmosfera, podendo resultar em chuvas.

Para medir este parâmetro são utilizados os psicrômetros (Figura 12a) que consiste em dois termômetros comuns onde um apresenta o bulbo descoberto (termômetro de bulbo seco) e o outro apresenta o depósito de mercúrio umedecido por uma musselina molhada, revestido com uma gaze (termômetro de bulbo úmido). Já os higrógrafos (Figura 12b) tem como base a variação de um feixe de cabelo humano, na qual é possível verificar que ao elevar-se a umidade do ar o feixe de cabelo distende, e ao reduzir a umidade, o feixe se contrai. Este instrumento possui alavancas que acionam o suporte de uma pena registradora que move-se num tambor rotativo contendo um diagrama com papel especial, que registra na escala horizontal o tempo e na vertical a umidade (INMET, 2011).

Figura 12 – instrumentos meteorológicos.
12a: Psicrômetro, 12b: Higrógrafo

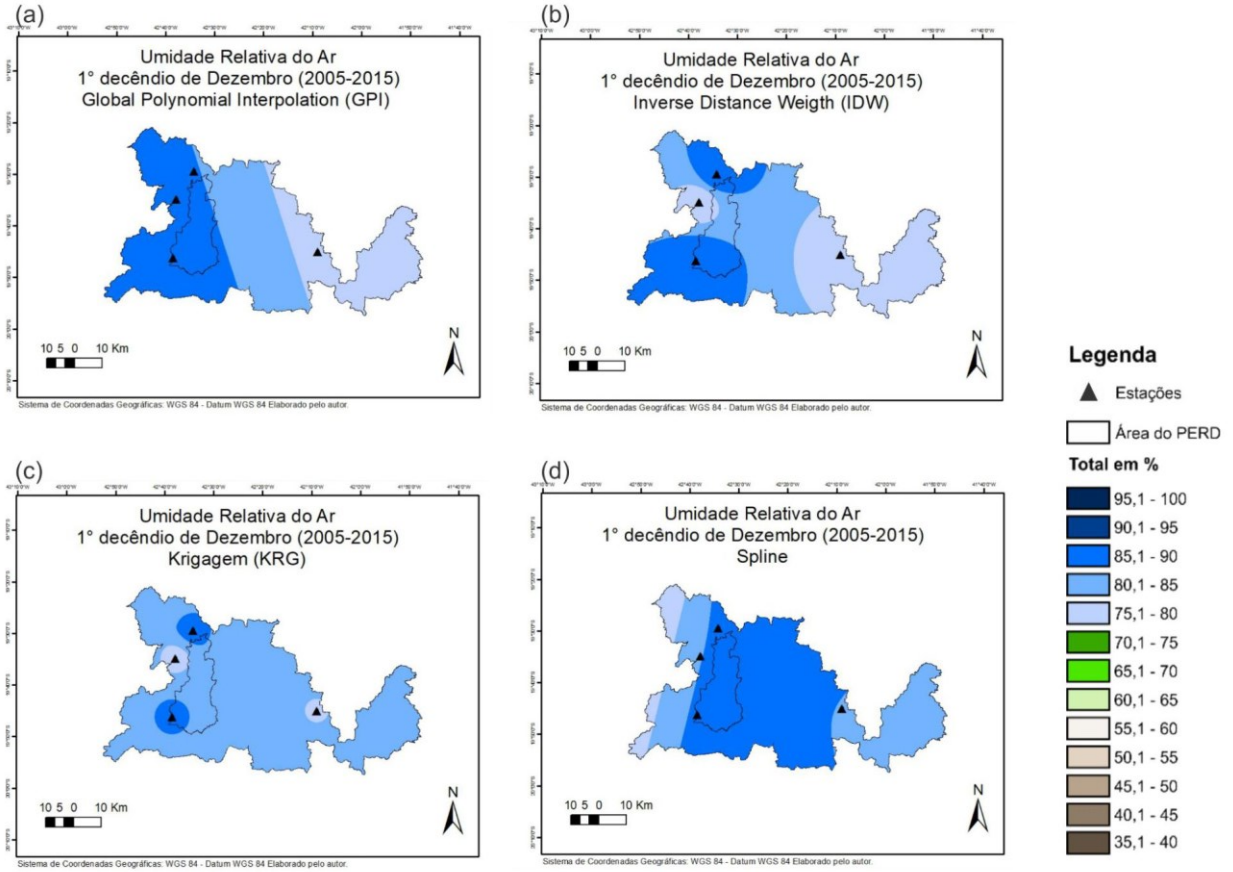
(a) (b)



Fonte: UFPEL, 2020. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/

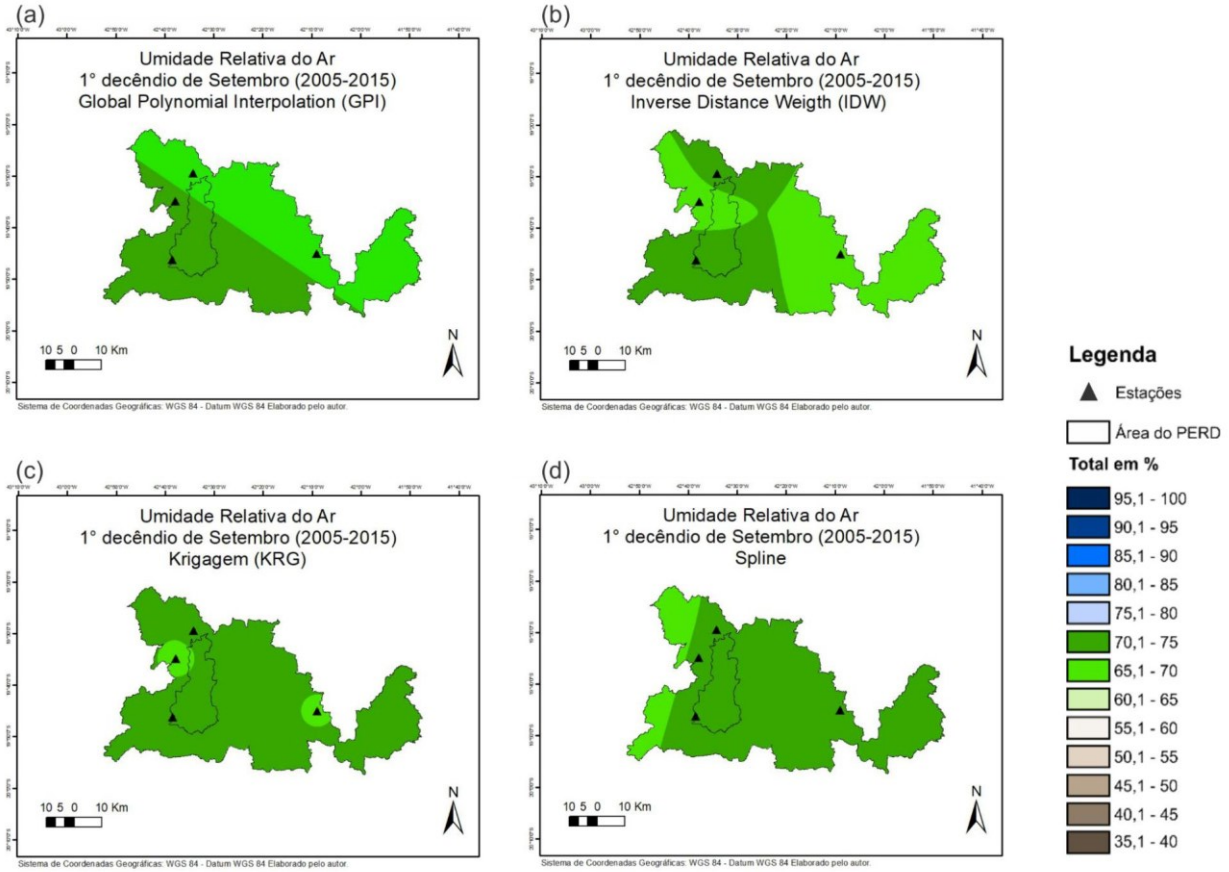
Os resultados apresentados nos mapas temáticos a seguir correspondem ao 1° decêndio de dezembro relacionado ao decêndio mais úmido da estação chuvosa (Figura 13) e o 1° decêndio de setembro, que se referem aos menores percentuais de umidade relativa identificado na estação seca (figura 14).

Figura 13 – Teste de interpoladores no 1° decêndio de dezembro – Umidade relativa do ar (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

Figura 14 – Teste de interpoladores no 1° decêndio de setembro – Umidade relativa do ar (2005-2015).
a) Global Polynomial Interpolation (GPI); b) Inverse Distance Weigth (IDW); c) Krigagem (KRG); d) Spline.



Fonte: Vieira (2020)

COMPARAÇÃO E ANÁLISE DOS MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

Os mapas construídos através do software ArcGis 10.3, a partir do uso de modelos matemáticos de interpolação determinísticos e estatísticos, tiveram como base os dados médios decendiais das estações meteorológicas de Caratinga, Ipatinga, Timóteo e do PERD, na qual foram investigados o desempenho de interpoladores distintos frente aos parâmetros climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar. Os resultados e análises dos testes de interpolação, identificados nos mapas temáticos apresentados anteriormente, serão discutidos a seguir.

A partir do conjunto de mapas temáticos foi possível organizar uma avaliação que, embora subjetiva, possui grande relevância, uma vez que consiste no produto final do processo de interpolação sobre diferentes parâmetros climáticos. Ressalta-se, como mencionado anteriormente, que a cartilha não visa discutir os algoritmos matemáticos dos métodos apresentados, mas sim a sua aplicação prática e efeito visual dos resultados frente às superfícies e mapas temáticos.

Ao verificar o desempenho de todos os interpoladores ao longo de cada parâmetro, pode-se inferir que o Global Polynomial Interpolation (GPI) e Spline não apresentaram um bom desempenho sobre os parâmetros avaliados. Tais resultados podem estar relacionados ao número de pontos amostrados neste trabalho, fato que deve ser considerado para análise e espacialização.

Faz-se necessário considerar que o interpolador Global Polynomial Interpolation (GPI) considera a localização da média dos dados na obtenção de um amplo efeito (influência) sobre a superfície, na qual não é necessária uma hipótese inicial para os dados. Verifica-se que este método é muito utilizado para examinar e/ou remover os efeitos de tendências globais de longa duração, criando superfícies que descrevem processos físicos. Entretanto, quanto maior a ordem da função polinomial, maior a complexidade para a explicação; tais superfícies também são muito suscetíveis aos pontos extremos (outliers).

Os interpoladores que obtiveram melhor desempenho foram o Inverse Distance Weigth (IDW) e a Krigagem (KRG), sendo possível identificar que a espacialização dos dados ocorreu de maneira uniforme.

Ao comparar os mapas temáticos em cada parâmetro e sua espacialização, é possível identificar que o interpolador IDW apresentou uma melhor distribuição dos elementos climáticos sobre a região em estudo nas figuras 3b, 4b, 5b, 6b, 7b, 8b, 9b e 10b. Tais resultados demonstraram um

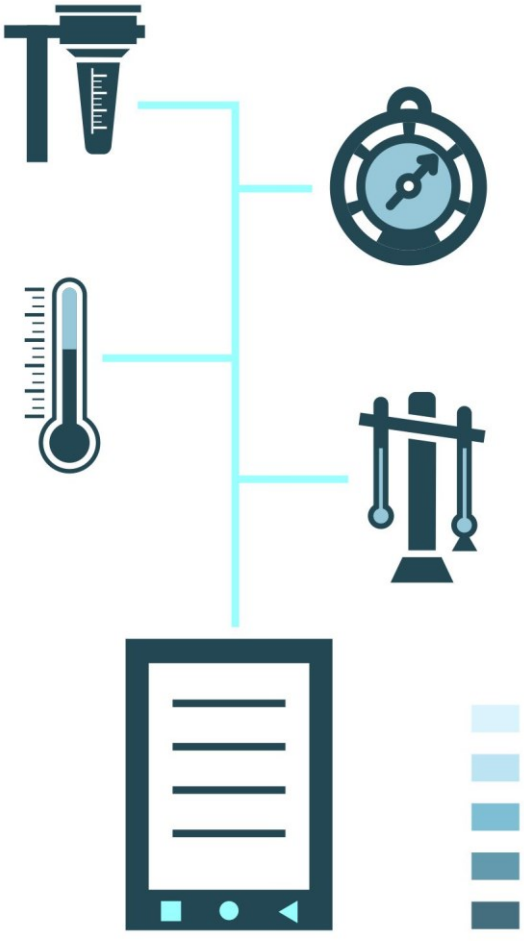
peso maior sobre as amostras mais próximas, resultando em contornos concêntricos. Além disso, por se tratar de um método determinístico, é possível visualizar uma superfície com valores mais próximos ao real.

O método de interpolação da Krigagem demonstrou através das figuras 3c, 4c, 5c, 6c, 7c, 8c, 9c e 10c uma espacialização que não evidencia de forma significativa a realidade geográfica da região do PERD e entorno, pois não se aplica as características topográficas necessárias frente aos valores amostrais registrados e resultado apresentado.

Vale ressaltar, porém que, a apresentação e visualização dos mapas temáticos a partir do interpolador Krigagem demonstraram um bom desempenho visual, tal como o interpolador IDW, na qual é possível identificar a espacialização dos parâmetros meteorológicos de maneira bem delimitada e próximo às estações meteorológicas deste estudo.

O desempenho do interpolador IDW em cada parâmetro meteorológico permitiu uma maior proximidade entre os dados registrados e à realidade das superfícies, com a influência das condições topográficas e quantidade de estações meteorológicas (unidades amostrais).

Os mapas temáticos desenvolvidos o interpolador IDW demonstraram um desempenho e distribuição mais uniforme que os demais métodos, o que corrobora com os resultados de Cunha (2019), Lima (2019), Antunes (2018) e Cupolillo (2015), afirmando ser o algoritmo Inverse Distance Weigth o que melhor representa os parâmetros de precipitação, pressão atmosférica, temperatura média e umidade relativa do ar, quando comparado aos métodos Global Polynomial Interpolation, Krigagem e Spline.



CONSIDERAÇÕES

O desenvolvimento desta cartilha permitiu aprofundar os conhecimentos referentes à importância e aplicação da ferramenta de interpolação, como mecanismo de organização e interpretação de fenômenos espaciais, dentre eles os climáticos e meteorológicos.

Verificou-se que o uso destas ferramentas, pertencentes ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) mostram-se eficazes na organização e espacialização de parâmetros climáticos, de modo que facilita a interpretação e análise de informações. Neste aspecto os mapas temáticos, construídos a partir destas ferramentas tornam-se instrumentos de grande relevância em análises espaciais.

O estudo permitiu identificar que um dos grandes desafios torna-se a escolha do método de interpolação que apresenta um desempenho mais satisfatório frente ao parâmetro climático selecionado, levando-se em consideração a variabilidade e superfície em estudo.

Foram realizadas análises de caráter qualitativo a partir de observação e comparação visual dos mapas decendiais dos parâmetros climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar na estação chuvosa e seca da região do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno.

Dentre os resultados observados, destaca-se que os interpoladores Global Polynomial Interpolation (GPI) e Spline não apresentaram um desempenho satisfatório, uma vez que a configuração dos mapas não demonstrou uma espacialização dos parâmetros climáticos, possivelmente devido ao número de pontos amostrais neste estudo.

Já os interpoladores Krigagem e Inverse Distance Weigth (IDW) demonstraram um bom desempenho em todos os mapas temáticos apresentados. Foi possível identificar os contornos entre as estações meteorológicas e uma espacialização dos parâmetros bem delimitadas. No entanto houveram diferenças na representação entre estes métodos de interpolação.

Apesar do bom desempenho visual demonstrado nos mapas, o interpolador Krigagem não apresentou de forma evidente à realidade topográfica da região em estudo frente aos parâmetros avaliados. O interpolador Inverse Distance Weigth por sua vez, é um método exato de fácil manipulação e que apresentou em seus resultados superfícies regulares com uma delimitação das estações meteorológicas a partir de círculos concêntricos e uma característica típica

deste interpolador de suavizar os resultados.

Neste sentido, em conformidade com os estudos de Cunha (2019), Lima (2019), Antunes (2018) e Cupolillo (2015) avalia-se que o método de interpolação Inverse Distance Weigth (IDW) apresentou um melhor desempenho frente aos parâmetros climáticos precipitação, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar sobre a região do PERD e seu entorno, conforme os dados apresentados neste estudo.

Cabe ressaltar que tal análise e comparação nesta cartilha não levou em consideração os algoritmos matemáticos que constam nos métodos de interpolação apresentados, além de não ter sido realizada nenhuma acuracidade por meio de métodos estatísticos.

O propósito desta análise possui um caráter visual e qualitativo, cujo interesse é propiciar subsídios e análises sobre a espacialização de diferentes parâmetros climáticos em uma determinada área de estudo, tendo por base diferentes métodos de interpolação.



REFERÊNCIAS

ALVES, FC Avaliação de interpoladores para espacialização de variáveis de variação na bacia hidrográfica do rio Ivaí. In: XV SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: INPE, 2011 P. 4070.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. Fundamentos de Estatística e Geoestatística. São Leopoldo, RS: Unisinos. 2ª reimpressão, 2009.

ANTUNES, D. A. Diagnóstico Climatológico do Parque Estadual do Rio Doce – PERD. Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, Bambuí - MG, 2018.

ASSAD, E. D.; MACEDO, M. A.; ZULLO JÚNIOR, J.; Pinto, H. S.; Brunini, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.2, p.161-171, 2003.

CÂMARA, Gilberto et al. Anatomia de sistemas de informações geográficas. Instituto de Computação. Campinas: UNICAMP, 1996.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.

CONTI, José Bueno; FURLAN, S. O clima: a atmosfera e a vida terrestre. In: ROSS, Jurandir Luciano Sanches (Org). Geografia do Brasil. 5.ed. São Paulo: Edusp, 2008. p.69-110.

CUNHA, D. M. Variabilidade das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce –MG/ES no período de 1991 A 2017. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial. Belo Horizonte, 2019. 281f.

CUPOLILLO, F. Diagnóstico Hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce. 1ª. ed. Saarbrücken - Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. v. 1. 224p.

DE AMORIM, Raniéri Carlos Ferreira; RIBEIRO, A.; LEITE, C.C.; LEAL, B. G. e SILVA, J. B. G.. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. Acta Scientiarum. Technology, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

FRANCA, R. R. da. Anticiclones e umidade relativa do ar: um estudo sobre o clima de Belo horizonte. Dissertação (mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo horizonte.2009. 109f.

HARTKAMP, A.D.; DE BEURS, K.; STEIN, A. & WHITE, J.W. (1999) Interpolation Techniques for Climate Variables. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.: CIMMYT, 34 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA INMET, Boletim Agroclimatológico. Mensal. N.10/2015 a 12/2016. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2019.

INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS. Universidade Federal de Pelotas, Agrometeorologia, 2020. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/instrumentos-meteorologicos/> Acesso em: 12/06/2020.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15, 2006, Caxambú, Minas Gerais. Anais... Caxambu: ABEP. 2006. p.

LIMA, J. M. Análise espaço-temporal das chuvas persistentes na região do Parque Estadual do Rio Doce – PERD (2005 A 2015). Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Bambuí, 2019. 346 p.

LUCAS, Taíza Pinho Barroso et al. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. Revista Brasileira de Climatologia, v. 13, 2014.

MARCUZZO, F. N, ANDRADE, L. R. & MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física. Vol. 4. Ano 2011. 793-804p.

MAZZINI, P.L.F. & SCHETTINI, C.A.F. (2009). Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. Brazilian Journal of Aquatic Sciences & Technology, (1-31), pp. 53-64.

MINAS GERAIS. Decreto-Lei nº 1.119, de 14 de julho de 1944. Dispõe sobre parques florestais. Diário do Executivo, Minas Gerais, 15 de julho de 1944.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficinas de Textos, 2007.

OLEA, Ricardo A. Geostatistical glossary and multilingual dictionary. Oxford University Press on Demand, 1991.

PERIN, Edenir Bagio et al. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. Geografia, v. 40, n. 2, 2015.

PERÔNICO, C. Preenchimento sedimentar de lagos assoreados na região do médio rio Doce, Minas Gerais**.** Tese (doutorado em Ciências Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto 2009. 108f.

Relatório técnico-científico das atividades do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD, site 4, Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce – MG - 2002. Setembro, 2002. 391 p.

SOUZA, J. L. L. L., GOMES, T. S., DIAS, R. S., OLIVEIRA, G. M. A., & SANTOS, R. L. (2011). Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão/Bahia. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 4295-4302.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife: Versão Digital 2, 2006.

VIEIRA, S. R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1, 1-53.