

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Danielle Pereira da Costa Lima

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO EM BELO HORIZONTE: o ano seco
de 2014.**

Belo Horizonte
2024

Danielle Pereira da Costa Lima

ANÁLISE DA DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO EM BELO HORIZONTE: o ano seco de 2014.

Versão Final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Geografia Física

Orientador: Professor Doutor Carlos Henrique Jardim

Coorientador: Professor Doutor Aion Angelu Ferraz Silva

Belo Horizonte
2024

L732a
2024

Lima, Danielle Pereira da Costa.

Análise da dinâmica da precipitação em Belo Horizonte [manuscrito] : o ano seco de 2014 / Danielle Pereira da Costa Lima. – 2024.

137 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Carlos Henrique Jardim.

Co-orientador: Aion Angelu Ferraz Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2024.

Área de concentração: Geografia Física.

Bibliografia: f. 133-137.

1. Belo Horizonte (MG) – Clima – Teses. 2. Precipitação (Meteorologia) – Variabilidade – Teses. 3. Secas – Belo Horizonte (MG) – Teses. 4. Planejamento urbano – Fatores climáticos – Teses. I. Jardim, Carlos Henrique. II. Silva, Aion Angelu Ferraz. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 551.577.38(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
FOLHA DE APROVAÇÃO

"ANÁLISE DA DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO EM BELO HORIZONTE: O ANO SECO DE 2014"

DANIELLE PEREIRA DA COSTA LIMA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 26 de junho de 2024, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:

Carlos Henrique Jardim

IGC/UFMG

Wellington Lopes Assis

IGC/UFMG

Taíza de Pinho Barroso Lucas

CEFET-MG

Belo Horizonte, 26 de junho de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Henrique Jardim, Professor do Magistério Superior**, em 26/06/2024, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wellington Lopes Assis, Professor do Magistério Superior**, em 26/06/2024, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Taíza de Pinho Barroso Lucas, Usuário Externo**, em 27/06/2024, às 19:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3305161** e o código CRC **A0FF642A**.

*Agradeço à minha família.
Especialmente ao meu marido,
Emerson, minha amada filhinha
Camila e a minha mãe, Maria Celeste.*

AGRADECIMENTO

Aos meus pais e irmão por todo apoio e carinho.

Ao meu amado e companheiro, Emerson, por ter me apoiado desde o dia da inscrição do mestrado até a presente data da apresentação final. Por ouvir meus choros e falas de desistência, mas me encorajar e incentivar a persistir. Caminhamos juntos, esse título também é seu!

À minha Filha Camila, por quem enfrento qualquer situação. Dedico este título ela, meu maior amor.

À minha mãe, Maria Celeste Pereira da Costa. Sua ajuda nas minhas conquistas e incentivo foram e são fundamentais!

Ao meu pai, Versol Ferreira da Costa, pelo amor e apoio.

À Tia e Prof. Dra. Rogéli Tiburcio Ribeiro da Cunha Peixoto, fonte de inspiração.

À minha sogra, Maria das Graças. Sua sabedoria e amparo foram e são fundamentais!

Ao Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim, a quem sou imensamente grata pelos ensinamentos e orientações dados até aqui, pela dedicação, apoio e todo incentivo concedidos nesta caminhada.

Ao Prof. Dr. Aion Angelu Ferraz Silva, por sua sabedoria e orientação nesta conquista.

À todos os amigos que estiveram ao meu lado durante minha passagem pelo IGC. Aos Amigos e amigas que estiveram presentes durante toda a minha vida, especialmente Ana Gabriela e Nathália por serem verdadeiras.

Ao Prof. Dr. Wellington Lopes Assis e à Prof.^a Dra. Taíza de Pinho Barroso Lucas, pela disponibilidade de participarem da banca examinadora e pelas importantes contribuições à dissertação.

Ao Prof. Dr. Diego Tarley Ferreira Nascimento da UFG e seu orientando, Hernane, pela ajuda e pelo tempo dedicado.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento desta dissertação.

À Deus por nunca ter me desamparado!

“You have to learn to crawl before you learn to Walk”

Amazing, Aerosmith

RESUMO

O presente estudo investiga a dinâmica das chuvas em Belo Horizonte durante o ano seco de 2014, analisando a distribuição espacial e temporal das precipitações e seus impactos ambientais, através dos dados das Normais Climatológicas (1961-2020) e informações coletadas pela Estação meteorológica convencional 5º DISMET do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Este trabalho compara os padrões de precipitação de 2014 com as médias históricas e destaca a importância da compreensão detalhada do regime pluviométrico para a gestão de recursos hídricos, bem como atenuação de problemas urbanos causados pela variabilidade climática. Foram analisados fatores atmosféricos como massas de ar e interações com o relevo local, além de terem sido elaboradas tabelas estatísticas e gráficos de anomalias de precipitação. Os resultados mostram a influência significativa das condições climáticas no abastecimento de água e nas estratégias de adaptação urbana em períodos de seca extrema.

Palavras-chave: Belo Horizonte; estatística descritiva; precipitação; ano seco; massas de ar.

ABSTRACT

This study investigates the dynamics of rainfall in Belo Horizonte during the dry year of 2014, analyzing the spatial and temporal distribution of precipitation and its environmental impacts using data from Climatological Normals (1961-2020) and information collected by the conventional weather station 5° DISMET of the National Institute of Meteorology (INMET). This work compares the precipitation patterns of 2014 with historical averages and highlights the importance of a detailed understanding of the rainfall regime for water resource management and the mitigation of urban problems caused by climatic variability. Atmospheric factors such as air masses and interactions with the local topography were analyzed, in addition to the preparation of statistical tables and precipitation anomaly graphs. The results show the significant influence of climatic conditions on water supply and urban adaptation strategies during periods of extreme drought.

Keywords: urban climate; precipitation; dry year; air masses.

Lista de Ilustrações

FIGURA 1: ESTRUTURAÇÃO DO GEOSSISTEMA E DO SISTEMA SOCIOECONÔMICO. ADAPTADO DE: CHRISTOFOLETTI (1999).....	25
FIGURA 2: CONDIÇÕES DE EL NIÑO DURANTE O VERÃO NO HEMISFÉRIO SUL. FONTE: ENOS.CPTEC.....	29
FIGURA 3: CONDIÇÕES DE LA NIÑA DURANTE O VERÃO NO HEMISFÉRIO SUL. FONTE: ENOS.CPTEC.....	29
FIGURA 4: CONDIÇÕES NORMAIS DE VENTOS E EL NIÑO. FONTE: HTTP://ENOS.CPTEC.INPE.BR/ELNINO/PT	30
FIGURA 5: CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA. FONTE: CAVALCANTI ET. AL. (2009).....	33
FIGURA 6: CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA. FONTE: CAVALCANTI ET. AL. (2009).....	34
FIGURA 7: ELEMENTOS RELEVANTES AO TRANSPORTE DE UMIDADE NA AMÉRICA DO SUL A LESTE DOS ANDES PELOS JATO DE BAIXOS NÍVEIS (JBN), FRENTES VÁRIAS (FF), E TRANSPORTE DE UMIDADE DO ATLÂNTICO SUL, ASSIM COMO A PRESENÇA DA ZCAS PARA UM VERÃO NORMAL. FONTE: MARENGO ET. AL.....	45
FIGURA 9: PLUVIOGRAMA COM OS ACUMULADOS MENSIS E ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO PARA PINDAMONHAGABA-SP (1923/1951). FONTE: NASCIMENTO ET. AL (2019), SCHRODER (1956).....	51
FIGURA 10: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE.....	54
FIGURA 11: CLIMOGRAMA DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE (1991-2020). DADOS: NORMAIS CLIMATOLÓGICAS.....	55
FIGURA 12: MAPA HIPSOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE.....	57
FIGURA 13: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	58
FIGURA 14: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	61
FIGURA 15: MANCHETE JORNALÍSTICA SOBRE "CLIMA SECO MARCA O ANO DE 2014". FONTE: JORNAL O TEMPO.....	96
FIGURA 16: IMAGEM DE SATÉLITE DO DIA 04/01/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	97
FIGURA 17: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 04/01/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	97
FIGURA 18: CARTA SINÓTICA DO DIA 04/01/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	98
FIGURA 19: CARTA SINÓTICA DO DIA 10/01/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	98
FIGURA 20: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 17/01/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	99
FIGURA 21: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 23/01/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	99
FIGURA 22: CARTA SINÓTICA DO DIA 17/01/2014. MARINHA DO BRASIL.....	99
FIGURA 23: CARTA SINÓTICA DO DIA 23/01/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	99
FIGURA 24: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 03/02/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	100
FIGURA 25: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 09/02/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	100
FIGURA 26: CARTA SINÓTICA DO DIA 03/02/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	101
FIGURA 27: CARTA SINÓTICA DO DIA 09/02/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	101
FIGURA 28: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 19/02/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	102

FIGURA 29: CARTA SINÓTICA DO DIA 19/02/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	102
FIGURA 30: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 28/02/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	103
FIGURA 31: CARTA SINÓTICA DO DIA 28/02/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	103
FIGURA 32: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 01/03/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	104
FIGURA 33: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 04/03/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	104
FIGURA 34: CARTA SINÓTICA DO DIA 01/03/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	104
FIGURA 35: CARTA SINÓTICA DO DIA 04/03/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	104
FIGURA 36: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 07/03/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	105
FIGURA 37: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 09/03/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	105
FIGURA 38: CARTA SINÓTICA DO DIA 07/03/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	105
FIGURA 39: CARTA SINÓTICA DO DIA 09/03/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	105
FIGURA 40: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 15/03/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	106
FIGURA 41: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 24/03/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	106
FIGURA 42: CARTA SINÓTICA DO DIA 15/03/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	107
FIGURA 43: CARTA SINÓTICA DO DIA 24/03/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	107
FIGURA 44: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 03/04/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	108
FIGURA 45: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 04/04/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	108
FIGURA 46: CARTA SINÓTICA DO DIA 03/04/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	108
FIGURA 47: CARTA SINÓTICA DO DIA 04/04/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	108
FIGURA 48: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 12/04/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	109
FIGURA 49: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 12/04/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	109
FIGURA 50: CARTA SINÓTICA DO DIA 12/04/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	109
FIGURA 51: CARTA SINÓTICA DO DIA 17/04/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	109
FIGURA 52: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 21/04/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	111
FIGURA 53: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 22/04/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	111
FIGURA 54: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 29/04/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	111
FIGURA 55: CARTA SINÓTICA DO DIA 21/04/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	112
FIGURA 56: CARTA SINÓTICA DO DIA 22/04/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	112
FIGURA 57: CARTA SINÓTICA DO DIA 29/04/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	112
FIGURA 58: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 01/10/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	113
FIGURA 59: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 05/10/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	113
FIGURA 60: CARTA SINÓTICA DO DIA 01/10/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	114
FIGURA 61: CARTA SINÓTICA DO DIA 05/10/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	115
FIGURA 62: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 09/10/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	115
FIGURA 63: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 14/10/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	115
FIGURA 64: CARTA SINÓTICA DO DIA 09/10/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	115
FIGURA 65: CARTA SINÓTICA DO DIA 14/10/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	115
FIGURA 66: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 18/10/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	116
FIGURA 67: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 22/10/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	116

FIGURA 68: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 28/10/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	117
FIGURA 69: CARTA SINÓTICA DO DIA 18/10/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	117
FIGURA 70: CARTA SINÓTICA DO DIA 22/10/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	117
FIGURA 71: CARTA SINÓTICA DO DIA 29/10/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	118
FIGURA 72: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 01/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	119
FIGURA 73: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 06/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	119
FIGURA 74: CARTA SINÓTICA DO DIA 01/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	119
FIGURA 75: CARTA SINÓTICA DO DIA 06/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	119
FIGURA 76: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 11/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	120
FIGURA 77: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 15/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	120
FIGURA 78: CARTA SINÓTICA DO DIA 11/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	121
FIGURA 79: CARTA SINÓTICA DO DIA 15/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	121
FIGURA 80: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 18/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	122
FIGURA 81: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 23/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	122
FIGURA 82: CARTA SINÓTICA DO DIA 18/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	122
FIGURA 83: CARTA SINÓTICA DO DIA 23/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	122
FIGURA 84: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 26/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	123
FIGURA 85: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 29/11/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	123
FIGURA 86: CARTA SINÓTICA DO DIA 26/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	124
FIGURA 87: CARTA SINÓTICA DO DIA 29/11/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	124
FIGURA 88: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 01/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	125
FIGURA 89: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 06/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	125
FIGURA 90: CARTA SINÓTICA DO DIA 01/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	125
FIGURA 91: CARTA SINÓTICA DO DIA 06/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	125
FIGURA 92: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 11/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	126
FIGURA 93: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 14/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	126
FIGURA 94: CARTA SINÓTICA DO DIA 11/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	127
FIGURA 95: CARTA SINÓTICA DO DIA 14/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	127
FIGURA 96: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 19/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	128
FIGURA 97: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 24/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	128
FIGURA 98: CARTA SINÓTICA DO DIA 19/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	128
FIGURA 99: CARTA SINÓTICA DO DIA 24/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	128
FIGURA 100: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 27/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	129
FIGURA 101: IMAGEM DE SATÉLITE IR DO DIA 31/12/2014. FONTE: INPE/CPTEC.....	129
FIGURA 102: CARTA SINÓTICA DO DIA 27/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	130
FIGURA 103: CARTA SINÓTICA DO DIA 31/12/2014. FONTE: MARINHA DO BRASIL.....	130

Lista de Gráficos

GRÁFICO 1:GRÁFICO DE FASES DA ODP. FONTE: EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORIES (1961-2022)	30
GRÁFICO 2:GRÁFICO DE FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE CHUVA PARA BELO HORIZONTE - MG (1961-2022). FONTE INMET.....	71
GRÁFICO 3: GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO DE ANOS SECOS E CHUVOSOS PARA BELO HORIZONTE - MG (1961-2022). FONTE: INMET	72
GRÁFICO 4:DEMONSTRATIVO DE ODP EM RELAÇÃO A PRECIPITAÇÃO - BH (1961-2022). FONTE: EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORIES/INMET	79
GRÁFICO 5: GRÁFICO DE FREQUENCIA DOS ANOS SECOS (DESVIO PADRÃO). FONTE: BD INMET	81
GRÁFICO 6: GRÁFICO DE ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO DE BELO HORIZONTE. FONTE: 5º DISMET	84
GRÁFICO 7: PRECIPITAÇÃO EM MM DE JANEIRO DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET...	87
GRÁFICO 8: PRECIPITAÇÃO EM MM DE FEVEREIRO DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET.	87
GRÁFICO 9: PRECIPITAÇÃO EM MM DE MARÇO DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET....	88
GRÁFICO 10: PRECIPITAÇÃO EM MM DE ABRIL DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET....	89
GRÁFICO 11: PRECIPITAÇÃO EM MM DE MAIO DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET.....	90
GRÁFICO 12:PRECIPITAÇÃO EM MM DE JUNHO DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET....	90
GRÁFICO 13: PRECIPITAÇÃO EM MM DE JULHO DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET....	91
GRÁFICO 14:PRECIPITAÇÃO EM MM DE AGOSTO DE 2014 EM BELO HORIZONTE. FONTE DE DADOS: INMET..	91

Lista de Tabelas

TABELA 1: DIVISÃO DO DESVIO-PADRÃO. ADAPTADO DE SANT'ANNA NETO (1995).....	63
TABELA 2: DADOS DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS PARA PRECIPITAÇÃO, PERÍODO (1961-2020). FONTE: INMET	68
TABELA 3:TABELA 2: DADOS DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS PARA TEMPERATURA MÁXIMA, PERÍODO (1961- 2020). FONTE: INMET	69

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1:CLASSES, PERCENTUAL E SIMBOLOGIA EMPREGADA NO PLUVIOGRAMA. FONTE: SCHRODER (1956) E NASCIMENTO.ELT.AL (2019)	51
QUADRO 2:TOTAIS (MENS AIS/ANUAIS) DE PRECIPITAÇÃO EM BELO HORIZONTE. FONTE: BD. INMET	74
QUADRO 3:TOTAIS (MENS AIS/ANUAIS) DE PRECIPITAÇÃO EM BELO HORIZONTE, UTILIZANDO O PLUVIOGRAMA DE SCHRODER. FONTE: BD. INMET	76
QUADRO 4:TOTAIS (MENS AIS/ANUAIS) DE PRECIPITAÇÃO EM BELO HORIZONTE, UTILIZANDO O PLUVIOGRAMA DE SCHRODER. FONTE: BD. INMET	76
QUADRO 5:DADOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO (PRECI) E DESVIO-PADRÃO PELA MÉDIA. FONTE: BD. INMET	83

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1.....	47
EQUAÇÃO 2.....	48
EQUAÇÃO 3.....	48
EQUAÇÃO 4.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS

°C - Temperatura em graus Celsius

ANA - Agência Nacional de Águas

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

BH – Belo Horizonte

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DAEE/SP - Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo

DR°/DRª – Doutor/ Doutora

ENOS - El Niño Oscilação Sul

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM/MG - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IR – Infravermelho

GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite

JBN – Jatos Baixos Níveis

MDT - Modelo Digital de Terreno

MG – Minas Gerais

OMM – Organização Meteorológica Mundial.

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

SEMAD – Secretaria de Estado Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIG – Sistema Informação Geográfica

SP – São Paulo

TSM - Temperatura de Superfície do Mar

UFC – Universidade Federal de Goiás

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

USP - Universidade de São Paulo

UR - Umidade Relativa

UTC - Coordinated Universal Time.

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

Sumário

INTRODUÇÃO	18
OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	21
CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
1.1 ESCALAS DO CLIMA, GEOSISTEMA E PAISAGEM	24
2. ANÁLISE DO CLIMA EM MACROESCALA	27
2.1 SISTEMA GERAL DE CIRCULAÇÃO	31
2.3 SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL.	33
2.3.1 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT)	34
2.3.2 EL NIÑO E LA NIÑA	35
1.3.3 ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS)	36
2.3.4 MASSAS DE AR	37
2.3.5 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS INFLUENCIAM A PRECIPITAÇÃO NO BRASIL	38
2.4 CONDIÇÕES SINÓTICAS DO SUDESTE EM 2014.	39
3.0 TECNOLOGIAS GEOESPACIAIS	40
4.0 MÉTODOS ESTATÍSTICOS	41
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	59
3.1 FONTES DE DADOS E ANÁLISE DE ESTATÍSTICA	61
3.2 SATÉLITES METEOROLÓGICOS E CARTAS SINÓTICAS.	66
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS E URBANOS NO PERÍODO DE SECA DE 2014.	67
CAPÍTULO 4 - ANÁLISES DOS RESULTADOS	68
4.1 ANÁLISE DO CLIMA EM BELO HORIZONTE.....	68
4.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA PRECIPITAÇÃO EM BELO HORIZONTE	73
4.4 MÉTODOS ESTATÍSTICO PARA PRECIPITAÇÃO	80
4.5 DIAGNÓSTICO DOS EVENTOS DE SECAS - ANO: 2014.	87
4.6 CONDIÇÕES SINÓTICAS DO PERÍODO CHUVOSO: ANO DE 2014.	97
CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
REFERÊNCIAS	133

INTRODUÇÃO

O clima, com suas múltiplas interações com fenômenos atmosféricos e a superfície terrestre, desempenha um papel central em modelar o ambiente e a vida social em uma região (MONTEIRO, 1973). Este estudo materializa na complexa dinâmica climática de Belo Horizonte, uma cidade que experimentou mudanças significativas no uso do solo devido ao aumento populacional e urbanização acelerada nas últimas décadas. Essas modificações incluem a verticalização e impermeabilização da cidade, o que afeta diretamente o comportamento das chuvas e, conseqüentemente, a vida urbana.

A compreensão da dinâmica das chuvas é importante, considerando os diferentes tipos de impactos, sejam eles causados pelo excesso ou pela falta de chuvas. É um tema complexo e ao mesmo tempo fascinante - envolve diversos fatores e processos que influenciam a ocorrência e a intensidade das precipitações em determinada região. Compreender essa dinâmica é fundamental para diversos setores, como a agricultura, a gestão de recursos hídricos e a prevenção de desastres naturais (SANCHES, 2019).

A variabilidade das chuvas é evidenciada não apenas pela análise de desvios e médias, mas também pela necessidade de entender como eventos atípicos como secas e chuvas intensas podem afetar a disponibilidade de recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental. Estes desvios, definidos como a diferença entre a quantidade de chuva que cai em um período específico e a média histórica, são indicativos das mudanças climáticas na região (REIS et al., 2020).

Para entender a gênese da precipitação, é necessário considerar fatores como a temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e a presença de nuvens. Esses elementos interagem de maneira complexa e podem ser influenciados por fatores externos, como a ação humana e as mudanças climáticas. A ação humana, como o desmatamento e a emissão de gases na atmosfera, pode afetar a distribuição das chuvas em determinadas regiões,

causando secas prolongadas ou enchentes (FREITAS et al., 2014). Por isso, é fundamental adotar medidas de mitigação e adaptação para lidar com esses impactos.

A análise dos desvios e médias das chuvas é fundamental para a gestão de recursos naturais e planejamento, especialmente em regiões onde a disponibilidade de água é limitada. Os desvios positivos podem ser aproveitados por meio de sistemas de armazenamento de água, como barragens e reservatórios, para garantir o fornecimento de água durante os períodos secos. Por outro lado, quando as chuvas estão abaixo da média, é importante implementar medidas de conservação e uso eficiente da água para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos (JARDIM, 2012).

É importante destacar que a caracterização climática de uma determinada região deve ser feita em uma série contínua de dados [por 30 anos] obtidos nos mesmos locais e com as mesmas condições, conforme preconizado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

A cidade de Belo Horizonte possui duas estações distintas e regulares durante o ano: uma seca e outra chuvosa (ASSIS, 2010). No entanto, também enfrenta episódios de secas sazonais (estiagens), que duram de quatro a seis meses, e de veranicos, caracterizados por curtos períodos de déficit hídrico em plena estação chuvosa. Os veranicos são caracterizados por: valores de chuva abaixo da média climatológica com (quase) ausência de chuvas no período chuvoso e temperaturas elevadas (superiores a 25,0°C), além de baixa umidade relativa do ar (às vezes atingindo valores críticos iguais ou inferiores a 30%), conforme Jardim (2012)

Os controles climáticos de superfície presentes no município de Belo Horizonte e adjacências, nas condições de mesoclimas (regional) e microclimas (locais) têm papel na dinâmica atmosférica em interação com o relevo (diferenças altimétricas, topografia, declividade, orientação dos vales, etc.), influenciando a distribuição da radiação, retenção de vapor de água e armazenamento de calor sensível, entre outros.

Conseqüentemente, as alterações da dinâmica climática local, devido ao uso e ocupação do solo, podem afetar diretamente determinadas atividades humanas, como o funcionamento de escolas, hospitais e indústrias, resultando em problemas ambientais, econômicos e sociais, conforme apontado pela reportagem do Jornal Nacional¹. Podem-se esperar algumas alterações climáticas discretas nas proximidades de áreas onde ocorrem interferências antrópicas, e, a fim de caracterizar os microclimas e os climas locais nesses lugares, é importante considerar processos naturais em uma escala de detalhe maior (RIBEIRO, 1993).

Belo Horizonte, como qualquer região do mundo, enfrenta períodos de seca ou excesso de chuvas. Essas variações são uma manifestação típica da variabilidade climática, onde não apenas a normalidade, mas também as excepcionais definem os sistemas complexos como o clima. Portanto, entender essas variações não é apenas reconhecer a média dos totais precipitados, mas também considerar como os anos atípicos moldam a dinâmica atmosférica local, acarretando implicações econômicas e sociais com impactos nas atividades humanas.

Por fim, diante do exposto neste capítulo introdutório, e contemplando as bases fundamentais para a investigação no âmbito da geografia física, são apresentados, em seguida, os objetivos deste trabalho.

¹ Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/10/falta-de-chuva-provoca-problemas-em-regioes-do-pais.html>. Acesso em 02 de agosto de 2023.

Objetivos

Objetivo Geral

- 1) Entender o ano climatológico de 2014, tipicamente seco, a partir dos dados da 5ª DISMET.
- 2) Elaborar análise estatística das precipitações do ano meteorológico de 2014 e do período compreendido entre 1961-2020 com os dados da estação do 5ª DISMET em Belo Horizonte.

Objetivos Específicos

- 1) Fazer análise da variabilidade anual da precipitação de 1961–2022 e caracterizar o ano de 2014.
- 2) Apresentar os sistemas atmosféricos atuantes durante a estação chuvosa do município de Belo Horizonte e seu entorno e as consequências para o sistema de abastecimento de água.
- 3) Propor recomendações para a gestão de recursos hídricos e adaptação urbana baseadas na análise de dados históricos.

CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Escalas do clima, geossistema e paisagem

Como componente basilar e parte indispensável da fundamentação teórica deste trabalho, tem-se a contribuição de importantes teóricos e pesquisadores dos fenômenos climatológicos.

Como ponto de partida, Monteiro, sobre o ritmo climático inicialmente introduzido como um paradigma nos estudos geográficos, é essencial. Ele aproxima a análise do ritmo às variações anuais, observadas por meio das variações mensais e diárias, fundamentais para compreender a noção de regime climático (MONTEIRO, 1971). Esta abordagem destaca a importância da sucessão habitual dos tipos de tempo, exigindo um acompanhamento diário ou até mesmo horário das condições atmosféricas no espaço estudado, algo que pode ser mais detalhado ao considerar as variações climáticas específicas de Belo Horizonte.

Ele desenvolve, também, um sistema classificatório do clima que abrange escalas locais e regionais, visando um melhor entendimento da variabilidade local. Enfatiza a influência de fatores geográficos e adota uma abordagem rítmica das condições atmosféricas (MONTEIRO, 1973).

Ao estudar o clima e suas diferentes manifestações para o Estado de São Paulo, Monteiro reconhece as sequências rítmicas que ocorrem na atmosfera:

O ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico, pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo. (MONTEIRO, 1971, p. 9)

Em relação à definição de clima e meteorologia, citando Sorre (1934), Jardim (2012) indica que "o clima é a série dos estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual". Saliencia a noção de tempo meteorológico como uma entidade complexa, dinâmica e perceptível sensorialmente, que pode

ser decomposta e medida em diferentes elementos, além da importância de se considerar o desenrolar dos fenômenos no tempo, ao contrário da definição estática e abstrata baseada em médias aritméticas.

Ao mencionar a relação dos seres humanos com o meio que ocupam, é de suma relevância voltar às escalas climáticas e suas definições. Ribeiro (1973) descreve que as escalas climáticas e sua ordem de grandeza têmporo-espacial referem-se a taxonomia climática dividida em níveis:

- O clima zonal, que é a circulação geral da atmosfera, com destaque à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), aos cinturões hemisféricos de altas pressões nas latitudes médias e às zonas ciclônicas circumpolares, e o clima regional, que se deve à ação modificadora da circulação geral da atmosfera provocada por um conjunto de fatores de superfície, como a distribuição entre as áreas continentais e oceânicas, formas dos continentes (incluindo as altitudes relativas) e continentalidade/maritimidade.
- O clima regional pode apresentar significativas variações em seu interior devido à ação de determinadas feições fisiográficas ou antrópicas que interferem no fluxo energético ou no transporte de massa da circulação regional, diferenciando subsistemas de circulação secundária.
- O microclima, que pode ser influenciado por fatores imediatos como vegetação, edificações, solo e atividades humanas. O microclima é importante para estudos de conforto térmico, agricultura urbana e planejamento de espaços públicos.

Para Christofolletti (1999), o ecossistema é definido como sendo área relativamente homogênea de organismos interagindo com seu ambiente. A comunidade dos seres vivos constitui o componente principal - se interliga com os elementos abióticos do habitat. Sem a presença dos seres vivos, não há existência de ecossistema.

Na abordagem do autor sobre as questões ambientais, ele desenvolve duas análises fundamentais sob uma perspectiva que considera a interação dos seres humanos com o ambiente ao seu redor. A primeira análise destaca a importância biológica e social, concentrando-se no contexto e nas circunstâncias

que envolvem a vida dos seres vivos. Aqui, o ambiente é definido não apenas como um espaço físico, mas como um conjunto de condições, circunstâncias e influências que moldam a existência de qualquer organismo ou sistema. A segunda investiga a interação geosfera-biosfera, fazendo a junção dos elementos físicos (abióticos) e bióticos que compõem o meio ambiente (Figura 1).

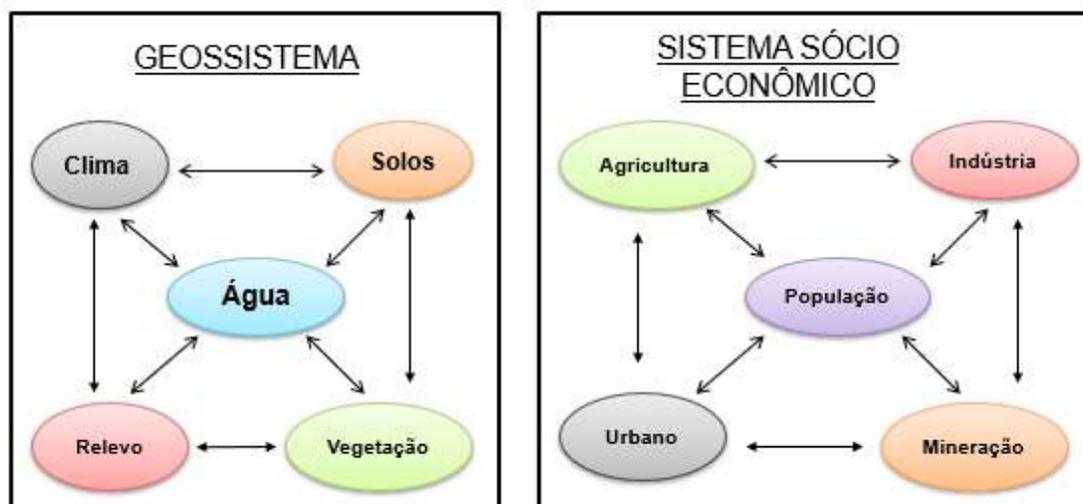


Figura 1: Estruturação do geossistema e do sistema socioeconômico. Adaptado de: Christofolletti (1999)

Neste aspecto, o autor faz menção à antropogenética, salientando que as organizações espaciais constituem sempre o meio ambiente para a sobrevivência, desenvolvimento e crescimento das sociedades humanas.

A modelagem de sistemas ambientais, segundo Christofolletti (1999), tratam-se das mudanças ambientais, com relevância e incidências para a vivência das comunidades humanas - tais como a poluição hídrica, poluição atmosférica, perda da biodiversidade, entre outras. Elas implicam em alterações nas características e na qualidade dos componentes do sistema ambiental biofísico.

Tarifa (1994) discute sobre estas, cujas dimensões variam desde o nível zonal até o nível microclimático. No nível zonal, os principais controles climáticos são a latitude, a altitude, a distância dos oceanos e circulação geral da atmosfera. Estes controles podem ser desdobrados em unidades menores

(climas regionais), onde outros parâmetros tais como o relevo (forma, orientação e exposição), a frequência, o regime e a sazonalidade dos sistemas atmosféricos estruturam unidades climáticas regionais.

Os climas regionais podem ser organizados em unidades menores, dependendo das variações topográficas e do tipo de cobertura do solo. Ainda citando Tarifa (1994), o nível microclimático é o que mais sofre influência da ação humana, principalmente no que diz respeito às alterações nas propriedades físicas, geométricas e químicas na interface solo-plantas-atmosfera (camada limite planetária).

Desse modo, tão fundamental quanto compreender os sistemas ambientais, é necessário trazer reflexões sobre a paisagem e seu equilíbrio. Se referindo a Renwick (1992), Mattos e Perez (2004) alegam que o equilíbrio predominaria na paisagem ou seria apenas propriedade de alguns dos seus elementos e que estes compreendem na paisagem, como um mosaico em que componentes, em equilíbrio e desequilíbrio, convivem e interagem, levando o sistema a comportamentos complexos, inclusive caóticos. A estabilidade dos sistemas é a própria capacidade que eles têm de manter sua organização global, ainda que haja constantes alterações nas condições ambientais e renovações e transformações nos elementos componentes do sistema e em suas interações (expressas em mudanças nas formas e /ou processos).

Estes mesmos autores caracterizam um sistema como sendo composto por elementos organizados que se inter-relacionam e, por assim ser, a simples interação entre elementos não forma um sistema se não forem capazes de criar algo que funcione como um todo integrado.

No que se refere aos níveis de enfoque climatológico, conforme enfatizado por Monteiro (1969), torna-se evidente a relevância da (1) circulação atmosférica e da delimitação dos climas regionais, bem como da (2) perspectiva geográfica alcançada por meio da análise dos padrões climáticos (flutuações temporais, estações do ano), e até mesmo da investigação episódica de fenômenos locais (JARDIM, 2012).

Por exemplo, a zona climática tropical é caracterizada por altas temperaturas médias anuais e alta umidade e subdividida em tipos de clima como o equatorial, o tropical úmido, o tropical de savana e o tropical de altitude. Já a zona climática temperada, que inclui grande parte da Europa e América do Norte, é caracterizada por temperaturas moderadas e chuvas regulares e subdividida em tipos de clima como o oceânico, o continental, o mediterrâneo e o subártico.

A partir de Monteiro (1975, p.136), Jardim (2013) destaca a importância da escala no contexto do objeto geográfico/climatológico, também conhecido como "nível de associação geoecológica". Conforme salientado, um amplo geossistema, caracterizado em grande abrangência, implica em geofácies, conforme definidas por Bertrand (1972), representando os elementos superficiais das paisagens, como solos, vegetação e atividades humanas. Jardim (2015) enfatiza que esses geossistemas podem ser de dimensões superiores em relação a muitos outros geossistemas presentes em diferentes contextos geográficos.

Ribeiro (1993) aborda também as escalas superiores e inferiores, sendo a primeira relacionada aos aspectos planetários e a segunda à proximidade dos indivíduos que habitam a superfície terrestre.

O autor menciona que nas cidades não existe um clima urbano único, mas sim coexistem vários fenômenos climáticos (inclusive aqueles relativos aos climas urbanos diversos, cuja gênese repousa numa estreita relação da cidade com a atmosfera), que compartilham o mesmo espaço e o mesmo tempo (sincronia) e diferentes tempos (diacronia). A "ilha de calor" não representaria a realidade climática de uma cidade, mas uma de suas múltiplas facetas.

2. Análise do clima em macroescala

Antes de entrar neste subcapítulo, foi necessário fazer uma análise sobre o clima para além da área de estudo, como os fenômenos La Niña e El Niño e com isso estabelecer uma simultaneidade com os dados dos resultados.

O El Niño (Figura 2) e a La Niña (Figura 3) são partes de um mesmo fenômeno acoplado (atmosférico-oceânico) que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). A fase El Niño do fenômeno acoplado ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente do que a condição média histórica (climatológica). Sendo assim, o município de Belo Horizonte mostra meses habitualmente chuvosos com totais abaixo da média, conceituando veranico (JARDIM, 2012).

A fase do La Niña refere-se à situação oposta, ou seja, quando o oceano Pacífico Equatorial está mais frio do que a condição média histórica o que pode levar a um desvio acima da média no padrão de chuvas no Brasil. A mudança na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarreta efeitos globais nos padrões de circulação atmosférica, transporte de umidade, temperatura e precipitação.²

² <http://enos.cptec.inpe.br/>

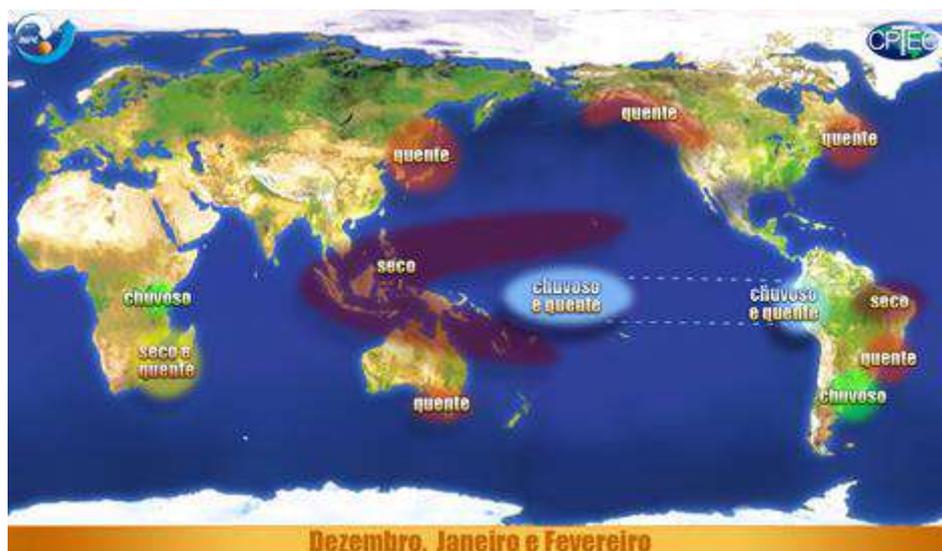


Figura 2: Condições de El Niño durante o verão no Hemisfério Sul. Fonte: ENOS.CPTEC.

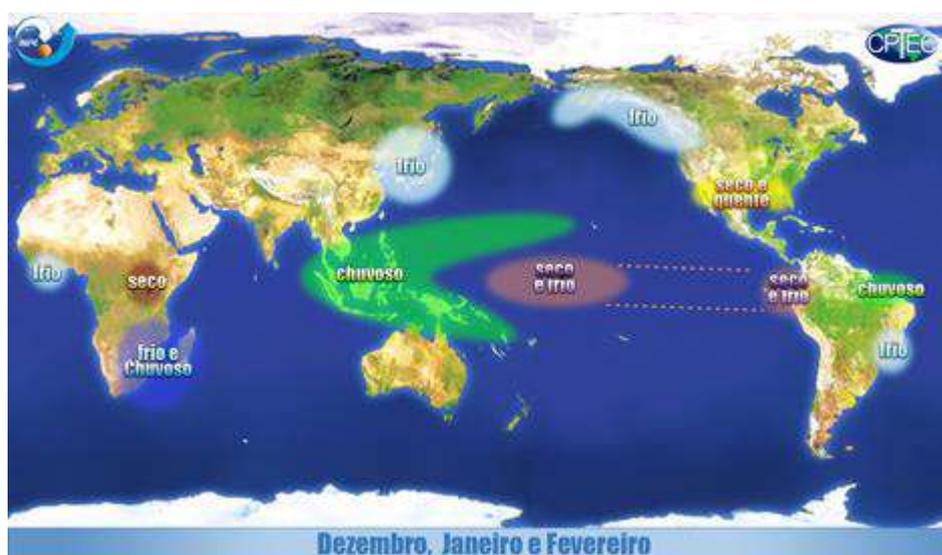


Figura 3: Condições de La Niña durante o verão no Hemisfério Sul. Fonte: ENOS.CPTEC

Partindo desta mesma premissa, conforme Grimm (2009), a principal fonte de variabilidade climática interanual global é o fenômeno ENOS, uma oscilação oceano-atmosfera que provoca alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), pressão, ventos e chuvas e refletindo em muitos lugares do planeta, incluindo o Brasil. A fase oposta a essa oscilação é o La

Niña, o que, como destaca VIEIRA (2020), ocorre mediante 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.

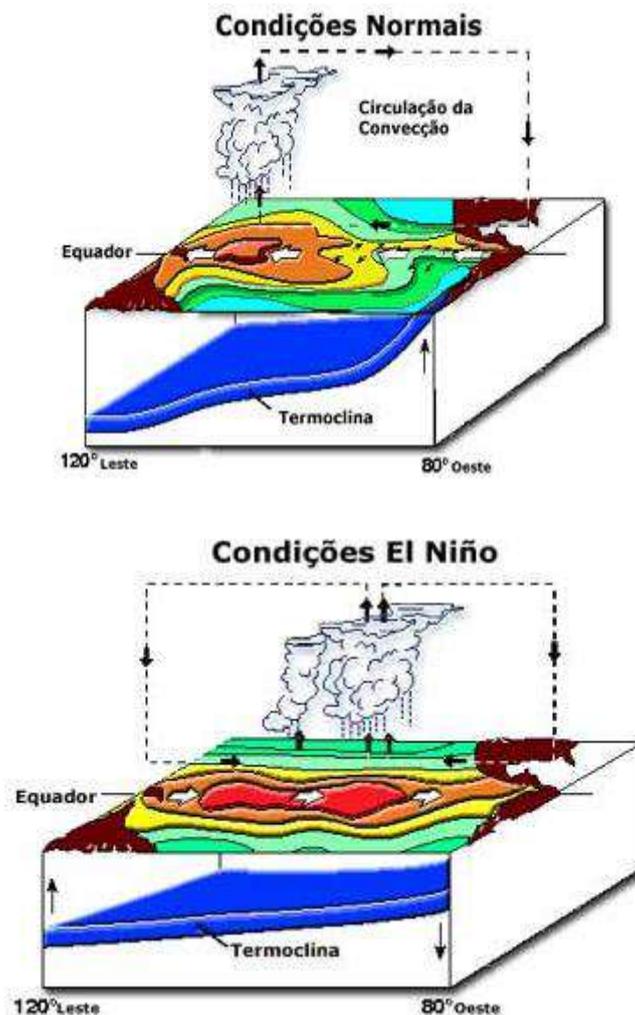


Figura 4: Condições Normais de Ventos e El Niño. Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>.

Um componente que está relacionado ao ENOS sobre a variabilidade climática na América do Sul é a ODP, que são oscilações decenais cuja

tendência é maiores volumes de chuvas no Sul do Brasil e menores na Amazônia (KAYANO et al., 2009, apud MARENGO, 2004).

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) também influencia os valores de temperatura do ar ao interferir no transporte e na distribuição horizontal de calor sensível na superfície do Oceano Pacífico. Conforme explicado por SILVA e JARDIM (2018), a ODP é um evento cíclico de longa frequência, diretamente vinculado aos mecanismos de ocorrências e intensidade dos episódios de ENOS.

Este fenômeno exibe variações de longo prazo que podem persistir por 20 a 30 anos, caracterizadas por duas fases distintas. Durante a fase fria, são observadas anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical, enquanto na fase quente, há anomalias positivas de TSM no mesmo local. Para Molion (2007) estamos na fase fria, atualmente.

Além disso, é importante destacar a relação entre a ocorrência e intensidade dos eventos El Niño e La Niña durante as fases quentes e frias da ODP. Conforme observado no gráfico logo abaixo (Gráfico 1), há uma maior incidência de eventos de El Niño durante a fase quente da ODP (1977 a 1998), enquanto durante a fase fria, há uma maior prevalência de eventos de La Niña - Fases frias da ODP: primeira até 1976 e segunda a partir de 1999 até os dias atuais, conforme dados do estudo.

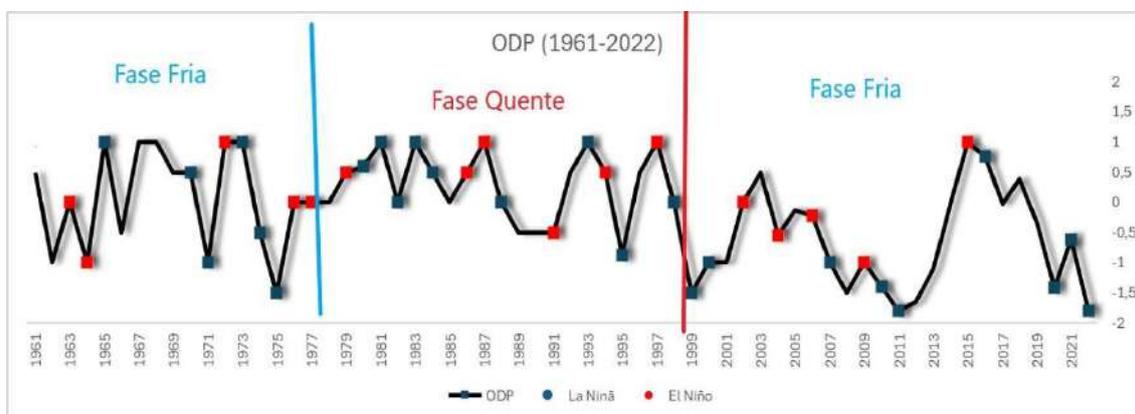


Gráfico 1: Gráfico de Fases da ODP. Fonte: Earth System Research Laboratories (1961-2022)

Ao longo da fase quente da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) em 1998, houve nove ocorrências de El Niño, sendo dois desses intensos, e três ocorrências de La Niña. Já na fase fria da ODP, de 1961 a 1976, foram registradas cinco ocorrências de El Niño e seis de La Niña. Os picos da ODP estão correlacionados com a intensidade de El Niño e La Niña, como evidenciado em 1963, 1987, 1997 e 2015 para El Niño, e 1973, 1983, 1993 e 2016 para La Niña. Esses eventos interligados têm uma influência significativa na variação climática.

2.1 Sistema Geral de Circulação

De acordo com Moreira (2002), conforme citado por Lucas (2007), o modelo contemporâneo de circulação global da atmosfera foi inicialmente proposto por Ferrel em 1856 e posteriormente refinado por Rossby em 1941. Esse modelo incorpora a influência da Força de Coriolis e postula a existência de três células de circulação meridional em cada hemisfério.

A organização dessas células ocorre da seguinte maneira: a primeira delas, conhecida como a Célula de Hadley, está situada na faixa tropical, com uma corrente ascendente próxima ao equador e uma corrente descendente perto da latitude de 30 graus; a segunda, denominada Célula de Ferrel, se localiza nas latitudes médias, com uma corrente ascendente próxima aos 60 graus de latitude e uma corrente descendente na região dos 30 graus; por fim, a última célula, a Célula Polar, é encontrada na região polar.

A Célula de Hadley é definida como um padrão de circulação termal, com aquecimento máximo em latitudes baixas, fornecendo uma explicação para o movimento dos ventos alísios em direção ao Equador. Devido à sua durabilidade e amplitude, constitui o sistema predominante de grande escala que influencia o clima no Brasil e em Minas Gerais (LUCAS,2007). Essa célula corresponde ao primeiro esquema de circulação global da atmosfera, proposto por Halley em 1686.

Já a Célula de Ferrel atua no sentido contrário ao da célula de Hadley, com altitudes baixas na região polar, com ventos provenientes do Leste, que se encontram com ventos vindos do Oeste na região subpolar e se afastam em altitudes mais elevadas, transportando ar frio em direção às regiões subtropicais, onde experimentam um processo de subsidência.

Conforme o relato de Moreira (1999), uma outra célula de circulação atmosférica que exerce impacto sobre o clima em Minas Gerais é a Célula de Walker. Sua existência está intimamente ligada às características físicas do Oceano Pacífico, que exhibe temperaturas mais quentes a oeste e mais frias a leste. Isso gera uma circulação orientada de leste a oeste, na qual o movimento atmosférico é substancialmente influenciado pelos gradientes de temperatura e pressão do oceano. Essa célula interage de forma sistemática com a Célula de Hadley e é sensível às condições oceânicas.

Ademais, de acordo com o autor, as significativas variações sazonais nas precipitações no Brasil estão associadas às oscilações norte-sul das zonas de ascensão e descida das Células de Hadley-Walker, o que pode estimular ou inibir a convecção atmosférica e, conseqüentemente, a ocorrência de chuvas.

Por fim, a circulação global da atmosfera dá origem a extensas regiões de ar com propriedades consistentes de temperatura e umidade, que se deslocam ao longo de centenas de quilômetros como entidades distintas, conhecidas como massas de ar conforme demonstrados na figura 6. As massas de ar possuem uma relevância significativa na análise das condições meteorológicas e climáticas, pois exercem uma influência direta sobre essas áreas em que estão presentes (AYOADE, 2004), e serão representadas no próximo capítulo

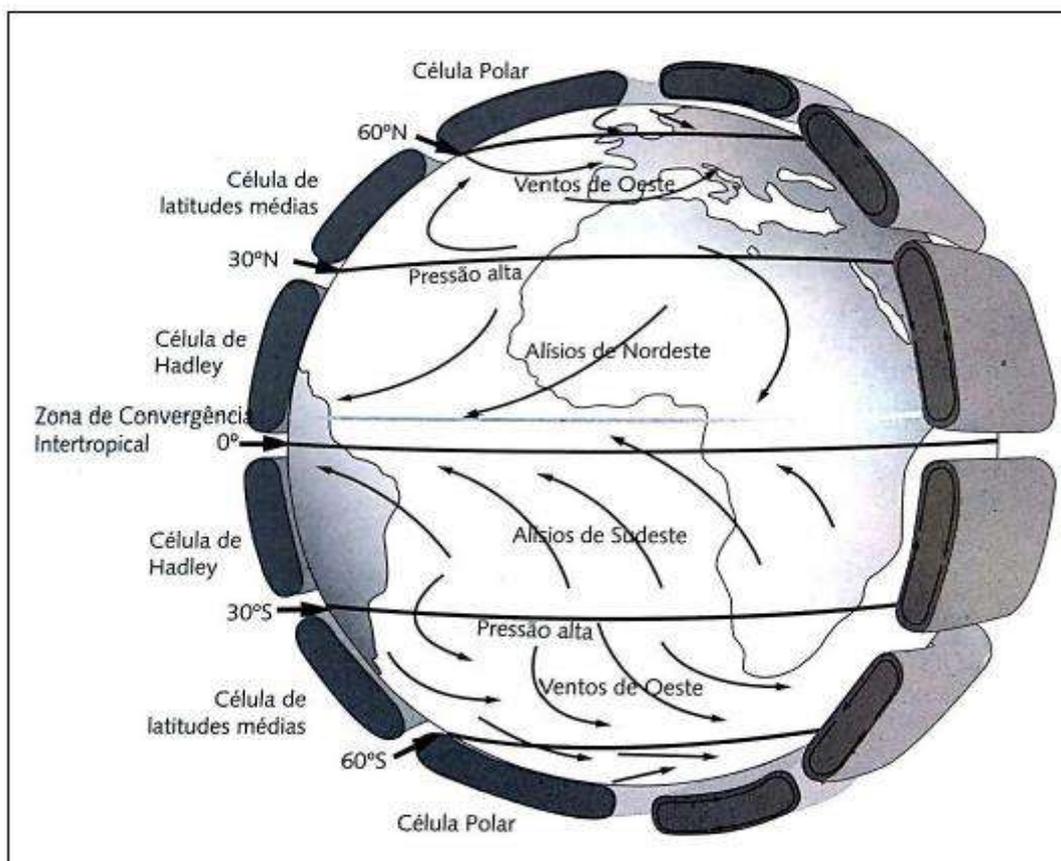


Figura 6: Circulação Geral da Atmosfera. Fonte: CAVALCANTI et. al. (2009)

2.3 Sistemas meteorológicos atuantes na América do Sul.

Os sistemas atmosféricos são fenômenos complexos que envolvem a interação dinâmica entre diferentes componentes da atmosfera terrestre. Vários sistemas atmosféricos influenciam o clima na América do Sul. Aqui estão alguns dos principais abaixo:

1. **Frentes Atmosféricas:** São zonas de transição entre massas de ar com diferentes propriedades, como temperatura e umidade. A convergência de massas de ar pode levar à formação de frentes frias ou quentes, causando mudanças no tempo.
2. **Ciclones e Anticiclones:** Áreas de baixa pressão (ciclones) e alta pressão (anticiclones) exercem grande influência sobre o tempo. Ciclones

frequentemente trazem condições de chuva e ventos fortes, enquanto anticiclones estão associados a tempo mais estável e seco.

3. **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT):** É uma faixa de baixa pressão perto do equador onde os ventos alísios do hemisfério norte encontram os do hemisfério sul. Esta zona é frequentemente associada a chuvas intensas e é uma importante influência nas chuvas tropicais.
4. **El Niño e La Niña:** Esses fenômenos são parte do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e envolvem mudanças nas temperaturas da superfície do mar no Oceano Pacífico. O El Niño geralmente está associado a condições mais quentes enquanto a La Niña está associada a condições mais frias.
5. **Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN):** São sistemas de baixa pressão em altitudes superiores, que influenciam as condições meteorológicas em superfície. Podem estar relacionados a eventos de chuvas intensas e tempestades.
6. **Jatos de Altitude:** Os jatos de altitude, como o Jato Polar e o Jato Subtropical, influenciam os padrões de circulação atmosférica e podem ter impacto na formação de sistemas meteorológicos, como tempestades e frentes.
7. **Monções:** Algumas áreas da América do Sul, como o nordeste brasileiro, experimentam regimes sazonais de ventos associados às monções, influenciando os padrões de chuvas ao longo do ano.

Esses sistemas atmosféricos interagem de maneira complexa e dinâmica, contribuindo para a variedade climática observada na América do Sul e influenciando as condições meteorológicas em diferentes regiões do continente.

Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o Brasil demonstra uma variedade de classificações climáticas, decorrente da interação entre a vasta extensão territorial e os elementos e fatores geográficos da América do Sul, assim como do próprio território nacional. Segundo os autores, a pluralidade climática do país é originada pelas influências dos fatores climáticos

(maritimidade, altitude, continentalidade, vegetação, latitude e intervenções humanas). A seguir, são detalhados os principais sistemas atuantes no território brasileiro:

2.3.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) exerce notável influência sobre os padrões de precipitação no continente sul-americano (FERREIRA et al., 2004). Este sistema, facilmente identificado em imagens de satélite como uma banda de nuvens convectivas, estende-se ao longo da região equatorial (CAVALCANTI, 2009).

Pra Reboita et al. (2010) a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) realiza ao longo do ano uma migração latitudinal, atingindo sua posição mais ao sul entre dezembro e maio. Durante o outono austral, ela desempenha um papel significativo na indução da estação chuvosa no litoral nordeste do Brasil

Desempenhando um papel crucial na regulação climática, a ZCIT desdobra sua influência sobre as vastas extensões dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico. Variações anômalas nesse padrão podem desencadear bloqueios atmosféricos, exercendo impacto direto sobre aspectos de grande envergadura meteorológica, podendo tanto intensificar quanto inibir o comportamento de sistemas fundamentais, a exemplo da própria ZCIT, uma vez que sua conformação singular está intrinsecamente relacionada à circulação global da atmosfera.

2.3.2 El Niño e La Niña

De acordo com Oliveira (1986), os principais fenômenos atmosféricos de grande escala responsáveis pela variabilidade climática na Região Sudeste do Brasil são o *El Niño* e *La Niña*. O *El Niño* pode ser definido como um aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial e Oriental; a *La Niña*, por sua vez, é o resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial.

O autor destaca que esse fenômeno é mais bem descrito como um episódio frio do *El Niño* e os efeitos desse aquecimento/resfriamento afetam quase todas as regiões do globo. Devido à extensa área geográfica do Oceano Pacífico, sua superfície aquecida ou resfriada interage com a atmosfera, modificando-a, e, através de mecanismos de transporte, como os ventos, os efeitos são disseminados por todo o mundo.

Ainda de acordo com Oliveira (1986), os principais efeitos do *El Niño* na região Sudeste incluem aumentos moderados nas temperaturas médias, tanto no inverno quanto no verão. Ele ressaltou que não há um padrão característico de mudanças nas chuvas durante a ocorrência desse fenômeno, com exceção da região extremo sul do Estado de São Paulo. Por outro lado, a *La Niña* causa efeitos opostos, embora não com a mesma intensidade do *El Niño*, como temperaturas próximas da média climatológica ou ligeiramente abaixo, além de um aumento na quantidade de frentes que alcançam a região Nordeste do Brasil, especialmente o litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas.

No entanto, Moreira (2002) destaca a variabilidade da precipitação em relação ao fenômeno ENSO (*El Niño* e *La Niña*) que afeta diretamente e indiretamente a circulação atmosférica em Minas Gerais. Segundo o autor, durante esses eventos severos de grande escala que afetam o comportamento normal da precipitação, a topografia deixa de ser o principal fator determinante na distribuição das chuvas em Belo Horizonte e região.

A circulação de grande escala é influenciada pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, que dominam a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Em anos normais e de *La Niña*, há uma tendência de ocorrerem três ou mais eventos de ZCAS durante o verão. Em contrapartida, durante anos de *El Niño*, nenhum verão estudado entre 1980 e 2000 apresentou mais de três eventos de ZCAS. Isso ocorre devido à menor intensidade da atividade convectiva sobre o continente, que também está ligeiramente deslocada para oeste em comparação aos anos de *La Niña* ou aos anos com circulação atmosférica de grande escala normal (FERREIRA et al., 2004).

2.3.3 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

Ao longo do verão no hemisfério Sul, manifesta-se uma extensa faixa nebulosa que se estende do sul da região Amazônica até o Oceano Atlântico, seguindo uma orientação noroeste-sudeste. Esta faixa, gerada por processos convectivos intensos, percorre a região Sudeste do país e é responsável pela considerável quantidade de precipitação nas áreas onde se sobrepõe, conforme indicado por Quadro (1994).

A ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) é um fenômeno atmosférico reconhecido por sua natureza sazonal. As chuvas resultantes desse sistema tendem a ser intensas. Por outro lado, quando há uma descaracterização da ZCAS, é possível observar períodos de seca e uma distribuição irregular das precipitações. A estabilidade da ZCAS pode persistir por, no mínimo, quatro dias, conforme apontado por Quadro (1994). Qualquer alteração nesse padrão tem o potencial de impactar de maneira significativa os padrões de chuvas nas áreas onde o sistema exerce influência. Abreu (1998) sugere que as precipitações associadas à ZCAS têm uma duração média de 7 dias, podendo estender-se por até 10 dias.

Segundo Santos e Fialho (2016), a influência da ZCAS no estado de Minas Gerais mostra uma variação sazonal, destacando-se pela sua intensificação no final da estação chuvosa, particularmente na região centro-sul do estado. No início dessa estação, a ZCAS tem sua atuação mais restrita, concentrando-se no norte de Minas Gerais e no sul da Bahia.

2.3.4 Massas de Ar

O Brasil é influenciado por diversas massas de ar, cada uma com características específicas que moldam o clima em diferentes regiões do país. Aqui estão algumas das principais massas de ar que atuam no Brasil, pela classificação de Nimer (1989):

1. **Massa Equatorial Continental (mEc):** Originária da região amazônica (continente), é quente e úmida, trazendo chuvas abundantes para a

Amazônia, por se tratar de uma massa constituída de ventos oceânicos e com elevada umidade (grande formação de cúmulonimbus). Durante o inverno, essa massa de ar perde umidade e torna-se menos influente.

2. **Massa Equatorial Atlântica (mEa):** Vinda do oceano Atlântico, e compõem-se de duas correntes (quente e úmida e quente e seca), ambas de direção idêntica, mas separadas por uma inversão de temperatura. Exerce influência sobre as regiões litorâneas do Nordeste, provocando chuvas intensas, principalmente no inverno.
3. **Massa Tropical Atlântica (mTa):** Originária do oceano Atlântico-sul, é quente e úmida e o movimento do ar nesta região é determinado pelo ASA. Afeta principalmente o Sudeste e o Sul, trazendo chuvas no verão devido ao grande aquecimento na costa da América do Sul e influenciando as temperaturas ao longo do ano, quando se encontra com outros sistemas atmosféricos.
4. **Massa Tropical Continental (mTc):** Forma-se no interior do continente (região do Chaco) e é quente e seca e tem grande importância durante o fim da primavera e início do outono. Atua sobre o Centro-Oeste e parte do Nordeste, contribuindo para a estação seca em algumas regiões devido à forte subsidência da AB o que dificulta a formação de nuvens.
5. **Massa Polar Atlântica (mPa):** Vinda do oceano Atlântico (próximo a Antártica), é fria e úmida. Exerce influência nas regiões costeiras do Sul e do Sudeste, podendo chegar até o sul da Amazônia, provocando chuvas e quedas bruscas de temperatura.
6. **Massa Polar Continental (mPc):** Origina-se no sul do continente e é fria e seca. Chega ao Brasil principalmente no inverno, influenciando as regiões Sul e parte do Sudeste, causando quedas acentuadas nas temperaturas.

A interação dessas massas de ar, juntamente com outros fatores geográficos, como relevo e correntes oceânicas, contribui para a complexidade

do clima brasileiro, resultando em uma diversidade de condições climáticas em todo o país.

2.3.5 Sistemas atmosféricos influenciam a precipitação no Brasil

Para Reboita et al. (2010), o Brasil é afetado por vários sistemas atmosféricos que influenciam a precipitação em diferentes regiões do país ao longo do ano. Alguns dos principais sistemas atmosféricos incluem:

- 1. Sistemas Frontais:** o fenômeno no qual duas massas de ar com temperaturas diferentes se encontram é conhecido como frente. Durante a chegada de frentes frias, a massa de ar frio empurra a massa mais quente para cima, já que esta é menos densa. Isso cria condições propícias para a formação de nuvens e chuva. Após a passagem de uma frente fria em uma região, a massa de ar frio que a acompanha chega ao local, reduzindo as temperaturas. Nesse momento, a chuva diminui, o céu geralmente fica claro e ensolarado.

Isso acontece porque a massa de ar frio, sendo densa e seca, dificulta a formação de nuvens. Nessas situações, quando o ar está seco e sem nuvens, a temperatura noturna pode cair consideravelmente. Durante a noite, a superfície terrestre libera praticamente toda a radiação infravermelha para o espaço. Quando isso ocorre, a umidade presente no ar próximo à superfície pode condensar, formando o orvalho, ou até mesmo congelar, resultando em geadas. Esses fenômenos meteorológicos são comuns no sul do Brasil durante o outono e o inverno.

- 2. Os Ciclones:** a formação de ciclones é um evento que ocorre em duas áreas específicas - ao longo da costa sul/sudeste do Brasil e entre o Uruguai e o extremo sul do Brasil. Esses ciclones, muitas vezes, exercem uma influência significativa no tempo nestas regiões, trazendo consigo ventos intensos, chuvas substanciais e uma diminuição nas temperaturas.

Esses sistemas ciclônicos, ao se desenvolverem, provocam mudanças drásticas nas condições meteorológicas. Os ventos fortes associados a esses ciclones podem causar impactos consideráveis, enquanto a precipitação resultante contribui para a umidade e a formação de chuvas. Além disso, a redução nas temperaturas é uma característica comum desse fenômeno, influenciando o tempo local de maneira notável.

Portanto, é frequente observar que esses ciclones resultam em condições meteorológicas adversas, como ventos fortes, chuvas abundantes e uma notável queda nas temperaturas.

- 3. As linhas de instabilidade:** basicamente constituem em depressões barométricas e são caracterizadas por linhas alongadas que se conectam em dorsais até o continente. Essas configurações podem desencadear chuvas intensas e localizadas, muitas vezes associadas à formação de nuvens cumulonimbus (CB), que podem se apresentar de forma isolada ou alinhada. Essa estrutura atmosférica propicia a ocorrência de precipitação intensa e tempestades, sendo um fenômeno meteorológico relevante que pode influenciar as condições atmosféricas em uma determinada região. O movimento predominante das Linhas de Instabilidade (LIs) no Brasil ocorre de oeste para leste, geralmente à frente de uma onda frontal. Com maior frequência no verão e no interior da massa equatorial continental (mEc), este sistema exerce uma importante função 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 (VIEIRA, 2020).
- 4. Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM):** aglomerados de nuvens com forma circular que possuem um curto tempo de vida, em média 12 horas, e causam precipitação intensa. Eles são alimentados pelo Jato de Baixos Níveis (JBN) do leste dos Andes. Segundo Vieira (2020), para se estudar os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), é necessária uma extensa coleta de dados e observações por

meio de informações e imagens de satélites. Esses recursos permitem monitorar o comportamento dos CCM e identificar suas características em três estágios distintos: gênese, maturação e dissipação. Durante a gênese, ocorrem o desenvolvimento de condições propícias à convecção e a formação das primeiras células. No estágio maduro, destaca-se a intensidade do JBN e a contínua formação de elementos de convecção, resultando em chuvas localizadas e possíveis tempestades severas. Finalmente, no estágio de dissipação, há uma redução da umidade e a interrupção do desenvolvimento de convecção, culminando na dissolução do complexo. O uso de dados de satélite é fundamental para compreender e prever a dinâmica desse fenômeno meteorológico.

- 5. Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs):** são sistemas de baixa pressão que têm um núcleo frio e se formam em altitudes elevadas na atmosfera, geralmente entre 5000 e 11000 metros acima da superfície. Interessantemente, em algum estágio do seu ciclo de vida, esses vórtices têm a capacidade de se estender até a superfície terrestre, exercendo influência na formação de ciclones também em níveis mais baixos da atmosfera.

De acordo com Kousky e Gan (1981) citados por Varejão-Silva (2006) e Vieira (2020), 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.

Destaca-se a importância desses vórtices no padrão de chuvas das regiões Norte e Nordeste do Brasil, conforme indicado por Ferreira, Ramirez e Gan (2009). Na região Sudeste do Brasil, a formação dos VCANs pode ser influenciada pelo reforço da Alta da Bolívia (AB), devido ao excesso de calor latente distribuído pela convecção ao longo da frente fria localizada ao sul da região.

A transição desses sistemas de altos níveis para a superfície pode desencadear a formação ou intensificação de ciclones em níveis mais próximos à terra. Esse fenômeno destaca a complexidade e a interconexão dos processos atmosféricos, onde eventos em altitudes superiores podem ter impactos diretos nos padrões meteorológicos na superfície, contribuindo para a dinâmica global do clima e do tempo.

2.4 Condições sinóticas do Sudeste em 2014.

Com o intuito de compreender a distribuição espacial das precipitações e a ocorrência de índices pluviométricos reduzidos, notadamente durante o verão de 2014 - uma época que tradicionalmente é marcada por condições chuvosas, especialmente na região sudeste - torna-se fundamental abordar alguns fatores. Primeiramente, destaca-se a diminuição da precipitação em consequência da variabilidade climática. Em segundo lugar, devem-se considerar as consequências advindas da falta de planejamento frente à escassez hídrica, que culminaram no cenário conhecido como "crise hídrica".

Os estudos sobre a variabilidade climática, e no caso deste trabalho, sobre as precipitações, são de grande importância para a compreensão dos fatores dinâmicos, considerando a forte influência que o clima desempenha sobre as sociedades, principalmente no que diz respeito aos eventos extremos e seus impactos ambientais. Estes estudos podem auxiliar no planejamento dos recursos e prevenção das ocorrências dos eventos climáticos, visando atenuar os impactos decorrentes deles.

Do ponto de vista climático, as precipitações na Região Sudeste do Brasil exibem um padrão anual bem definido (BALDO et al., 2021), com níveis máximos de chuva durante os meses de dezembro a fevereiro (época de verão) e mínimos entre junho e agosto (época de inverno). Existem diferentes sistemas meteorológicos presentes na Região Sudeste, com origens e influências diversas. Em geral, o padrão de chuvas nessa região é influenciado pela presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), pela passagem de

frentes frias e pelas condições de instabilidade termodinâmica intensa, muitas vezes agravada pela atuação do Jato de Baixos Níveis (JBN), responsável pelo transporte de umidade da Amazônia para o Sul e Sudeste do Brasil.

A presença do sistema de alta pressão resulta em ar mais seco e estável, inibindo a formação das chuvas típicas da estação (verão) e bloqueando a passagem de sistemas frontais, bem como o fluxo de umidade da Amazônia (MARENGO et al., 2015). Esse tipo de sistema é conhecido tecnicamente como "sistema de bloqueio atmosférico". O bloqueio atmosférico persistiu até meados de fevereiro de 2014, quando uma frente fria relativamente intensa conseguiu deslocar a área de alta pressão e afastá-la do continente. As precipitações do mês de fevereiro também foram altamente deficitárias na maior parte da Região Sudeste, especialmente no centro-sul de Minas Gerais e no centro-leste do estado de São Paulo (MARENGO et al., 2015)

A partir disso, um esquema elaborado por Marengo et al. (2015) (Figura 7) mostra que, durante um verão normal, as chuvas na Região Sudeste são favorecidas pelo fluxo de umidade proveniente da Amazônia, muitas vezes transportado pelo Jato de Baixos Níveis (JBN). Esse fluxo contribui para o desenvolvimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a ativação dos sistemas frontais vindos do sul (FF) e para as típicas pancadas de chuva no final da tarde.

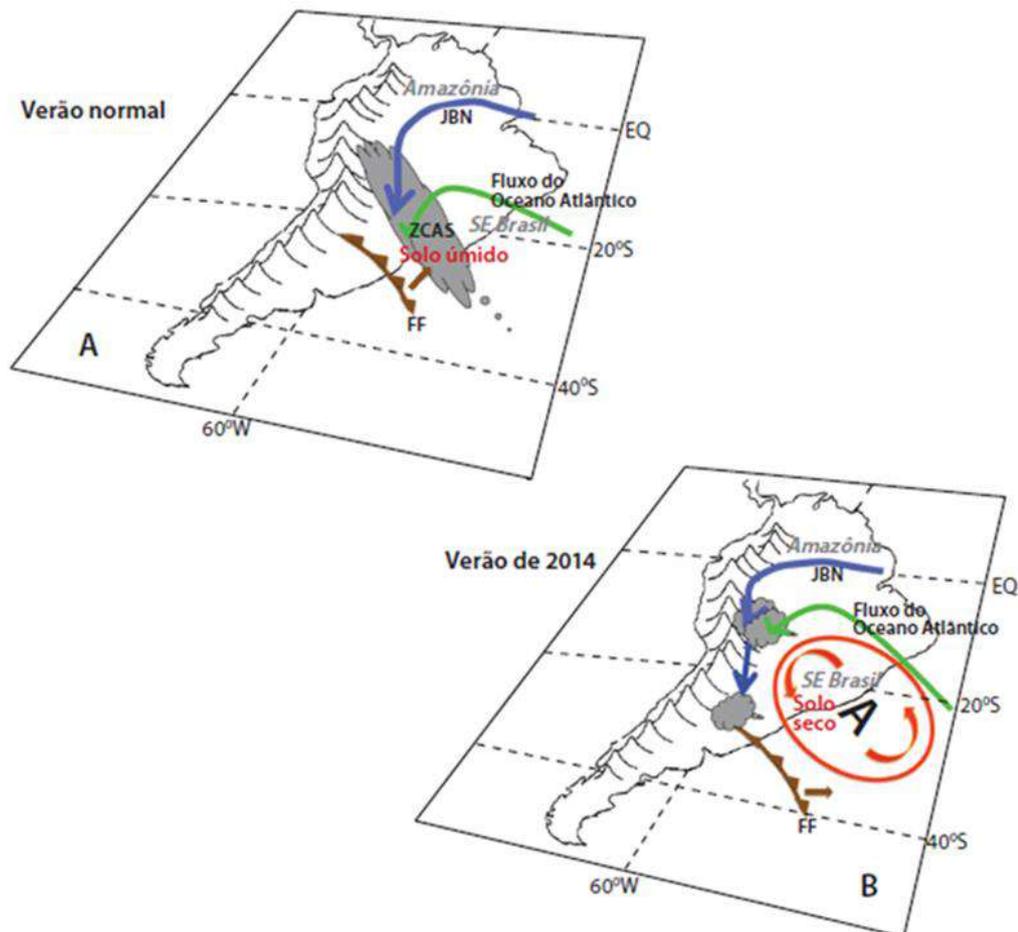


Figura 7: Elementos relevantes ao transporte de umidade na América do Sul a leste dos Andes pelos Jato de Baixos Níveis (JBN), frentes várias (FF) e transporte de umidade do Atlântico Sul, assim como a presença da ZCAS, para um verão normal. Fonte: Marengo.et.al.

Contudo, durante a estação chuvosa de 2013-2014, um notável fenômeno emergiu: o anticiclone de bloqueio (simbolizado pela letra "A") que firmou sua posição sobre a região Sudeste do Brasil ao longo da maior parte do verão. Essa presença exerceu uma influência significativa ao obstruir a entrada do fluxo de umidade proveniente da Amazônia e ao interromper o avanço das frentes frias, que permaneceram praticamente estáticas sobre a região Sul do país antes de se desviarem para o Oceano Atlântico Sul.

Como consequência direta dessa configuração, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) não chegou a se formar durante esse período. Em vez disso, o fluxo de umidade da Amazônia experimentou um desvio em direção às regiões sul e oeste da própria Amazônia, desencadeando chuvas intensas e

enchentes históricas nessa área. De maneira concomitante, o Jato de Baixos Níveis (JBN) transportou essa umidade em direção ao Sul do Brasil, igualmente contribuindo para a ocorrência de precipitações intensas nessa região.

3.0 Tecnologias Geoespaciais

Para que a realidade da paisagem seja transformada em um advento espacial, os autores a seguir propõem que atualmente não se pode mais conceber representações sobre a realidade espacial, a do espaço humano, de forma analítica e fragmentada, mas sim focar na busca de uma cartografia de reintegração, de reconstrução do todo.

Martinelli (2005) aborda o conceito de cartografia dinâmica, que se refere à manipulação interativa de informações espaciais em tempo real. Essa capacidade resulta dos notáveis avanços tecnológicos, abrangendo a informática e a cartografia assistida por computador, também conhecida como geomática. Tal evolução indubitavelmente trará transformações substanciais à disciplina cartográfica.

Segundo Martinelli (2005), "na cartografia dinâmica não se pode menosprezar a relação espaço-tempo e seu vínculo com os níveis de análise da realidade e, conseqüentemente, também, com a escala de seu mapeamento" (MARTINELLI, 2005, p. 57).

Assim sendo, as tecnologias geoespaciais englobam um conjunto de recursos para coleta, processamento e análise e apresentação de informações geográficas. Destacam-se como ferramentas fundamentais de diagnóstico no que tange à análise espacial e de sistemas ambientais (ROSA, 2005). A combinação dessas tecnologias geoespaciais é essencial em pesquisas que visam analisar e compreender variados tipos de sistemas ambientais.

Leite e Rosa (2006) afirmam que as geotecnologias são relevantes para a planificação do espaço urbano, possibilitando, dessa forma, o uso racional do espaço e, por conseguinte, sustentar a estruturação de uma cidade que proporcione maior qualidade de vida para sua população.

Concordando com essa abordagem, Câmara et al. (1996, p. 28) afirmam que "aplicações socioeconômicas podem ser realizadas tanto com o propósito de planejamento quanto de avaliação de alterações em uma região em resposta a uma determinada política". Além disso, enfatizam que as geotecnologias são fundamentais na fase de pós-processamento das informações, quando os dados são analisados e facilmente representados em mapas.

Sluter (2008) resume que as escolhas no decorrer do desenvolvimento do projeto cartográfico devem estar direcionadas para efetivar o processo de comunicação cartográfica. Essa comunicação cartográfica não se limita ao mero uso do mapa, mas é também um produto do próprio projeto cartográfico, pois a interseção de conhecimentos necessária para a eficácia da comunicação é elaborada como parte integrante do projeto em si.

Quanto ao SIG, tecnologia voltada para geração da cartografia temática, pode-se afirmar que esta evoluiu consideravelmente e é uma ferramenta importante para visualização, manipulação e análise de dados espaciais, fornecendo subsídios para traçar metas, planos e ações para gestão e organização do espaço (ROSA, 2013).

Para contextualizar, houve, nas últimas décadas, uma evolução do sensoriamento remoto devido ao progresso dos sistemas orbitais, especialmente em relação à resolução espacial e à disponibilidade de imagens. Isso resultou em uma maior obtenção de dados em estudos sobre as características térmicas superficiais por diferentes sensores remotos (Borges et al., 2014).

A adoção de tecnologias geoespaciais, incluindo o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica (SIG), revela-se extremamente eficaz na análise e visualização das dinâmicas espaciais e temporais dos fenômenos climáticos. Aprofundar essa discussão com exemplos concretos ou estudos de caso que ilustram o uso dessas tecnologias para mapear e compreender os impactos climáticos em Belo Horizonte seria muito proveitoso (MOURA, 2008; UMBELINO, 2010; ROSSETTI, 2011). Isso não apenas demonstraria como essas ferramentas são aplicadas na prática, mas também como elas podem ser integradas à teoria para enriquecer a coleta e análise de dados na pesquisa.

4.0 Métodos Estatísticos

A análise estatística é essencial para entender os padrões climáticos e suas mudanças ao longo do tempo. Quando aplicamos métodos estatísticos à climatologia, conseguimos identificar tendências e padrões sazonais que são fundamentais para tomar decisões informadas em setores como agricultura e planejamento urbano.

Barbosa e Lima (2017) destacam o papel crucial da estatística descritiva na caracterização e representação precisa dos dados climáticos coletados, proporcionando uma visão completa e detalhada das condições climáticas.

Utilizando os dados de precipitação, podemos desenvolver indicadores estatísticos essenciais como a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e a distribuição de frequências. Estes indicadores ajudam a analisar e entender melhor as variações climáticas, conforme exemplificado por Silva et al. (2019).

Uma das medidas mais comuns é a média aritmética. Segundo Barbosa et al. (2022), essa medida de tendência central é amplamente utilizada devido à sua simplicidade, oferecendo uma maneira direta de entender as condições climáticas médias a partir de grandes conjuntos de dados, conforme ele enfatiza:

“Essa medida de tendência central expressa o somatório de todos os elementos da série dividido pelo número total de elementos. Seu cálculo é dado pela seguinte fórmula, onde $a^1 + a^2 + a^3 \dots$ são os elementos da série de dados e o valor n é o número de elementos totais da série” (Barbosa et al., 2022, p. 280).

Caracterizada pela fórmula:

Equação 1

$$\bar{a}_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 \dots + a_n}{n}$$

Outra técnica comumente empregada na análise estatística da climatologia é o desvio padrão, classificado como uma medida de dispersão, assim como a variância. Segundo Pretucci (2018), as medidas de dispersão têm como objetivo evidenciar a variabilidade dos dados em relação à média.

A primeira delas é a raiz quadrada da variância, conhecida como desvio padrão. Essa medida de dispersão é preferível à variância porque o desvio padrão é expresso na mesma unidade das variáveis analisadas, facilitando a interpretação, sendo: S é o desvio padrão; $\sum_{i=1}^n$ o somatório do valor total da amostra; x_1 é o valor máximo da amostra e \bar{x} é a média amostral

Representado pela seguinte fórmula:

Equação 2

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

A segunda medida, *variância*, avalia a dispersão dos valores da amostra em relação à média. A *variância* é o quadrado do desvio em relação à média, onde: s^2 é a *variância*; $\sum_{i=1}^n$ é o somatório do valor total da amostra; x_i é o maior valor máximo da amostra; \bar{x} é a média amostral e pode ser calculada pela expressão:

Equação 3

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

A média e o desvio padrão, como já foram debatidos, são medidas utilizadas para avaliar a posição central e a dispersão de um conjunto de dados. No entanto, essas medidas podem ser significativamente influenciadas por valores discrepantes. Por outro lado, existem outras técnicas estatísticas aplicadas pela Climatologia Geográfica que são menos sensíveis a valores extremos, tais como Barbosa et al. (2022) propõe:

Entre as técnicas utilizadas, destacam-se a mediana e os quartis. Esses métodos dividem os dados em segmentos claros, facilitando a compreensão da dispersão dos valores climáticos sem que os extremos causem distorção. Além disso, a moda, que representa o valor que mais frequentemente ocorre nos dados, revela o estado mais comum do clima em uma determinada região, oferecendo uma perspectiva valiosa sobre o que é tipicamente esperado. (Barbosa et al., 2022, p. 277)

Quando se trata de visualizar como os dados climáticos estão distribuídos, o box-plot é uma ferramenta extremamente útil. Este gráfico simples, mas poderoso, é essencial para destacar a mediana, os quartis e identificar claramente os valores que são considerados outliers. Com ele, podemos obter uma visão transparente e objetiva da variabilidade climática, eliminando o ruído causado por anomalias.

Outro método para se aplicar a análise de Anos Padrão é o pluviograma de Schroder (Figura 9). Quando Rudolf Schroder analisou a distribuição espacial e, especialmente, temporal das chuvas em São Paulo, usando dados de 249 estações pluviométricas, ele destacou um ponto importante: o uso de médias aritméticas para tratar os totais de precipitação pode ser muito genérico, pois representam tão somente a expressão de uma fase do curso anual do tempo. Segundo o autor, os estudos de cunho climatológico devem buscar contemplar o curso mensal e anual das chuvas, capaz, assim, de expressar a considerável variabilidade desse elemento ao longo dos anos, condizente com os regimes

habituais e excepcionais (secos e chuvosos) das chuvas (NASCIMENTO et al., 2019)

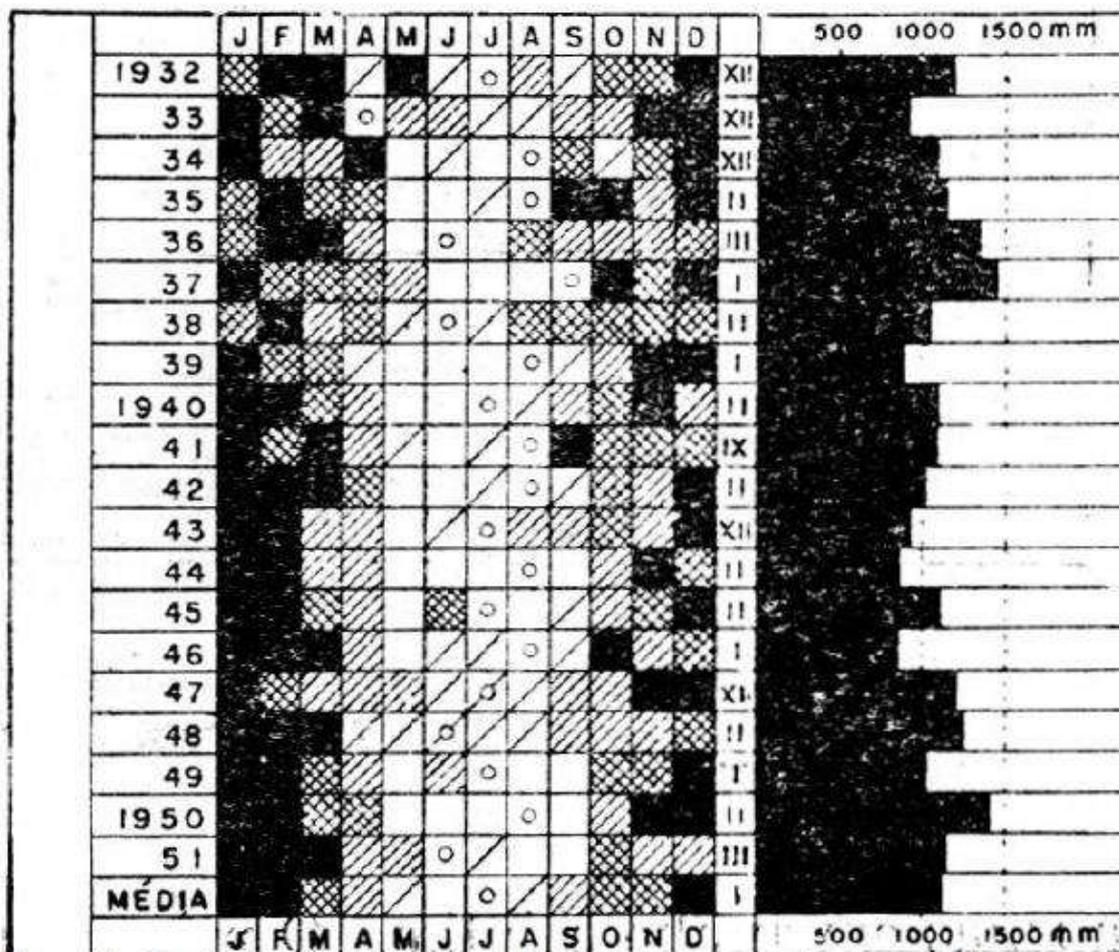


Figura 9: Pluviograma com os acumulados mensais e anuais de precipitação para Pindamonhagaba-SP (1923/1951). Fonte: Nascimento et.al (2019) Schroder (1956).

Utilizando da metodologia proposta por Schroder e adaptada por NASCIMENTO et al. (2019) o (quadro 1) a seguir ilustra as categorias, as paletas de cores utilizadas e os limites percentuais que definem os valores mensais de precipitação, bem como a representação do mês mais seco e do mês mais chuvoso do ano. Algumas modificações foram efetuadas, especialmente no que concerne à representação visual das simbologias no pluviograma e à definição da faixa de 4,0 a 8,2% como um período de transição mensal. Isso se deve ao fato de o autor apenas mencionar a condição de meses extremamente secos, secos, chuvosos ou muito chuvosos.

Quadro 1: Classes, percentual e simbologia empregada no pluviograma. Fonte: Schroder (1956) e Nascimento et al. (2019)

Classes	% de Precipitação	Simbologia
Mês mais seco do ano	menor valor	
Mês muito seco	< 2%	
Mês seco	Entre 2% - 3,9%	
Mês de transição	Entre 4% - 8,2%	
Mês chuvoso	Entre 8,3% - 12,4%	
Mês muito Chuvoso	> 12,5%	
Mês mais chuvoso do ano	maior valor	

CAPÍTULO 2 - Caracterização da área de estudo

Projetada e construída para ser a capital do Estado de Minas Gerais, em substituição a Ouro Preto, a cidade ultrapassou as expectativas de seus planejadores. No projeto original, estimava-se uma população superior a 200.000 habitantes apenas no século XXI; valor ultrapassado ainda no início da década de 40 (BARRETO, 1995). Segundo Censo de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), Belo Horizonte possui uma população de 2.315.560 habitantes e ocupa uma superfície de 331,354 km², com densidade demográfica de 7.167,00hab/km² IBGE (2010).

A cidade de Belo Horizonte encontra-se na região centro-sul, dentro da microrregião Belo Horizonte, abrangendo as coordenadas de latitude Sul (“19° 46’ 35” a 20° 03’ 34””) e longitude oeste (43° 51’ 27” a 44° 03’ 47”). Situa-se ao sudeste do centro geográfico do estado (Figura 10) e é circundada por municípios vizinhos: Nova Lima ao sul, Ibituripe ao sudoeste, Betim ao oeste-sudoeste, Contagem a oeste, Ribeirão das Neves ao noroeste, Vespasiano ao norte, Santa Luzia ao nordeste e Sabará ao leste.

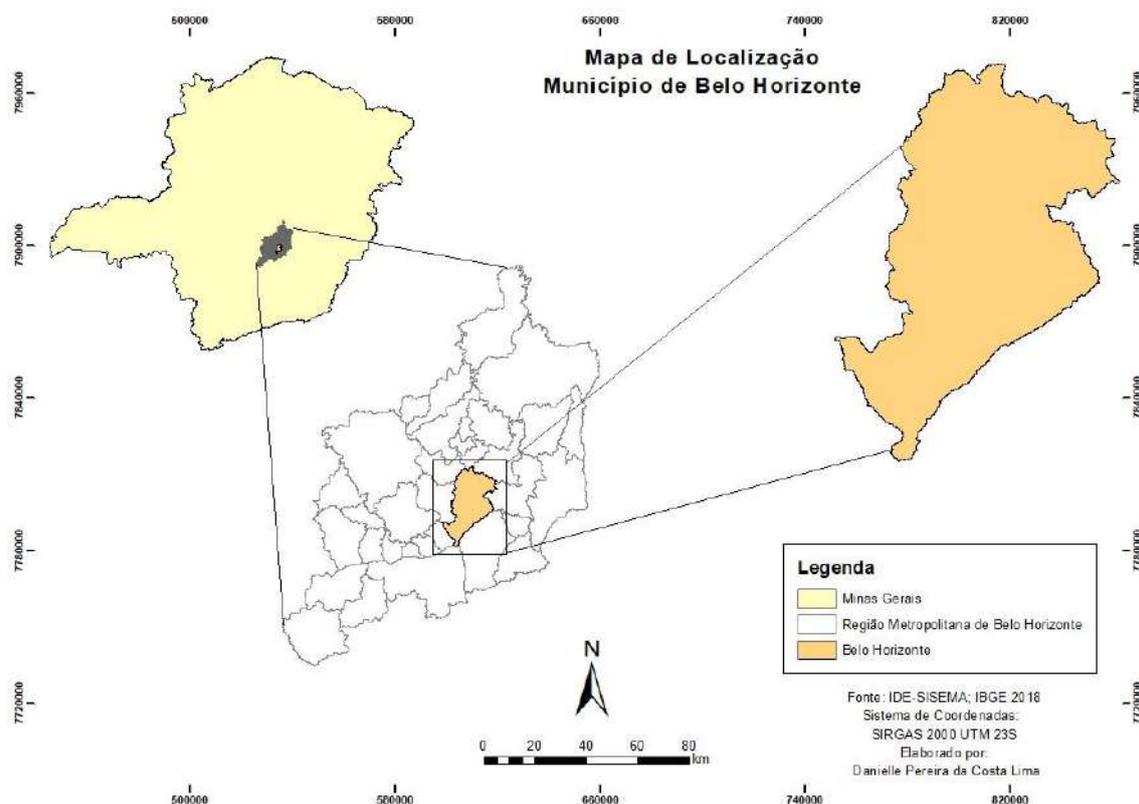


Figura 10: Mapa de Localização do município de Belo Horizonte

De acordo com as Normais Climatológicas de 1991 a 2020 (INMET, 2022), a temperatura média anual em Belo Horizonte é 21,0 C°. Os meses de verão registram uma média máxima de 29,0°C, enquanto os meses de inverno mantêm uma média mínima de 12,9°C. A média da precipitação anual totaliza 1491,3mm, com os meses mais chuvosos sendo novembro, dezembro e janeiro (figura 11). A média anual de umidade relativa do ar é de 77,3%, apresentando os valores mais elevados nos meses chuvosos (verão) e os mais baixos durante o inverno (período seco).

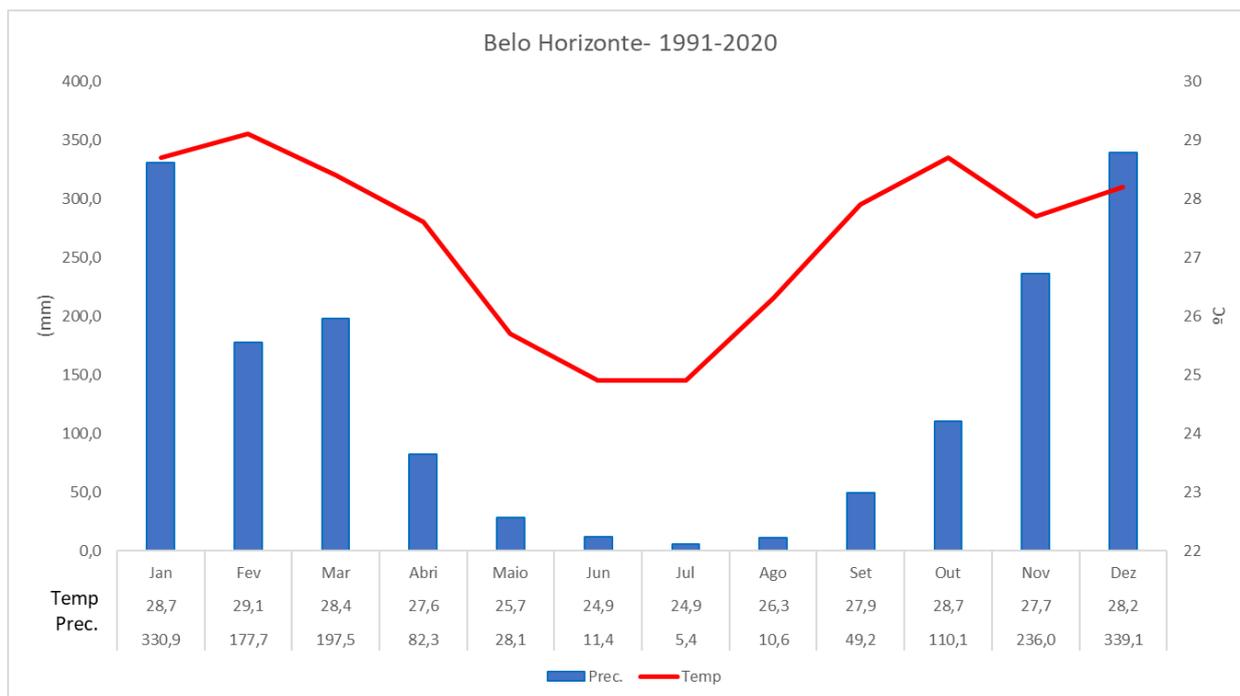


Figura 11: Climograma do município de Belo Horizonte (1991-2020). Dados: Normais Climatológicas.

Durante o período seco, a significativa redução da precipitação apresenta um ameaça para o abastecimento de água. No entanto, esse risco foi consideravelmente minimizado com a construção de obras de infraestrutura para suprir a demanda de água da população da cidade. Quando o Sistema Ibitité³ não foi mais capaz de garantir a oferta de água potável para toda a população urbana, foram elaborados outros sistemas de abastecimento de água, como o Sistema Rio das Velhas⁴, Serra Azul⁵, (1979) e Rio Manso⁶(1985). Durante o período chuvoso, o aumento extremo das precipitações apresenta um risco

³ Para a implementação do Sistema Ibitité, em 1928, a PBH constituiu a Comissão do Novo Abastecimento de Belo Horizonte, que estimava garantir o serviço de abastecimento de água (60,6 m³/dia) para um máximo de 250.000 habitantes (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1997).

⁴ O Departamento Nacional de Obras de Saneamento (Dnos) elaborou em 1960 um sistema adutor do Rio das Velhas, para garantir o abastecimento de água (518.400 m³/dia) para um total de 1.700.000 habitantes (Fundação João Pinheiro, 1997). Essa meta foi possível graças à nova rede de distribuição de água implantada pelo Projeto Cardellini. A primeira etapa desse sistema foi concluída em 1972, mas passou a operar plenamente só a partir de 1976; a segunda etapa foi concluída em 1979, passando a operar plenamente em 1982 (Fundação João Pinheiro, 1997). O total da capacidade foi estimado em cerca de 90%, conquanto exista uma margem de expansão, devido aos problemas de distribuição (Fundação João Pinheiro, 1997).

⁵ A COPASA iniciou em 1979 o Sistema Azul, com o objetivo de abastecer as Regiões Norte e Oeste da cidade, além de parte da Região Metropolitana. O projeto foi concluído em 1985 (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1997).

⁶ A Copasa iniciou em 1985 o Sistema Rio Manso, para regularizar a vazão de 889.920 m³/dia. O projeto foi concluído em 1990 (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1997).

hidrometeorológico para os processos hidrológicos e geológicos (OLIVIER, 2012).

Uma característica geográfica adicional que influencia a temperatura do ar é a localização do município na região tropical, marcada por uma sazonalidade bem definida, consequência das variações hídricas entre os períodos de estiagem e chuvas (PBH, 2010). Essas discrepâncias hídricas são acentuadas pelas condições de continentalidade, especialmente pela topografia íngreme que caracteriza certas áreas da Mata Atlântica, atuando como uma barreira natural entre a costa atlântica e o interior do Brasil (MOREIRA, 2002). Além disso, em relação ao contraste entre continentalidade e maritimidade, é importante enfatizar que as distintas propriedades térmicas entre continentes e oceanos influenciam a circulação atmosférica

De acordo com Silva (2017), a altitude média de Belo Horizonte é de 860 metros, variando de 435 a 1500 metros. No entanto, a maior parte do município encontra-se em altitudes entre 800 e 900 metros, predominantemente em uma região de vertentes suavemente inclinadas. Na porção sul de Belo Horizonte (Figura 12), um extenso alinhamento de cristas com topos aplainados, parte do conjunto de elevações do Quadrilátero Ferrífero, age como uma barreira orográfica para as massas de ar, resultando em formações nubladas em determinadas épocas do ano (ASSIS, 2010).

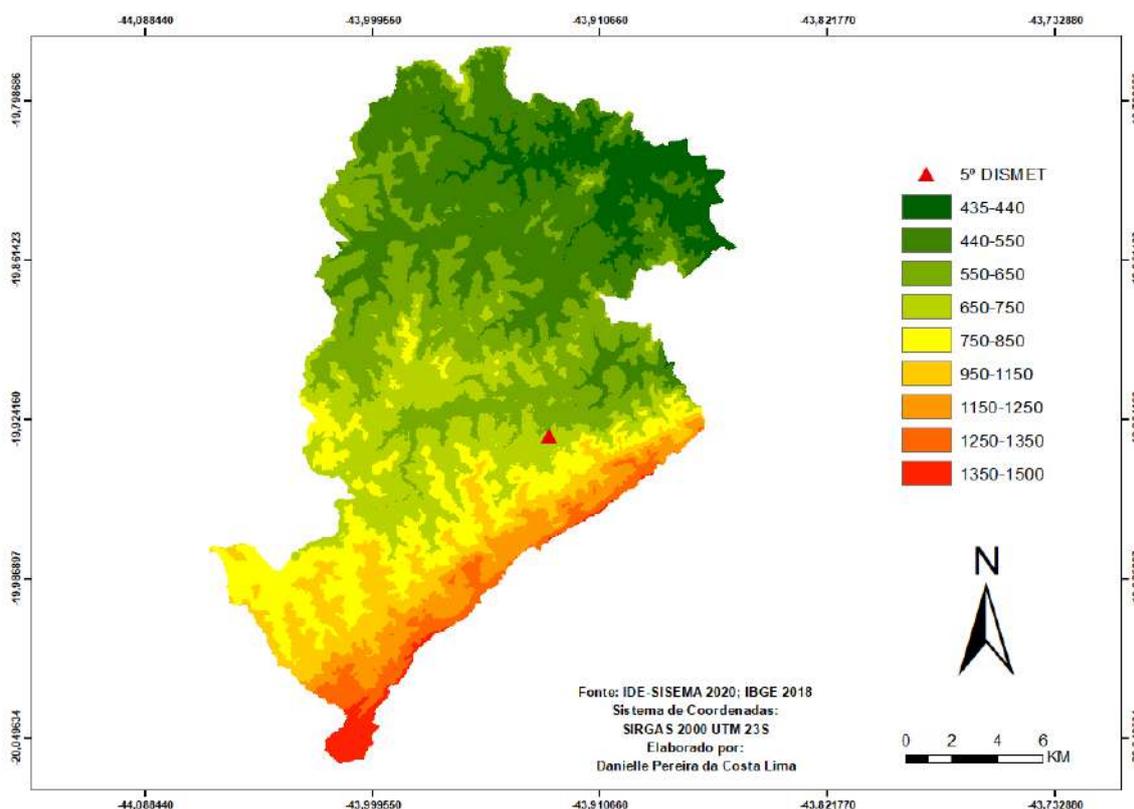


Figura 12: Mapa Hipsométrico do Município de Belo Horizonte

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2017), o município está inserido no alto vale do Rio das Velhas que integra a Bacia do Rio São Francisco. Belo Horizonte situa-se no contato entre dois destes conjuntos morfoestruturais, o Quadrilátero Ferrífero e a Depressão de Belo Horizonte, sendo esta última correspondente a 70% de seu território. De acordo com LUCAS (2007), o Quadrilátero Ferrífero constitui as principais unidades geomorfológicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

De acordo com informações da Prefeitura de Belo Horizonte (2017), o relevo do município se caracteriza por espigões, colinas de topos planos a arqueados e encostas policonvexas com variadas inclinações, situadas nos flancos dessas feições e em suas transições. A topografia acidentada atinge seu ponto máximo no limite sul de Belo Horizonte, onde se encontra a Serra do Curral. As distintas fitofisionomias regionais presentes em Belo Horizonte são um produto dos efeitos locais resultantes da topografia e das variações de solo.

Entre as mais representativas no município, incluem-se campo sujo, campos de altitude e associações florestais de cerrado e mata atlântica (Figura 13). No entanto, em decorrência do crescimento populacional e da expansão urbana, grande parte da vegetação nativa foi perdida.

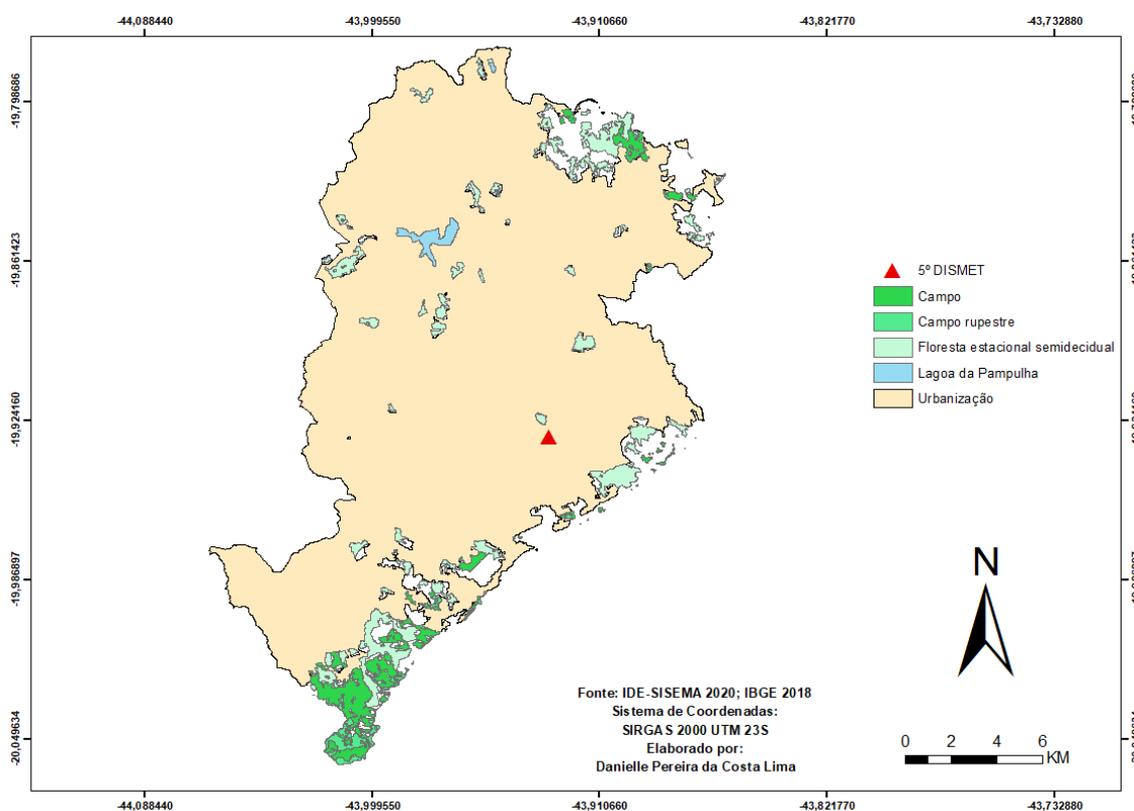


Figura 13: Uso e ocupação do solo.

A partir da década de 1960, Belo Horizonte experimentou elevado crescimento econômico, responsável pela transformação paisagística da cidade. De acordo com dados da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH)⁷, o município sofreu uma descaracterização “sem remorsos”, tendo seus espaços verdes e as antigas construções substituídos por asfalto, edifícios modernos e novas indústrias. Nesta época, a história da capital mineira foi marcada pelo crescimento das indústrias e das instituições financeiras, irradiando o

⁷Disponível em

<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortalecpTaxonomiaMenuPortal&app=historia&tax=11823&lang=pt_BR&pg=5780&taxp=0&>. Acesso em 31 de julho de 2023.

crescimento da cidade para os municípios vizinhos. Tal crescimento econômico foi acompanhado pelo agravamento das desigualdades e problemas sociais, contribuindo para a formação de inúmeras favelas e crescimento desordenado.

Hoje em dia, segundo Lobo e Garcia (2007), quase toda a área territorial de Belo Horizonte se encontra urbanizada, com espaços quase inexistentes para a expansão imobiliária horizontal, o que acaba favorecendo a alternativa de verticalização da cidade. Em países de industrialização tardia como o Brasil, as desigualdades são aprofundadas pela urbanização acelerada.

CAPÍTULO 3 - Procedimentos Metodológicos

O plano completo de investigação, de acordo com a ilustração 14 percorreu as seguintes fases:

1. Coleta de informações e dados (referências bibliográficas, material cartográfico, dados meteorológicos coletados da estação meteorológica disponível na *web*);
2. Em seguida, foram considerados os elementos e influências atmosféricas e de superfície que influenciam os fatores microclimáticos e topoclimáticos.
3. Realização de métodos de análise apropriados de acordo com os propósitos da investigação e a característica dos dados: análise de anomalia de precipitação em Belo Horizonte, visando à elaboração de elementos representativos da distribuição espacial desse atributo com propósito de análise do ano seco de 2014.

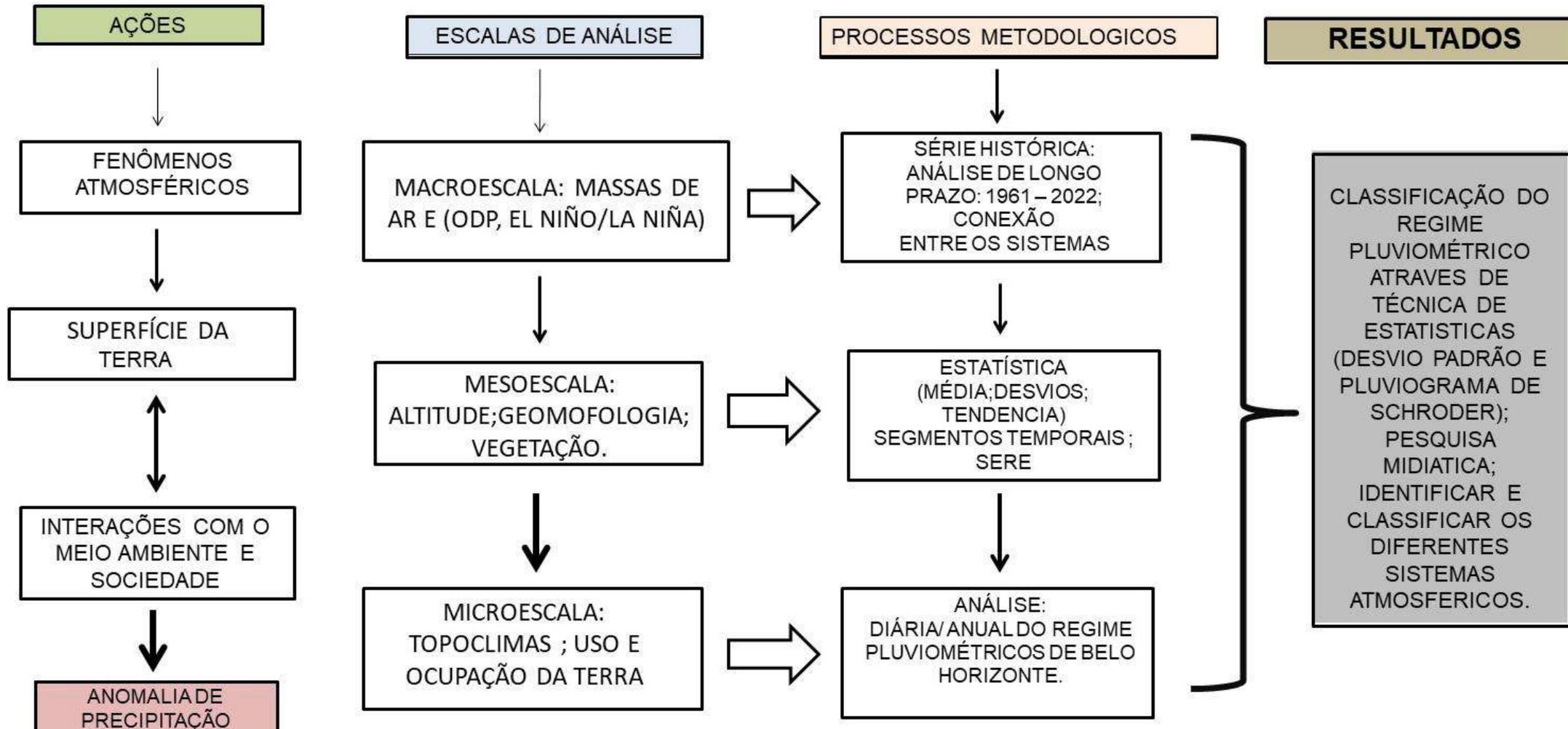


Figura 14: Procedimentos Metodológicos

3.1 Fontes de Dados e Análise de Estatística

O início deste trabalho abrangeu leituras e análises do material bibliográfico, fornecendo a base para o desenvolvimento da pesquisa. Esse processo facilitou a identificação dos métodos a serem organizados, abordando conceitos como climas regionais, massas de ar, recursos hídricos, pluviometria e análise ambiental.

Na segunda fase, os registros mensais de precipitação coletados foram consolidados a partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP/INMET)⁸, utilizando-se como referência os dados coletados pela estação meteorológica do 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5º Dismet/INMET), sob nº de 83587, localizado a 19°93' de latitude sul e 43°93' de longitude oeste de Greenwich, na Avenida do Contorno nº 8.159, no Bairro Cidade Jardim. O 5º Dismet forneceu informações sobre precipitação em dois horários sinóticos de 12h e 18h TMG. Essas séries temporais foram individualizadas, iniciando-se no ano de 1961 encerrando-se em 2022.

Os dados são produzidos segundo regulamentações e conforme o INMET (2009). As Regulamentações Técnicas definem valores normais como médias calculadas para um período de pelo menos três décadas consecutivo.

Para este trabalho foram adquiridos, também, dados de diversas fontes, selecionados em atendimento a critérios básicos como a qualidade cartográfica, contemporaneidade do dado e representatividade da informação. A priorização da escolha por dados oficiais e de propriedade pública, como os providos por órgãos como IBGE, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), Embrapa Brasil em Relevo (SRTM)⁹, entre outros estão disponíveis na plataforma da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

⁸ Disponível em: www.inmet.gov.br.

⁹ Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>.

As informações dos dados foram trabalhadas de forma a possibilitar tanto o fornecimento de informações complementares aos trabalhos que já existem quanto a criação de mapas temáticos para auxílio a processos dos resultados (mapas de localização, hipsométrico, uso e ocupação do solo).

Sendo assim, as informações e a manipulação dos elementos coletados foram conduzidas por meio da plataforma *QGIS* que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. O *QGIS* é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (*OSGeo*).¹⁰ Esse *software* foi escolhido devido à sua interface amigável e à capacidade de produzir mapas finais com um acabamento de alta qualidade. A construção das representações geográficas ocorreu no laboratório de informática do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Para a análise estatística dos dados obtidos da estação meteorológica o programa Excel (*Microsoft 365*) foi empregado. Foram avaliadas as informações referentes a quantidade acumulada de chuva mensal e anual. Essas informações foram coletadas e foram submetidas a um esquema de decomposição temporal, que teve início com a análise da série histórica de 61 anos de dados, com o propósito de detectar a variação dos elementos climáticos.

Conforme as Normais Climatológicas publicadas em 2022¹¹ e parafraseando a OMM, foram considerados apenas períodos com dados completos, isto é, meses ou decêndios em que não se registrou a falta de dado de precipitação em nenhum dia. Para determinar a frequência relativa dos eventos climáticos mensais, Silva (2017) calculou o número máximo de eventos que poderiam ser observados em um mês, utilizando a regressão linear simples para analisar dados faltosos ou irregulares. As Normais Climatológicas foram empregadas como base para essas análises, fornecendo médias históricas confiáveis que permitiram verificar a precisão dos resultados e avaliar as variações climáticas em relação aos padrões esperados para a região estudada.

¹⁰ Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html

¹¹ Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>

A fim de analisar e categorizar o padrão de chuvas no município de Belo Horizonte, a técnica do Desvio-Padrão foi aplicada aos dados de precipitação. Essa técnica é comumente empregada em pesquisas voltadas para a identificação de anos padrão é por meio do desvio-padrão em relação à média. Contudo, essa abordagem é mais apropriada para conjuntos de dados que exibam uma distribuição simétrica (SILVESTRE,2012).

Silva e Jardim (2018) utilizaram a técnica de desvio-padrão em relação à média, conforme descrito por Sant'Anna Neto (1995), para analisar a distribuição espacial e a evolução temporal da pluviosidade no estado de São Paulo durante o período de 1941 a 1993. O autor definiu cinco classes de anos-padrão (Tabela 1):

Tabela 1: Divisão do Desvio-Padrão. Adaptado de Sant'Anna Neto (1995)

Muito Chuvoso	MC	$x + s$
Chuvoso	C	$x + \frac{1}{2} s$
Habitual	H	
Seco	S	$x - \frac{1}{2} s$
Muito Seco	MS	$x - s$

Esses valores representam pontos específicos em torno da média (x) de um conjunto de dados, considerando um desvio padrão (s) conhecido:

- $x + s$: Este valor indica um ponto que se encontra a uma distância de um desvio padrão acima da média (Muito Chuvoso).
- $x + \frac{1}{2} s$: Este valor está localizado a meio desvio padrão acima da média (Chuvoso).
- $x - \frac{1}{2} s$: Este valor está situado a meio desvio padrão abaixo da média (Seco)
- $x - s$: Este valor representa um ponto que se encontra a uma distância de um desvio padrão abaixo da média (Muito Seco)

Em análises estatísticas, esses pontos são cruciais para compreender a distribuição dos dados em relação à média e para identificar valores que se

encontram dentro de um desvio padrão pela média Jardim e Silva (2018) *apud* Sant'Anna Neto (1995). Essa abordagem é fundamental para interpretar dados e conduzir análises estatísticas qualitativas com precisão.

Com base nos dados diários de precipitação, foi possível categorizar os anos como muito chuvosos, chuvosos, habituais, secos e muito secos. A partir dessa estimativa sequencial ao longo do período histórico, também foi possível avaliar a probabilidade de alterações no padrão de distribuição das chuvas, considerando a quantidade de dias. Além disso, foi possível estabelecer semelhanças entre a pluviometria total anual.

Para classificar os níveis de precipitação anual, os dados diários de chuva foram organizados em uma planilha. Utilizou-se uma tabela dinâmica do software para distribuir esses dados de forma mais detalhada por meses e anos. Em seguida, foi aplicada a função **SE** no Excel para contar os anos com diferentes níveis de precipitação. Uma coluna ao lado dos valores anuais de precipitação foi usada para aplicar a seguinte fórmula:

Equação 4

```
=SE(1961>1916,4mm;"MuitoChuvoso";SE(1961<1205,6;"MuitoSeco";SE(1961
>1738,7;"Chuvoso";SE(1961<1383,3;"Seco";"Habitual"))))
```

Essa fórmula funciona da seguinte maneira: primeiro, verifica-se se a precipitação anual foi maior que 1916,4 mm, classificando esse ano como "Muito Chuvoso". Caso contrário, verifica-se se a precipitação foi menor que 1205,6 mm, classificando-o como "Muito Seco". Se nenhuma dessas condições for atendida, verifica-se se a precipitação foi maior que 1738,7 mm, classificando o ano como "Chuvoso". Em seguida, verifica-se se foi menor que 1383,3 mm, classificando-o como "Seco". Se nenhuma dessas condições for satisfeita, o ano é considerado "Habitual", com precipitação entre 1383,3 mm e 1738,7 mm. Esse método ajuda a entender melhor os padrões de chuva e a identificar anos com características climáticas distintas.

Finalmente após esse teste lógico, pode se obter uma tabela de anos padrão que será apresentada nos resultados.

Fazendo o uso a pesquisa dos autores Nascimento, Souza e Silva (2019), utilizou-se a distribuição de precipitações baseado no pluviograma de Schroder para inferir melhores formas de interpretação dos dados pluviométricos.

Com base nisso, empregou-se uma tabela com dados classificados mensal e anualmente para a série histórica de 61 anos. A constituição do pluviograma de Schroder (1956) indica que os estudos climatológicos devem abranger os padrões mensais e anuais das chuvas para representar a variabilidade percentual ao longo dos anos, incluindo os regimes normais e extremos de chuvas, como estações secas e chuvosas.

A fim de evidenciar as possibilidades do uso do pluviograma de Schroder, os resultados apresentarão a distribuição temporal das precipitações na estação meteorológica situada em Belo Horizonte (5º DISMET), capital do Estado de Minas Gerais, ao longo da série histórica de dados disponível, de 1961 a 2022. Serão também incluídas representações de recortes amostrais que retratam a habitualidade e as excepcionalidades do regime de chuvas, conforme sugerido por Monteiro (1971).

É relevante ressaltar as dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores dedicados aos estudos climáticos no Brasil, especialmente aqueles envolvidos na análise de séries temporais, em obter dados primários confiáveis do território brasileiro. Devido à vasta extensão territorial do país, muitas regiões possuem poucas estações meteorológicas, e sua distribuição frequentemente não atende aos critérios adequados de cobertura espacial. Isso representa um obstáculo significativo nas pesquisas, limitando as áreas de análise de séries históricas.

As lacunas nos registros das variáveis climáticas representam um problema significativo na análise climática. Os pesquisadores enfrentam a decisão de excluir determinados períodos ou tentar corrigir essas falhas, o que pode impactar os resultados da pesquisa. No caso deste trabalho, optou-se por não utilizar esses dados incompletos nas análises finais, considerando as inconsistências nos registros mensais e anuais.

3.2 Satélites meteorológicos e cartas sinóticas.

A análise de imagens de satélite e cartas sinóticas foi utilizada para identificar os sistemas atmosféricos atuantes durante os segmentos temporais da pesquisa. As imagens empregadas foram do satélite GOES-13 (Geostationary Operational Environmental Satellite), canal 4, infravermelho 4. Os elementos considerados incluíram a nebulosidade, variações de tons de cinza, formato, brilho e textura das nuvens. Em relação às cartas sinóticas, foram considerados o valor e a posição dos centros de alta e baixa pressão, frentes (frias, quentes ou oclusas), linhas de instabilidade, e o formato e valor das isóbaras. Esses procedimentos seguem as análises de Ferreira (2006) para imagens de satélite e de Vide (1999) para cartas sinóticas.

As cartas sinóticas foram obtidas através de endereços eletrônicos do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil¹² e as imagens de satélites meteorológicos no site do CPTEC/INPE¹³. Dessa forma, a análise das imagens de satélite e cartas sinóticas no presente estudo foram fundamentais para identificar e compreender os sistemas atmosféricos em atuação.

3.3 Impactos ambientais e urbanos no período de seca de 2014.

A identificação dos principais efeitos sociais e ambientais das secas persistentes na região de Belo Horizonte foi realizada por meio da análise dos danos relatados pela imprensa em geral, utilizando notícias no período de ocorrência dos eventos de secas. A ilustração desses eventos é um elemento importante para essa abordagem, pois permite estabelecer a conexão entre as consequências do evento e sua origem. A análise desse material foi realizada como parte do estudo para compreender os efeitos das secas na região de interesse.

Para realizar esse diagnóstico, foram utilizadas técnicas de pesquisa documental e análise de conteúdo. Primeiramente, foram coletadas notícias,

¹² www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas

¹³ www.cptec.inpe.br

reportagens e edições da Revista CLIMANÁLISE (CPTEC), um boletim de monitoramento e análise climática que oferece mensalmente uma abordagem das condições globais de padrões atmosféricos e oceânicos, juntamente com informações sobre precipitação, temperatura e a influência de sistemas sinóticos e de mesoescala no Brasil. Foram analisados materiais relacionados às secas ocorridas na área estudada em 2014.

Em seguida, foram feitas a leitura e a identificação de informações relevantes relacionadas às secas. Foram observados aspectos como a extensão geográfica das secas, duração, intensidade, impactos econômicos, sociais e ambientais, medidas de adaptação adotadas, políticas governamentais e opiniões de especialistas, entre outros.

CAPÍTULO 4 - Análises dos Resultados

4.1 Análise do clima em Belo Horizonte

Belo Horizonte possui duas estações sazonais bem marcadas. De acordo com Nimer (1979), a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, juntamente com frentes climáticas e sistemas perturbados — atualmente conhecidos como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) —, contribui significativamente para as altas taxas de precipitação na região e para o aumento das temperaturas durante esse período. Por outro lado, o Anticiclone Polar do Atlântico Sul é o principal responsável pela redução das temperaturas durante a estação seca (SILVA, 2017).

A Tabela 2 mostra os registros médios das chuvas pelas Normais Climatológicas, evidenciando que esses dados demonstram principalmente concentrados durante o período identificado como chuvoso (de outubro a março).

No que se refere aos dados de precipitação, Belo Horizonte registra valores totais anuais de 1.463,7 mm (normais: 1961-1990), 1.602,6 mm (normais: 1981-2000) e 1.578,3 mm (normais: 1991-2020). Tais números podem ser atribuídos às características do terreno e à altitude elevada de 915 m. A estação meteorológica está localizada em uma região de planalto, onde a turbulência mecânica do ar é mais intensa, promovendo sua circulação e favorecendo a formação de nuvens e, conseqüentemente, precipitação. Este fenômeno é conhecido como efeito orográfico, conforme descreve Silva (2018).

Tabela 2: Dados das Normais Climatológicas para precipitação, Período (1961-2020). Fonte: INMET

Normais: 1961-1990													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
Total(MM)	274,1	206,3	142,7	55,8	28,8	11,5	15,3	14,8	39,2	141,7	241,6	292	1463,7
Normais: 1981-2000													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
Total(MM)	329,1	181,4	198	74,7	28,1	9,7	7,9	14,8	55,5	104,7	239,8	358,9	1602,6
Normais: 1991-2020													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAL
Total(MM)	330,9	177,7	197,5	82,3	28,1	11,4	5,4	10,6	49,2	110,1	236	339,1	1578,3

Durante o verão na região, que coincide com a estação chuvosa, as temperaturas máximas mensais foram registradas dentro da perspectiva das Normais Climatológicas (1961-1990, 1981-1990, 1990-2020). A temperatura média anual varia entre 27,1°C e 27,3°C. Fevereiro é o mês mais quente, com uma média de 29,0°C (Tabela 3), provavelmente devido à ocorrência de períodos de calor intenso. O calor intenso em fevereiro pode ser atribuído a uma série de fatores, incluindo a maior incidência solar nesse período, a influência de massas de ar quente, padrões de ventos favoráveis que transportam ar quente e fenômenos meteorológicos locais. Esses elementos combinados contribuem para elevar as temperaturas médias, resultando em um fevereiro mais quente em comparação aos outros meses do ano, como destacado por Nimer (1979).

**Tabela 3:Tabela 2: Dados das Normais Climatológicas para temperatura máxima, Período (1961-2020).
Fonte: INMET**

Normais: 1961-1990													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Total (°C)	28,2	28,8	28,6	27,5	26	25	24,6	26,5	27,2	27,7	27,5	27,3	27,1

Normais: 1981-2000													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Total (°C)	28,4	29	28,5	27,7	25,8	24,8	24,7	26,1	27,4	28,1	27,7	27,8	27,2

Normais: 1991-2020													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Total (°C)	28,7	29,1	28,4	27,6	25,7	24,9	24,9	26,3	27,9	28,7	27,7	28,2	27,3

Durante a estação seca, as temperaturas são mais amenas. Os meses de julho e junho registram as temperaturas mínimas mensais variando entre 13,4°C e 15,2°C, respectivamente (Tabela 4). Isso ocorre devido à menor incidência solar, à perda de calor durante a noite (o calor acumulado durante o dia se dissipa mais facilmente), facilitada pela redução da umidade e das nuvens, à influência das massas de ar mais frias (massa polar) e aos efeitos do relevo em áreas planálticas. Esses fatores combinados contribuem para proporcionar um clima mais confortável durante a estação seca, aliviando o calor característico de outras épocas do ano.

Nota-se que, a cada relatório emitido pelas Normais Climatológicas, a temperatura mínima mensal e anual vem aumentando. Seria viável sugerir que a urbanização, além do uso e ocupação do solo, tenha contribuído para o fenômeno das ilhas de calor, elevando as temperaturas mínimas nas áreas urbanas (ASSIS, 2010). A localização da estação meteorológica em uma cota altimétrica mais alta também deve ser considerada. Mudanças nos padrões de ventos e circulação atmosférica, assim como variações nos padrões de precipitação, desempenham papéis importantes. Esses fatores combinados estão conduzindo a um aumento consistente das temperaturas mínimas, conforme ressalta Assis (2010), destacando a urgência de medidas para aliviar os impactos do aumento das temperaturas mínimas dentro do município de Belo Horizonte.

Tabela 4: Dados das Normais Climatológicas para temperatura mínima, Período (1961-2020). Fonte: INMET

Normais: 1961-1990													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Total (°C)	18,8	19	18,8	17,3	15	13,4	13,1	14,4	16,2	17,5	18,2	18,4	16,7
Normais: 1981-2000													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Total (°C)	19,8	19,9	19,7	18,6	16,4	15	14,7	15,7	17,1	18,5	18,9	19,4	17,8
Normais: 1991-2020													
Meses:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	ANUAL
Total (°C)	20	20,2	19,8	18,8	16,6	15,4	15,2	15,8	17,4	18,8	18,9	19,5	18

A sazonalidade na distribuição das chuvas, com uma concentração em determinados meses do ano, especialmente durante o verão, é uma característica comum das regiões de clima tropical, enquanto os meses de inverno geralmente são secos. Essa dinâmica é particularmente evidente em grande parte do Centro-Oeste e parte do Sudeste brasileiro, incluindo Minas Gerais.

O Gráfico 2 mostra a frequência das classes de chuvas que ocorreu no município de Belo Horizonte (1961-2022) o que destaca a característica úmida, com uma frequência mais significativa nas classes acima de 1.140,00 mm.

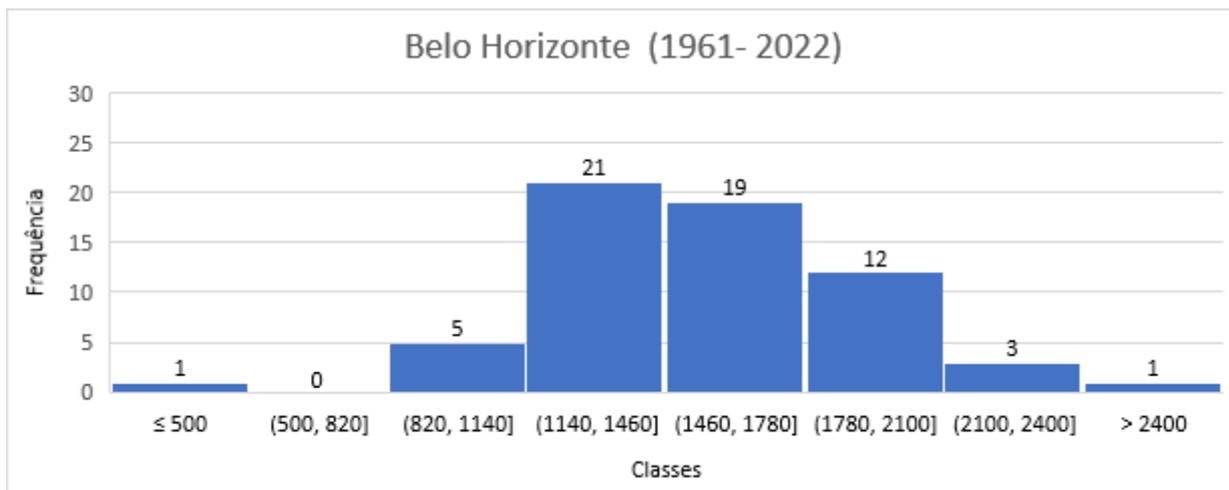


Gráfico 2: Gráfico de frequência das classes de chuva para Belo Horizonte - MG (1961-2022). Fonte Inmet.

A ocorrência de classes de frequência de chuvas acima de 1.140,00 mm é evidente em áreas onde o efeito orográfico é atuante, como no município de Belo Horizonte (JARDIM; SILVA, 2017). Localizado a uma altitude acima de 800 m, Belo Horizonte pode registrar chuvas mais abundantes quando massas de ar úmido são forçadas a subir sobre o terreno elevado, resfriando-se e condensando.

Padrões atmosféricos locais também desempenham um papel, com o desenvolvimento de sistemas convectivos locais, como tempestades de verão, contribuindo para chuvas intensas em curtos períodos. Esses fatores combinados influenciam a ocorrência de classes de chuvas a partir de 1.140,00 mm em determinadas regiões, como o município de Belo Horizonte.

A partir do desvio padrão, quando há uma maior frequência de anos chuvosos no município, fica evidente no Gráfico 3 o caráter mais próximo da média, com algumas oscilações entre anos secos e chuvosos. As variações nos padrões de chuva ao longo dos anos são influenciadas por diversos fatores, incluindo fenômenos climáticos como El Niño e La Niña, padrões de circulação atmosférica e oceânica, e altitude. Conforme destacado por Jardim e Silva (2017), a altitude contribui para o aumento da turbulência do ar ao longo do ano, promovendo movimentos verticais que resultam em resfriamento e formação de nuvens. Esses elementos interagem de maneira complexa, dando origem a períodos de anos secos e chuvosos.

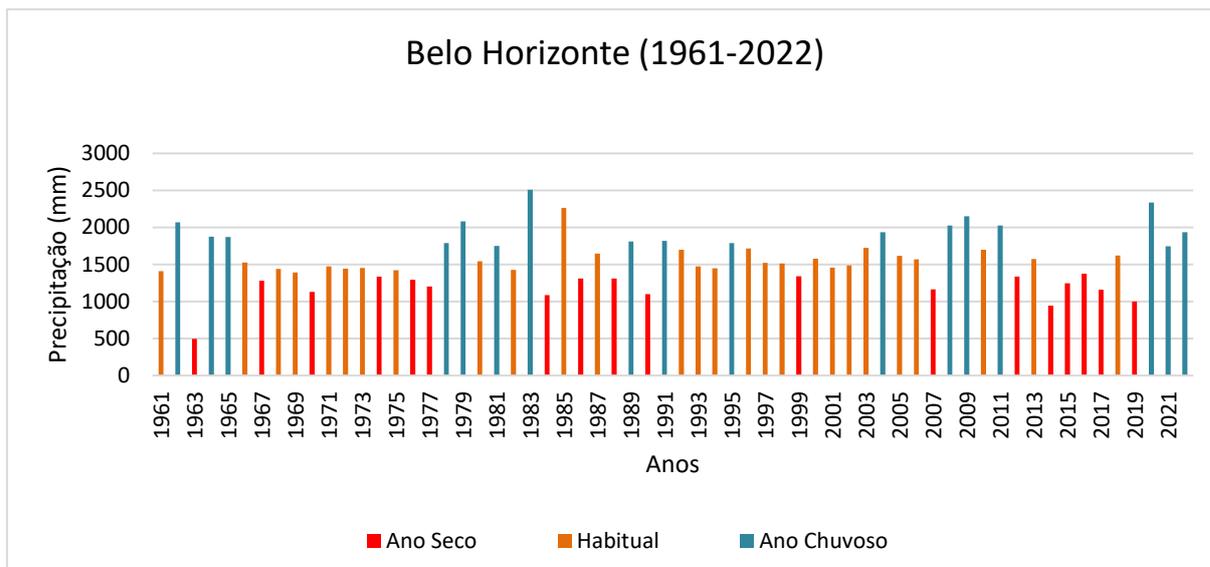


Gráfico 3: Gráfico de classificação de anos secos e chuvosos para Belo Horizonte - MG (1961-2022).
Fonte: INMET

Vale ressaltar que a interpretação de um ano normal (próximo à média), ano chuvoso e ano seco é objetiva, pois o conceito de "normal" em uma localidade pode ser considerado um desvio em outras regiões. Referindo-se a Sorre (1934), citado por Jardim (2012), a "média" (totais médios de chuva, temperatura média mensal, anual, etc.) trata-se, antes de tudo, de uma abstração matemática. A realidade climática de uma dada região ou localidade vai muito além desse tipo de consideração.

As linhas tracejadas no gráfico fornecem uma referência visual para os limiares de precipitação. A linha pontilhada vermelha indica o limite para anos secos, a linha azul para anos chuvosos e a linha verde representa o valor médio ou habitual da precipitação.

Analisando essas linhas, é possível identificar que, apesar das variações anuais, existe uma faixa de precipitação que pode ser considerada típica para a região. Os anos chuvosos e secos se destacam significativamente em relação a essa média, permitindo uma fácil identificação dos períodos anômalos.

4.2. Análise exploratória da Precipitação em Belo Horizonte

As chuvas em Belo Horizonte têm uma origem bem complexa. De acordo com Nimer (1989), Vianello e Alves (1991), Dias e Marengo (2002), e Jardim (2012), elas são resultado da interação de vários fenômenos atmosféricos. Os principais fatores que influenciam as chuvas são os sistemas frontais, como a Frente Polar Atlântica, as linhas de instabilidade e os sistemas convectivos causados pela massa equatorial continental, além do aquecimento intenso das massas de ar, que promove atividade convectiva.

Durante a primavera e, especialmente, no verão, é comum a formação da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que trazem dias consecutivos de chuva. O relevo de Minas Gerais também desempenha um papel importante, reforçando as instabilidades climáticas através do efeito orográfico.

Observamos uma clara sazonalidade na distribuição das chuvas, concentrando-se nos meses de verão, enquanto o inverno tende a ser seco. Essa dinâmica é típica das regiões de clima tropical. Dados históricos revelam que 1963 foi um ano particularmente seco na região Centro-Sul do Brasil, conforme mostrado no (Quadro 2) e confirmado por Ribeiro (1984). Mesmo com um episódio fraco de El Niño, esse ano ficou abaixo da média das Normais Climatológicas de 1961-1990.

Quadro 2: Totais (mensais/anuais) de precipitação em Belo Horizonte. Fonte: BD. Inmet

Ano	Meses												Média Geral
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1961	636,6	237,5	192,7	45,6	11,5	2,5	7,8	0	0	32,6	132	110,7	1409,5
1962	630	279,4	97,7	56,3	16,9	11,7	0,7	2,3	45,1	189,3	217,1	521,4	2067,9
1963	61,3	209,7	7	6	0	0	0	0,6	0	36	90,1	86,6	497,3
1964	476,7	289,1	60,4	34,3	35,9	13	54,8	2,6	1,1	267,6	250,9	387,3	1873,7
1965	352,4	398,2	199	25,1	33,9	0,2	10,6	33,7	57	322,7	227,2	211,2	1871,2
1966	434,1	257,1	110,9	21,2	39,6	1,1	1,9	0	26,8	120,6	166,1	348,5	1527,9
1967	221,3	239,5	140	15,7	0	1	5,2	0	8,8	96,5	277,2	276,3	1281,5
1968	213,7	245,2	80,5	108,7	26,7	0	1	34	46,8	190,4	226,1	265,4	1438,5
1969	316,2	131,3	65,8	40,6	20,6	35,9	8,7	17,5	33,7	208,1	287,3	228,4	1394,1
1970	256,6	103,6	13,3	69,7	1	4,2	15,5	29	58,4	194,6	181,4	201,7	1129
1971	85	134,5	177,3	55,7	28,5	68,5	0,4	0,2	59,6	138,8	386,2	341,7	1476,4
1972	60,4	140,8	178,2	72	12	0	44,1	5,8	61,6	160,5	337,2	372,2	1444,8
1973	146,1	89,6	356,5	34,6	21,6	23,7	0,2	0	38,9	139,2	348,6	252,1	1451,1
1974	198,7	52,5	241,5	98,6	10,5	8	0	7,5	0	207,4	84,8	425,9	1335,4
1975	213	259,4	54,9	68,5	50,4	10,3	47,8	20	7,8	126,4	452,2	114,1	1424,8
1976	52,2	152,3	80,7	5,2	21,3	4,6	47,1	30,8	126	189	296,3	286,6	1292,1
1977	500,8	11,9	176,2	75,6	11,1	4,3	2,8	0,7	68,6	33,9	173,8	143,8	1203,5
1978	207,9	487,3	108,3	98,7	79,4	0	54,9	0,6	9,4	166,1	254,3	322,5	1789,4
1979	378,3	528,8	243,1	97,9	71,9	0	28,8	25,2	30,7	42,2	260,9	376,2	2084
1980	423,4	69,5	12,7	223,1	0,2	29,8	0	5,5	19,2	48,3	274,1	436,6	1542,4
1981	323,3	49,6	196,6	85,8	7	53,6	0	31,4	1	151,6	528,9	323	1751,8
1982	393,5	52	375,1	24,5	36	31	3,6	8,6	23,8	54,1	80,4	343,2	1425,8
1983	626,1	228,5	366,7	134,4	61,3	5,5	37,3	1,4	105,2	160,3	371,8	411,3	2509,8
1984	62,9	4	113,3	41	8	0	6,4	54,8	72	41,8	203,4	480,6	1088,2
1985	850,3	233,3	412	45,8	42,9	6,2	0	1,6	38,7	60,5	265,5	308,5	2265,3
1986	284,1	98,2	79,2	60,5	68,7	6,4	29	35,7	11,1	3,2	180,2	453,4	1309,7
1987	218,9	72,2	219,8	93	39,4	55	4,8	1,4	72,5	50,9	175,2	644,4	1647,5
1988	246,2	297,7	169,4	96,3	29,6	1,8	0	0	68	63,9	105,2	234,2	1312,3
1989	153,9	298,6	230	5,2	3	43,6	37,4	26,5	77,4	162,9	307,6	465,7	1811,8
1990	88,6	202,5	136,9	61,7	49,7	0,5	15,4	74,6	37,4	49,1	182,7	198,3	1097,4
1991	651,2	242,8	201,8	82,2	18,8	0	0	0	54,7	108,2	179	279,9	1818,6
1992	503	176,7	62,7	72,6	21,4	0	16	20,3	93,7	86,8	219,8	425,5	1698,5
1993	199,9	217,9	103,4	174	3	21,4	0	6,4	66,5	128,9	193,9	358,5	1473,8
1994	354,2	96,2	384,6	68,7	45,4	7,9	0	0	3,4	46,4	190,4	252,8	1450
1995	89,6	235,1	302,9	55,4	34,7	5,9	0	0	59,2	275	185,5	547,7	1791
1996	205,4	205	295,2	112,4	20	3	0	21,7	70,4	65,6	370,2	346,4	1715,3
1997	510,5	159,5	153,4	111,5	41,9	30,4	2	2	61,8	100,8	137,9	210,6	1522,3
1998	339,6	226,3	68,7	37,2	78,2	3	0	43,2	39,4	105,6	338,4	231,9	1511,5
1999	237,3	94,7	246,4	56,7	4	2,4	0	0	43,8	84	279,3	294,1	1342,7
2000	469,5	194	131,4	55,1	1,5	0	2,8	18,5	49,4	69,8	268	316,4	1576,4
2001	165,9	64,7	138,9	19,2	46,9	0	10,9	42,5	56,5	162,4	329,9	421,4	1459,2
2002	285,5	303,7	72	53,1	13,4	0	5	2	80,5	32,5	245,5	395,3	1488,5
2003	781,6	182,9	178,7	26,2	20,2	0	0	10,4	12,1	22	212,1	277,3	1723,5
2004	502,9	363,9	105,6	184,9	20,5	17,7	40	0	0	44,3	157,2	499,8	1936,8
2005	241	158,3	253,7	38,6	36	23,3	6,5	4,9	127,2	42,9	292,7	393	1618,1
2006	144,2	132,6	265	54,8	45,7	5,8	3,2	21,6	89,2	123,4	343,6	338,8	1567,9
2007	350,9	171,3	79,8	98	7	0	5,9	0	1,7	104	132,4	212,2	1163,2
2008	305,5	208,6	346,5	144	0,5	2,1	0	47,1	99,7	53,2	216,2	601,3	2024,7
2009	313,4	215,8	273,2	41,6	20,4	38,6	0,2	23,1	103,1	344,3	213,7	564,1	2151,5
2010	291,5	71	247,9	85,1	26,8	0,8	0	0	71	216,6	396,6	293,2	1700,5
2011	317,9	66,6	334,5	98,7	5	14,6	0	0	1,4	178,8	288,7	720	2026,2
2012	407,5	34,3	196,4	111,3	61,1	17	0	0	22,8	32,1	310	143	1335,5
2013	426,8	75,4	127,9	99,4	46,7	23,1	0	0	32,8	137,7	108,2	495	1573
2014	103,9	22,9	73,7	235,8	18,5	13,1	48,1	3,3	1,8	69,4	215,5	138,1	944,1
2015	103,8	263,8	237,2	78,7	96,7	5	12,4	0	43,5	67,5	184,3	152,3	1245,2
2016	328,9	175,7	113,1	26,2	0	75,3	0	0,4	65,4	70,7	273	244,6	1373,3
2017	107	142,6	106,5	51,6	20,8	19,8	0,5	0	46,6	148,2	185,6	330	1159,2
2018	166,5	213,1	391,3	13,4	19	0	3,1	39,7	44,4	187,1	260,6	282,8	1621
2019	88,6	223	135,9	84,5	43,2	12,1	0	0,1	21,1	71,1	189,8	129,3	998,7
2020	934,7	391,8	296,8	97,5	26,1	0,8	5,3	11,5	11,6	123	160,6	278,1	2337,8
2021	309,9	431,9	113,1	6,1	5,6	21,3	0	8,2	14,9	225,9	235,3	373	1745,2
2022	528,2	368,9	9	43,9	57,3	0	0	4	35,1	190,6	269,6	427,8	1934,4
Média Geral	32,165	196,47	179,39	72,45	28,60	12,90	10,30	12,83	44,78	121,76	244,40	336,82	1586,59

Utilizando-se o quadro 2, porém, empregando um outro critério para classificar quantitativamente dados de uma série histórica de chuvas através do pluviograma de Schroder, a avaliação da distribuição temporal das chuvas em Belo Horizonte foi feita através da comparação vertical das barras horizontais. Essas barras representam os montantes anuais de precipitação ao longo dos 61 anos analisados na tabela abaixo (Quadro 3).

A paleta de cores empregada indica, nas extremidades, a cor azul escura e clara representando os maiores totais pluviométricos. Isso se deve ao fato de o período chuvoso estar iniciando, chegando ao seu ápice e diminuindo no final. O contrário ocorre no meio do quadro 3, onde as cores em vermelho e rosa indicam que, no período de seca, correspondente à metade do ano (entre abril e setembro), os acumulados mensais são menores, como esperado para a estiagem. É notório que a cor branca demarca a transição das chuvas.

A variação na intensidade das barras oferece uma visão clara da variabilidade interanual das precipitações (NASCIMENTO et al., 2019). Considerando os dados da estação meteorológica de Belo Horizonte (5^o DISMET) como estudo de caso, é importante ressaltar o menor total registrado em 1963, que foi de 497,3 mm, e o máximo valor registrado em 1983, que alcançou 2.509,8 mm. Esses números revelam uma diferença de 2.012,5 mm entre o ano mais chuvoso e o mais seco, dentro do estudo das Normais Climatológicas (1961-1990)¹⁴(INMET,2009).

¹⁴ <https://portal.inmet.gov.br/normais>

Quadro 3: Totais (mensais/ anuais) de precipitação em Belo Horizonte, utilizando o pluviograma de Schroder. Fonte: BD. Inmet

Ano	Meses												Total Anual
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1961	636,60	237,50	192,70	45,60	11,50	2,50	7,80	0,00	0,00	32,60	132,00	110,70	1409,5
1962	630,00	279,40	97,70	56,30	16,90	11,70	0,70	2,30	45,10	189,30	217,10	521,40	2067,9
1963	61,30	209,70	7,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	36,00	90,10	86,60	497,3
1964	476,70	289,10	60,40	34,30	35,90	13,00	54,80	2,60	1,10	267,60	250,90	387,30	1873,7
1965	352,40	398,20	199,00	25,10	33,90	0,20	10,60	33,70	57,00	322,70	227,20	211,20	1871,2
1966	434,10	257,10	110,90	21,20	39,60	1,10	1,90	0,00	26,80	120,60	166,10	348,50	1527,9
1967	221,30	239,50	140,00	15,70	0,00	1,00	5,20	0,00	8,80	96,50	277,20	276,30	1281,5
1968	213,70	245,20	80,50	108,70	26,70	0,00	1,00	34,00	46,80	190,40	226,10	265,40	1438,5
1969	316,20	131,30	65,80	40,60	20,60	35,90	8,70	17,50	33,70	208,10	287,30	228,40	1394,1
1970	256,60	103,60	13,30	69,70	1,00	4,20	15,50	29,00	58,40	194,60	181,40	201,70	1129
1971	85,00	134,50	177,30	55,70	28,50	68,50	0,40	0,20	59,60	138,80	386,20	341,70	1476,4
1972	60,40	140,80	178,20	72,00	12,00	0,00	44,10	5,80	61,60	160,50	337,20	372,20	1444,8
1973	146,10	89,60	356,50	34,60	21,60	23,70	0,20	0,00	38,90	139,20	348,60	252,10	1451,1
1974	198,70	52,50	241,50	98,60	10,50	8,00	0,00	7,50	0,00	207,40	84,80	425,90	1335,4
1975	213,00	259,40	54,90	68,50	50,40	10,30	47,80	20,00	7,80	126,40	452,20	114,10	1424,8
1976	52,20	152,30	80,70	5,20	21,30	4,60	47,10	30,80	126,00	189,00	296,30	286,60	1292,1
1977	500,80	11,90	176,20	75,60	11,10	4,30	2,80	0,70	68,60	33,90	173,80	143,80	1203,5
1978	207,90	487,30	108,30	98,70	79,40	0,00	54,90	0,60	9,40	166,10	254,30	322,50	1789,4
1979	378,30	528,80	243,10	97,90	71,90	0,00	28,80	25,20	30,70	42,20	260,90	376,20	2084
1980	423,40	69,50	12,70	223,10	0,20	29,80	0,00	5,50	19,20	48,30	274,10	436,60	1542,4
1981	323,30	49,60	196,60	85,80	7,00	53,60	0,00	31,40	1,00	151,60	528,90	323,00	1751,8
1982	393,50	52,00	375,10	24,50	36,00	31,00	3,60	8,60	23,80	54,10	80,40	343,20	1425,8
1983	626,10	228,50	366,70	134,40	61,30	5,50	37,30	1,40	105,20	160,30	371,80	411,30	2509,8
1984	62,90	4,00	113,30	41,00	8,00	0,00	6,40	54,80	72,00	41,80	203,40	480,60	1088,2
1985	850,30	233,30	412,00	45,80	42,90	6,20	0,00	1,60	38,70	60,50	265,50	308,50	2265,3
1986	284,10	98,20	79,20	60,50	68,70	6,40	29,00	35,70	11,10	3,20	180,20	453,40	1309,7
1987	218,90	72,20	219,80	93,00	39,40	55,00	4,80	1,40	72,50	50,90	175,20	644,40	1647,5
1988	246,20	297,70	169,40	96,30	29,60	1,80	0,00	0,00	68,00	63,90	105,20	234,20	1312,3
1989	153,90	298,60	230,00	5,20	3,00	43,60	37,40	26,50	77,40	162,90	307,60	465,70	1811,8
1990	88,60	202,50	136,90	61,70	49,70	0,50	15,40	74,60	37,40	49,10	182,70	198,30	1097,4
1991	651,20	242,80	201,80	82,20	18,80	0,00	0,00	0,00	54,70	108,20	179,00	279,90	1818,6
1992	503,00	176,70	62,70	72,60	21,40	0,00	16,00	20,30	93,70	86,80	219,80	425,50	1698,5
1993	199,90	217,90	103,40	174,00	3,00	21,40	0,00	6,40	66,50	128,90	193,90	358,50	1473,8
1994	354,20	96,20	384,60	68,70	45,40	7,90	0,00	0,00	3,40	46,40	190,40	252,80	1450
1995	89,60	235,10	302,90	55,40	34,70	5,90	0,00	0,00	59,20	275,00	185,50	547,70	1791
1996	205,40	205,00	295,20	112,40	20,00	3,00	0,00	21,70	70,40	65,60	370,20	346,40	1715,3
1997	510,50	159,50	153,40	111,50	41,90	30,40	2,00	2,00	61,80	100,80	137,90	210,60	1522,3
1998	339,60	226,30	68,70	37,20	78,20	3,00	0,00	43,20	39,40	105,60	338,40	231,90	1511,5
1999	237,30	94,70	246,40	56,70	4,00	2,40	0,00	0,00	43,80	84,00	279,30	294,10	1342,7
2000	469,50	194,00	131,40	55,10	1,50	0,00	2,80	18,50	49,40	69,80	268,00	316,40	1576,4
2001	165,90	64,70	138,90	19,20	46,90	0,00	10,90	42,50	56,50	162,40	329,90	421,40	1459,2
2002	285,50	303,70	72,00	53,10	13,40	0,00	5,00	2,00	80,50	32,50	245,50	395,30	1488,5
2003	781,60	182,90	178,70	26,20	20,20	0,00	0,00	10,40	12,10	22,00	212,10	277,30	1723,5
2004	502,90	363,90	105,60	184,90	20,50	17,70	40,00	0,00	0,00	44,30	157,20	499,80	1936,8
2005	241,00	158,30	253,70	38,60	36,00	23,30	6,50	4,90	127,20	42,90	292,70	393,00	1618,1
2006	144,20	132,60	265,00	54,80	45,70	5,80	3,20	21,60	89,20	123,40	343,60	338,80	1567,9
2007	350,90	171,30	79,80	98,00	7,00	0,00	5,90	0,00	1,70	104,00	132,40	212,20	1163,2
2008	305,50	208,60	346,50	144,00	0,50	2,10	0,00	47,10	99,70	53,20	216,20	601,30	2024,7
2009	313,40	215,80	273,20	41,60	20,40	38,60	0,20	23,10	103,10	344,30	213,70	564,10	2151,5
2010	291,50	71,00	247,90	85,10	26,80	0,80	0,00	0,00	71,00	216,60	396,60	293,20	1700,5
2011	317,90	66,60	334,50	98,70	5,00	14,60	0,00	0,00	1,40	178,80	288,70	720,00	2026,2
2012	407,50	34,30	196,40	111,30	61,10	17,00	0,00	0,00	22,80	32,10	310,00	143,00	1335,5
2013	426,80	75,40	127,90	99,40	46,70	23,10	0,00	0,00	32,80	137,70	108,20	495,00	1573
2014	103,90	22,90	73,70	235,80	18,50	13,10	48,10	3,30	1,80	69,40	215,50	138,10	944,1
2015	103,80	263,80	237,20	78,70	96,70	5,00	12,40	0,00	43,50	67,50	184,30	152,30	1245,2
2016	328,90	175,70	113,10	26,20	0,00	75,30	0,00	0,40	65,40	70,70	273,00	244,60	1373,3
2017	107,00	142,60	106,50	51,60	20,80	19,80	0,50	0,00	46,60	148,20	185,60	330,00	1159,2
2018	166,50	213,10	391,30	13,40	19,00	0,00	3,10	39,70	44,40	187,10	260,60	282,80	1621
2019	88,60	223,00	135,90	84,50	43,20	12,10	0,00	0,10	21,10	71,10	189,80	129,30	998,7
2020	934,70	391,80	296,80	97,50	26,10	0,80	5,30	11,50	11,60	123,00	160,60	278,10	2337,8
2021	309,90	431,90	113,10	6,10	5,60	21,30	0,00	8,20	14,90	225,90	235,30	373,00	1745,2
2022	528,20	368,90	9,00	43,90	57,30	0,00	0,00	4,00	35,10	190,60	269,60	427,80	1934,4
Médias	320,63	193,30	176,50	71,29	28,14	12,69	10,13	12,63	44,05	119,80	240,45	331,39	1561,00

A análise sazonal da distribuição das chuvas revelou que o período de maior precipitação no Estado ocorre em meados do verão. Isso se deve à elevada atividade frontal resultante da intensificação das massas equatoriais e tropicais no sudeste do país durante essa época (BORSATO, 2016). Contudo, o município de Belo Horizonte, por estar situado na região central do Estado de Minas Gerais, recebe esse forte corredor de umidade, ocasionando maior precipitação.

De todo modo, é perceptível que o período chuvoso tem início no mês de outubro, embora em alguns casos possa começar em setembro (vide tabela acima), com anos em que este mês é classificado ora como de transição, ora como chuvoso (ou muito chuvoso). Este período estende-se até março, totalizando sete meses de chuvas. Por outro lado, o período de estiagem abrange seis meses (de abril a setembro), em consonância com a classificação de clima subquente-semiúmido, conforme descrito por Nimer (1979), que destaca os dois períodos distintivos do clima da região: chuvas na primavera e verão, e estiagem durante outono e inverno (4-5 meses secos).

Um ponto pertinente deste estudo é que o início do período chuvoso não se mantém ao longo dos anos, podendo ter os indícios de precipitação em setembro (1976) adiado para novembro, como tem ocorrido em todos os anos do período analisado. Entretanto, a extensão do período chuvoso é alterável durante a análise da série. Nos anos de 1980, 1993, 1990, 2004 e 2014, as chuvas se estenderam até abril.

O uso do pluviograma de Schroder possibilita a representação dos meses mais secos e úmidos a cada ano. O período de maior precipitação ocorre, principalmente, em dezembro e janeiro, que marcam o final da primavera e o início do verão, com acumulações mensais significativas acima dos 500 mm, como registradas em janeiro de 1983, 1985, 1991, 2003 e 2020. No entanto, menores precipitações podem ser verificadas nesse mês, como em 1963, 1971, 1972, 1984, 1990, 1995, 2014, 2015 e 2019. Além disso, os meses com precipitação acima da média também podem ser observados em fevereiro e março.

Por outro lado, os meses mais secos do ano geralmente ocorrem entre maio, junho, julho e agosto (final do outono e inverno, respectivamente). Embora possam não ocorrer chuvas neste período, a possibilidade de precipitação não é descartada.

É interessante notar que o período mais seco pode se estender por até dois meses consecutivos sem chuva, como observado em 1963, 1988, 1991, 1994, 1995, 2003, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2022. Há também a possibilidade de essa condição persistir até setembro, resultando em uma estiagem prolongada.

Ao examinar a distribuição temporal das chuvas no município de Belo Horizonte de 1961 a 2022, considerando a variação dos totais anuais e a duração dos períodos chuvoso e de estiagem ao longo dos anos, o pluviograma de Schroder emerge como uma ferramenta fundamental para compreender o padrão e a recorrência das precipitações em vários anos consecutivos.

Outro ano que merece destaque é 1982/1983, quando houve picos positivos de ODP (Gráfico 4). As chuvas registradas em 1983 foram acima da média. Todavia, o CPTEC¹⁵ enfatiza que os eventos de El Niño e La Niña não costumam exercer uma influência direta e significativa na região sudeste do Brasil. No entanto, como apontado por Jardim et al. (2017), o estado de Minas Gerais, por estar localizado em uma região climática transitória, encontra-se sob influência tanto das zonas de bloqueio de alta pressão, localizadas nas regiões norte e nordeste, quanto das bandas de baixa pressão associadas às frentes frias estacionárias na região sul (efeito do evento de El Niño).

¹⁵ http://enos.cptec.inpe.br/el_nino/pt. Acessado em: fevereiro de 2024.

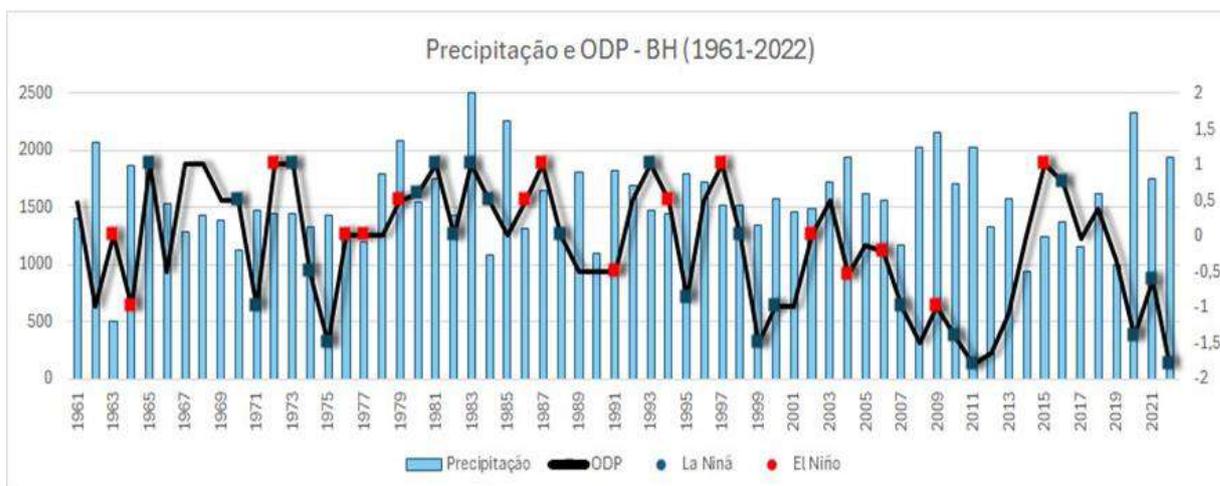


Gráfico 4: Demonstrativo de ODP em relação a precipitação - BH (1961-2022). Fonte: Earth System Research Laboratories/INMET

Portanto, presume-se que a localidade estudada possa ser afetada por ambos os sistemas, com Belo Horizonte estando sob maior influência das bandas de baixa pressão, conforme descrito pelos autores acima.

4.4 Métodos Estatístico para Precipitação

Os métodos para estabelecer anos de padrão foram aplicados aos dados médios anuais de precipitação total anual (mm) de Belo Horizonte (MG), durante o intervalo de 1961 a 2022, coletados na Estação Meteorológica de Belo Horizonte (5º DISMET). A análise estatística descritiva foi conduzida para esses dados, abrangendo medidas de posição, como média e mediana, e medidas de dispersão, como coeficiente de variação, desvio-padrão, além dos valores máximos e mínimos observados.

Para determinar os anos secos, chuvosos e habituais, conforme descrito por Santos et al. (2017), utilizou-se o desvio padrão adicionado ao valor médio da precipitação do período para definir o limiar dos "anos chuvosos". Da mesma forma, subtraindo o desvio padrão da média, estabeleceu-se o limiar dos "anos secos". Os anos "habituais" situam-se entre esses dois limiares, aproximando-se das médias.

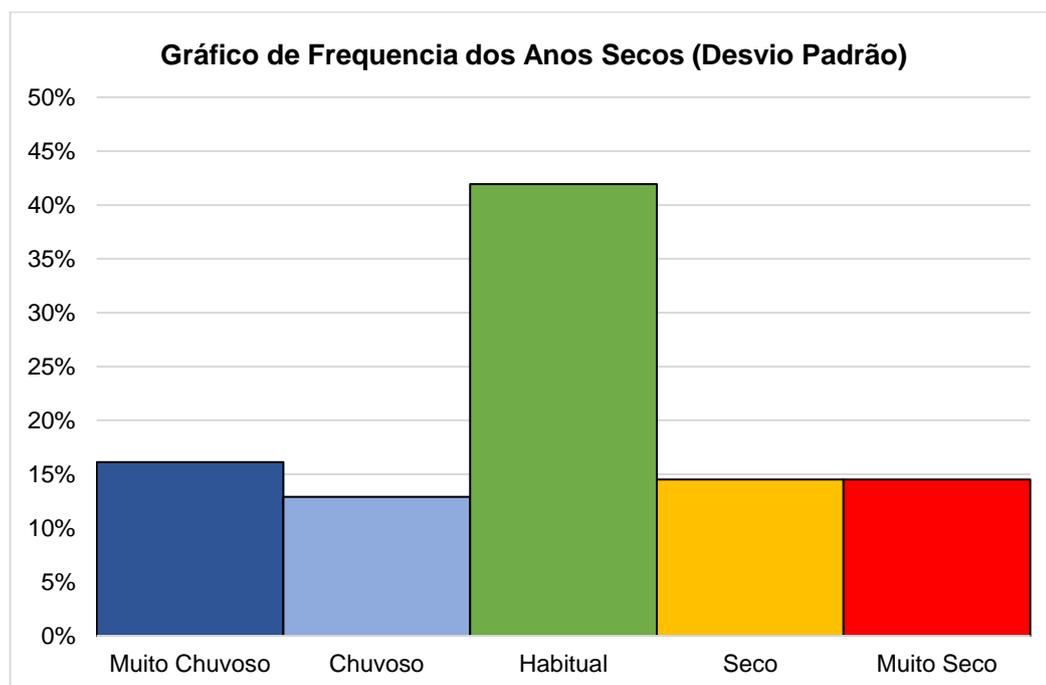
Partindo dessa premissa, a análise do formato da distribuição estatística do conjunto de dados revelou a classificação dos anos em categorias distintas, nomeadamente "Muito Chuvoso", "Chuvoso", "Habitual", "Seco" e "Muito Seco", cada uma destacada por cores específicas.

Para tal, foram identificados 10 anos como "Muito Chuvosos" (1962, 1979, 1983, 1985, 2004, 2008, 2009, 2011, 2020 e 2022), representados em azul escuro; 8 anos como "Chuvosos" (1964, 1965, 1978, 1981, 1989, 1991, 1995 e 2021), indicados em azul claro; 26 anos como "Habitual" (1966, 1968, 1969, 1971, 1972, 1973, 1975, 1980, 1982, 1987, 1991, 1992, 1993, 1994, 1997, 1998, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2010, 2013 e 2018), marcados em verde claro; 9 anos como "Secos" (1967, 1974, 1976, 1986, 1988, 1999, 2012, 2015 e 2016), destacados em amarelo; e finalmente, outros 9 anos como "Muito Secos" (1963, 1970, 1977, 1984, 1990, 2007, 2014, 2017 e 2019), identificados em vermelho.

Com base nos dados apresentados na tabela acima, foi gerado o Gráfico 5, que representa a frequência de ocorrência de cada classe de anos secos com base no desvio padrão. A partir dessa análise, concluiu-se que os anos classificados como

"Habituais" representam 42% do total, enquanto os anos classificados como "Muito Chuvosos" compreendem 16%, os "Chuvosos" 13%, os "Secos" 15%, e os "Muito Secos" também cerca de 15%, totalizando 100%.

Gráfico 5: Gráfico de Frequencia dos anos secos (Desvio Padrão). Fonte: BD INMET.



Destaca-se, portanto, a frequência de anos "habituais" no período analisado, a qual é enfatizada pela técnica de desvio padrão, conferindo-lhe maior importância, uma vez que seus valores se aproximam da média. Ao utilizar essa técnica estatística, observa-se uma homogeneidade nos dados, respeitando a distribuição deles sem forçar sua descontinuidade.

- **Muito Chuvoso (maior que 1916,4 mm):** Períodos com precipitação superior a 1916,4 mm são considerados muito chuvosos. Durante esses períodos, é comum observar inundações, encharcamento do solo e outros problemas relacionados ao excesso de precipitação.
- **Chuvoso (maior ou igual a 1738,7mm):** Valores de precipitação acima de 1738,7mm indicam um ano chuvoso. Embora não tão extremo quanto o

anterior, ainda é um período caracterizado por precipitações frequentes e significativas que podem beneficiar a agricultura e o abastecimento de água.

- **Habitual (1561,0 mm):** Com uma quantidade de precipitação de 1561,0 mm, encontra-se dentro da faixa habitual. Este é um nível de precipitação considerado típico para a região em estudo, e geralmente proporciona condições estáveis para atividades humanas e ecossistemas locais.
- **Seco (menor ou igual a 1383,3 mm):** Quando a precipitação fica abaixo de 1383,3 mm, inicia-se um período seco. Isso pode resultar em escassez de água, diminuição da produção agrícola e aumento do risco de incêndios florestais.
- **Muito Seco (abaixo de 1205,6 mm):** Com precipitação inferior a 1205,6 mm, enfrenta-se condições muito secas. Durante esses períodos, pode haver graves impactos na disponibilidade de água, impactando atividades humanas.

Com o intuito de compreender a variação temporal da pluviosidade na estação do DISMET-BH, foi elaborado um (quadro 9) que resume as categorias de anos-padrão, utilizando estatísticas de dispersão dos dados, especificamente o desvio padrão. Esse quadro demonstra o desvio em relação à média das precipitações no município de Belo Horizonte durante o período de 1961 a 2022.

Quadro 5: Dados anuais de Precipitação (PREC) e DESVIO-PADRÃO pela Média. Fonte: BD. INMET

ANO	PREC.	Des.p/Med	DESVIO. PAD	ANO	PREC.	Des.p/Med	DESVIO. PAD
1961	1409,5	-151,5	Habitual	1992	1698,5	137,5	Habitual
1962	2067,9	506,9	Muito Chuvoso	1993	1473,8	-87,2	Habitual
1963	497,3	-1063,7	Muito Seco	1994	1450	-111	Habitual
1964	1873,7	312,7	Chuvoso	1995	1791	230	Chuvoso
1965	1871,2	310,2	Chuvoso	1996	1715,3	154,3	Habitual
1966	1527,9	-33,1	Habitual	1997	1522,3	-38,7	Habitual
1967	1281,5	-279,5	Seco	1998	1511,5	-49,5	Habitual
1968	1438,5	-122,5	Habitual	1999	1342,7	-218,3	Seco
1969	1394,1	-166,9	Habitual	2000	1576,4	15,4	Habitual
1970	1129	-432	Muito Seco	2001	1459,2	-101,8	Habitual
1971	1476,4	-84,6	Habitual	2002	1488,5	-72,5	Habitual
1972	1444,8	-116,2	Habitual	2003	1723,5	162,5	Habitual
1973	1451,1	-109,9	Habitual	2004	1936,8	375,8	Muito Chuvoso
1974	1335,4	-225,6	Seco	2005	1618,1	57,1	Habitual
1975	1424,8	-136,2	Habitual	2006	1567,9	6,9	Habitual
1976	1292,1	-268,9	Seco	2007	1163,2	-397,8	Muito Seco
1977	1203,5	-357,5	Muito Seco	2008	2024,7	463,7	Muito Chuvoso
1978	1789,4	228,4	Chuvoso	2009	2151,5	590,5	Muito Chuvoso
1979	2084	523	Muito Chuvoso	2010	1700,5	139,5	Habitual
1980	1542,4	-18,6	Habitual	2011	2026,2	465,2	Muito Chuvoso
1981	1751,8	190,8	Chuvoso	2012	1335,5	-225,5	Seco
1982	1425,8	-135,2	Habitual	2013	1573	12	Habitual
1983	2509,8	948,8	Muito Chuvoso	2014	944,1	-616,9	Muito Seco
1984	1088,2	-472,8	Muito Seco	2015	1245,2	-315,8	Seco
1985	2265,3	704,3	Muito Chuvoso	2016	1373,3	-187,7	Seco
1986	1309,7	-251,3	Seco	2017	1159,2	-401,8	Muito Seco
1987	1647,5	86,5	Habitual	2018	1621	60	Habitual
1988	1312,3	-248,7	Seco	2019	998,7	-562,3	Muito Seco
1989	1811,8	250,8	Chuvoso	2020	2337,8	776,8	Muito Chuvoso
1990	1097,4	-463,6	Muito Seco	2021	1745,2	184,2	Chuvoso
1991	1818,6	257,6	Chuvoso	2022	1934,4	373,4	Muito Chuvoso

No Gráfico 6, observa-se o desvio padrão em relação à média das chuvas, o que indica a variação dos valores anuais de precipitação em relação à média histórica. Nesse contexto, pode-se observar o comportamento da precipitação do município de Belo Horizonte durante os últimos 60 anos.

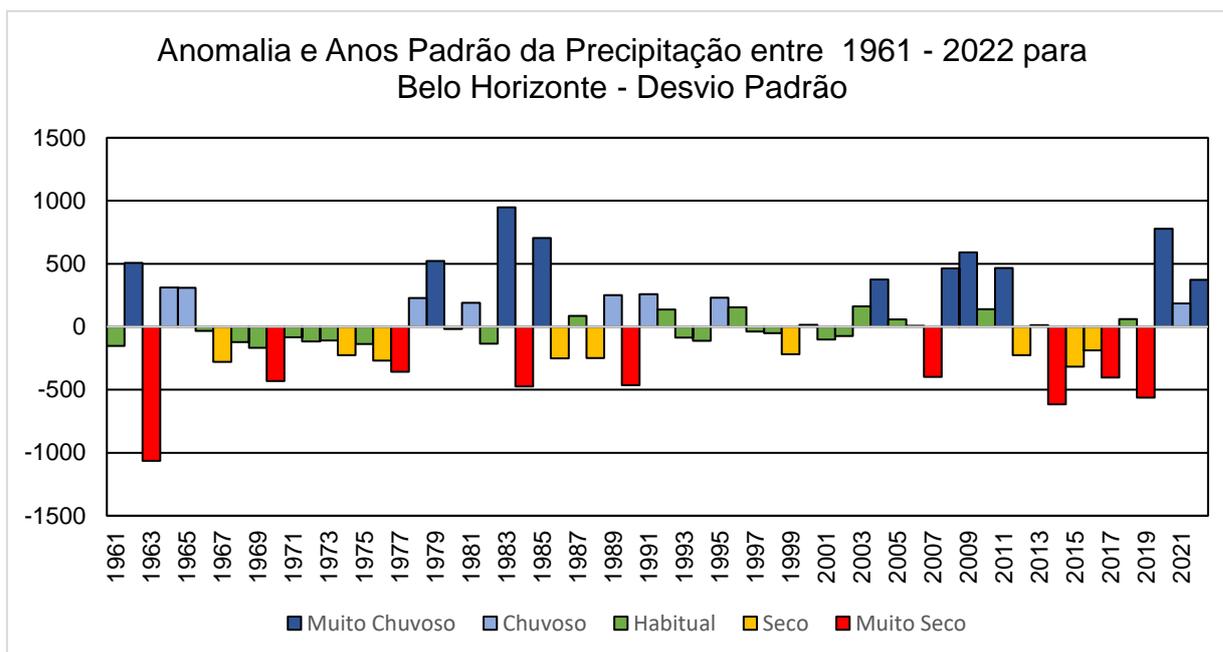


Gráfico 6: Gráfico de anomalia de precipitação de Belo Horizonte. Fonte: 5º DISMET.

A variação nos totais pluviométricos acumulados, conforme apresentado no Gráfico 6, mostra que, ao longo dos anos, houve significativa oscilação do índice padronizado, com picos de valor positivo e negativo, predominando, no entanto, a normal climatológica (habitual). Pode-se afirmar que, exceto por cinco picos ligeiros de anomalia pluviométrica positiva (1979, 1983, 1985, 2009, 2020) e três de negativa mais pronunciados (1963, 2014 e 2019) – representando desvios padrão/média acima de 500 mm e abaixo de -500 mm – o restante do período analisado esboçou ligeiras oscilações dentro do intervalo de 500 mm e -500 mm, classificados como "Chuvosos" e "Secos", respectivamente, com predominância para os anos habituais.

Com relação aos três picos de anomalia positiva, o mais expressivo refere-se ao curto intervalo anual de 1983 e 1985, quando o desvio atingiu 948,8 mm e 704,3 mm, respectivamente - a maior anomalia para o período de extrema umidade (Muito Chuvoso). Todavia, a série histórica do município de Belo Horizonte somente voltou a atingir esses estágios de extrema umidade em 2009 (590,5 mm) e 2020 (776,8 mm).

Observa-se uma anomalia negativa significativa no ano de 1963, com valores alcançando -1.063,7mm, um registro nunca atingido desde o início da série histórica.

Nem mesmo nos anos de 2014 e 2019, com valores de -616,9mm e -562,3mm, respectivamente, registrou-se uma variação negativa tão acentuada. Ambos os valores negativos alcançaram a categoria de Muito Secos. Conforme apontado por Monteiro (1991), as características caóticas dos mecanismos dinâmicos dos sistemas climáticos exercem influência nas configurações dos padrões climáticos locais, impactando diretamente na variabilidade das chuvas e, conseqüentemente, nos volumes pluviométricos ao longo do tempo e em diferentes regiões.

O gráfico de "Anos Padrão" para as precipitações do município em questão representa a classificação em anos normais, secos e úmidos, permitindo observar padrões de variação ao longo do tempo. Por exemplo, períodos secos podem ser identificados por barras mais baixas que a média, enquanto períodos úmidos são indicados por barras mais altas. Isso nos permite visualizar com mais clareza como a precipitação varia em relação à média ao longo do tempo e identificar tendências de longo prazo (MOURA et al., 2023).

Com base na observação de um maior número de anos com chuvas habituais e chuvosos nas últimas duas décadas, percebe-se uma tendência negativa nos volumes de precipitação nesse período. A avaliação mostra que, a partir de 2009, houve um ponto de desvio, alterando significativamente as médias anuais e predominando anomalias negativas de precipitação, conforme ilustrado no gráfico. Desde 2009, foram observados três anos secos, três habituais, três muito chuvosos e três muito secos.

É evidente que o padrão de chuvas em Belo Horizonte apresenta desvios significativos, mesmo durante anos com ocorrência de eventos ENOS muito fortes e/ou fracos. Conforme destacado por Silva e Jardim (2019), essa variabilidade está diretamente relacionada à sequência e à extensão espacial dos sistemas atmosféricos em ação, sendo um reflexo do fator dinâmico.

4.5 Diagnóstico dos eventos de secas - ANO: 2014.

Neste subcapítulo, será realizada uma análise detalhada dos eventos de seca ocorridos em 2014, um ano que se destacou como atípico, conforme evidenciado nos capítulos anteriores. Para o município de Belo Horizonte, 2014 foi um ano particularmente seco, algo incomum para a climatologia local. Exploraremos as causas, características e impactos dessa seca, utilizando dados da estação do 5º DISMET e estudos relevantes. Ademais, será contextualizada a ocorrência desses eventos, discutindo-se as implicações para a gestão de recursos naturais e a adaptação a episódios climáticos extremos.

Diversos fatores podem contribuir para a ocorrência e intensificação de eventos de secas. No caso específico do ano de 2014, padrões climáticos anômalos, como o fenômeno El Niño, e mudanças nas circulações atmosféricas globais desempenharam um papel importante na configuração desses eventos.

O gráfico 7 mostra o primeiro episódio de estiagem (veranico) em plena estação chuvosa no mês de janeiro de 2014, principalmente na primeira quinzena de janeiro. O segundo evento de veranico ocorreu após cinco dias seguidos de chuvas, a partir do dia 24 de janeiro até o último dia do mês, mantendo essa configuração sem precipitação até o último dia do mês. O boletim da revista CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014) destacou que esse evento está associado à presença do bloqueio atmosférico que refletiu na ausência de episódios bem configurados de ZCAS, com déficit pluviométrico que atingiu toda a Região Sudeste do Brasil, e em particular o interior de Minas Gerais e o norte de São Paulo, onde as anomalias negativas de precipitação excederam 150 mm mensais. Em Belo Horizonte houve 103,7 mm de precipitação, volume abaixo da climatologia mensal de 274,1 mm.

O déficit pluviométrico foi ainda mais acentuado na Região Sudeste, que se encontra no seu período chuvoso. As anomalias negativas excederam 100 mm em parte de São Paulo e no centro-sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro durante todo o mês de fevereiro, e, não muito diferente, em Belo Horizonte houve 22,9 mm de precipitação, registrando uma expressiva configuração de precipitação no dia dezenove (gráfico 8).

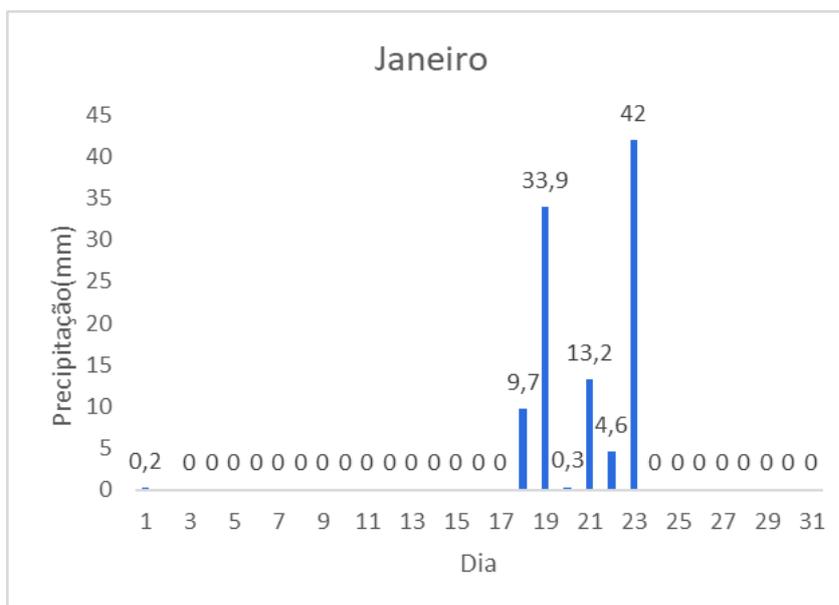


Gráfico 7: Precipitação em mm de janeiro de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

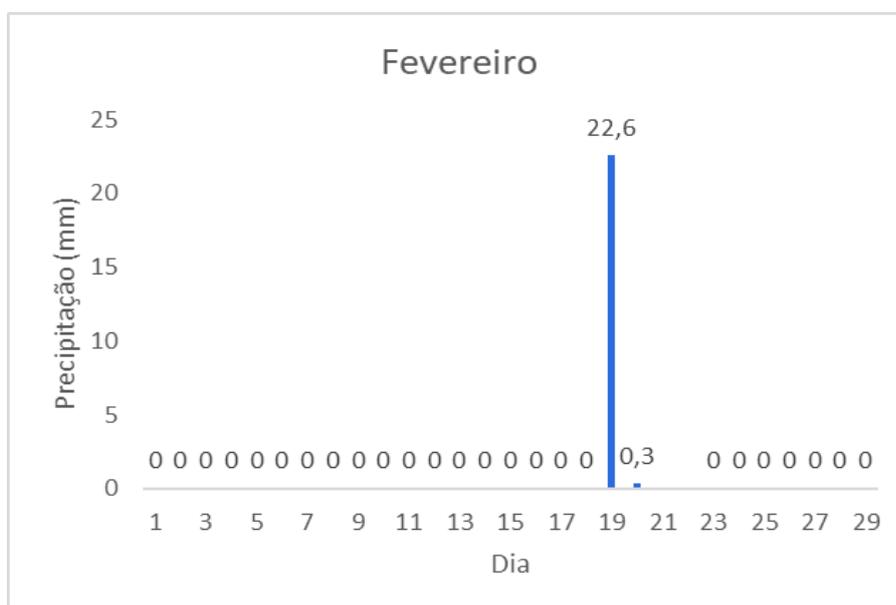


Gráfico 8: Precipitação em mm de fevereiro de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

Segundo o boletim da revista CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014), a ausência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) também contribuiu para o déficit pluviométrico na maior parte da Região Sudeste. Em comparação aos últimos dois meses do primeiro trimestre de 2014, os volumes de chuvas não foram

expressivos para a cidade de Belo Horizonte. Registrando totais diários de precipitação e um acúmulo mensal de 73,7 mm (gráfico 9), março foi um mês de chuvas um pouco mais distribuídas. O período de veranico foi particularmente intenso e persistente durante os meses de janeiro e fevereiro, caracterizado pela perda significativa de água absorvida pelo solo em dezembro devido à evaporação subsequente.

Essa combinação de fatores culminou na crise hídrica observada durante o segundo semestre de 2014 CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014), encerrando o primeiro trimestre deste ano abaixo da média climatológica (200,5 mm).

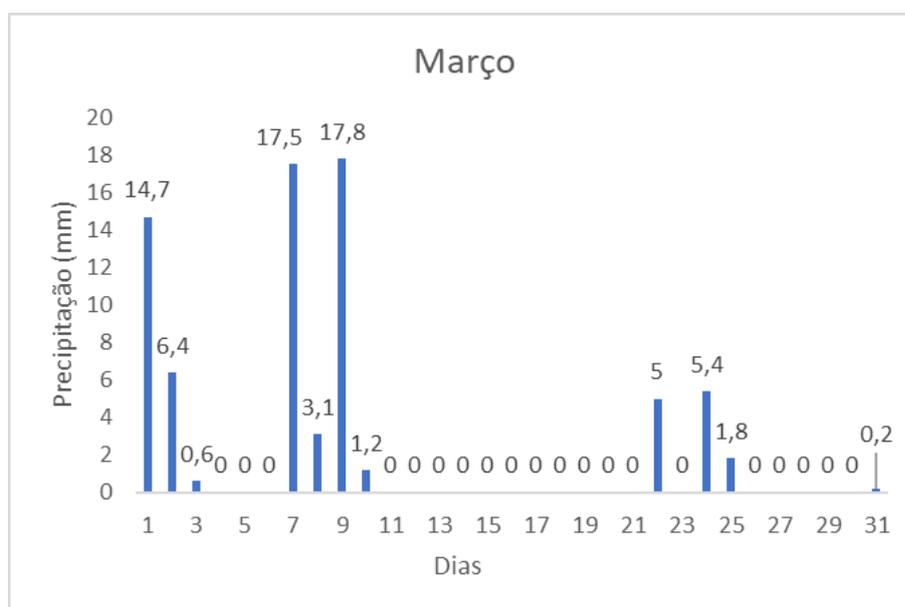


Gráfico 9: Precipitação em mm de março de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

Em abril, houve uma considerável variação na distribuição espacial das anomalias de precipitação pelo Brasil, CLIMANÁLISE (INPE, 2014, p. 10). Nos primeiros quinze dias do mês, a continuidade do fluxo típico dos meses de verão resultou em chuvas acima da média na região Sudeste, incluindo o município de Belo Horizonte (Gráfico 10), o que ajudou a aliviar a condição prolongada de estiagem. O mês de abril de 2014 para a área de estudo ficou acima do esperado para acima da

média histórica das Normais Climatológicas entre 1991 e 2020 (82,3 mm), atingindo um patamar de 235,80 mm.

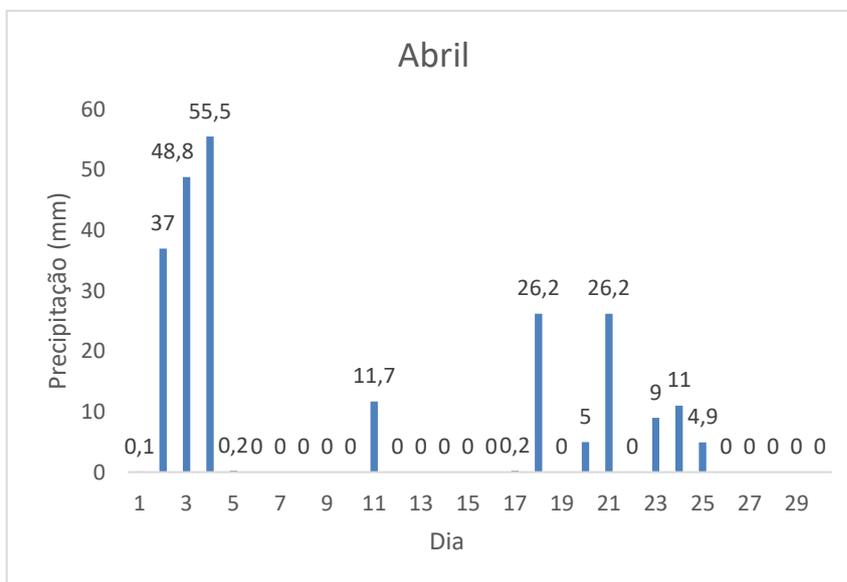


Gráfico 10: Precipitação em mm de abril de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

A seguir, um compilado de análises do período seco do município de Belo Horizonte (gráfico 11 e 12). Como esperado neste período do ano, choveu pouco na maior parte da Região Sudeste. De modo geral, os acumulados mensais de precipitação são inferiores a 50 mm, CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014) e CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014)

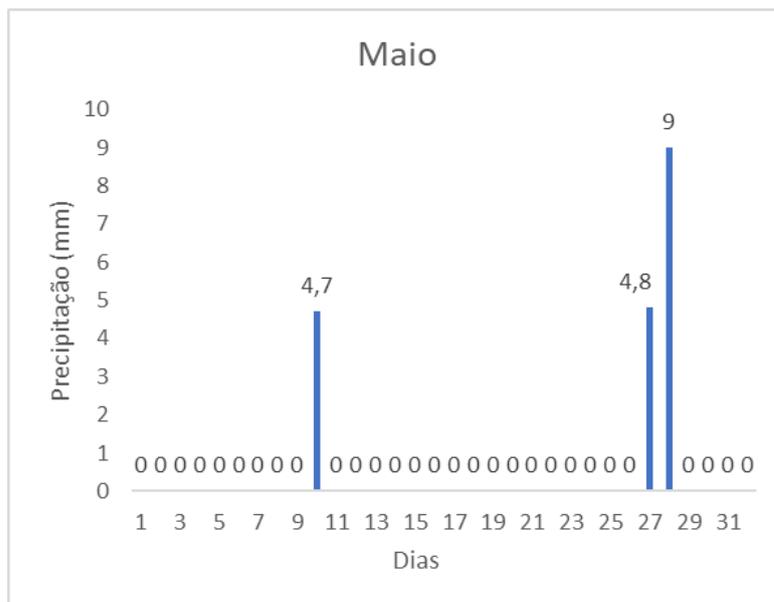


Gráfico 11: Precipitação em mm de maio de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

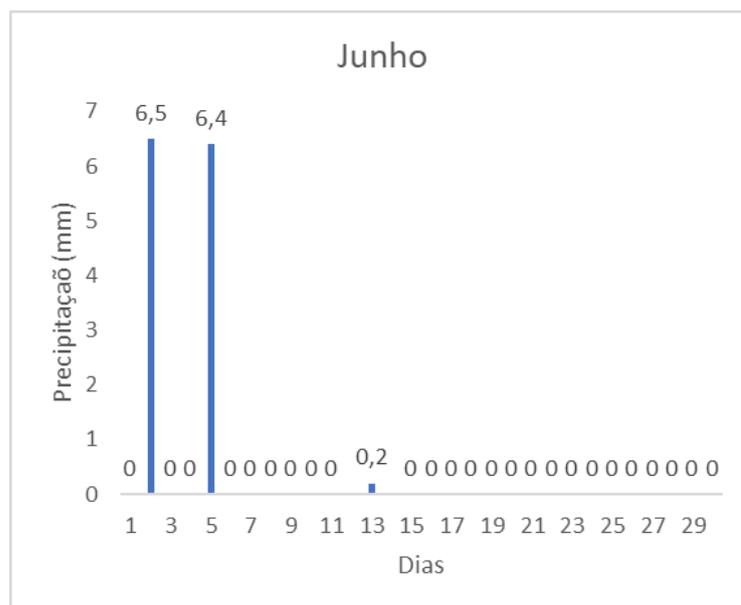


Gráfico 12: Precipitação em mm de junho de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

Durante este período do ano, a maior parte do interior da Região Sudeste é geralmente caracterizada pela estiagem CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014). No entanto, apesar de os totais mensais frequentemente permanecerem abaixo de 50 mm, observou-se uma tendência de chuvas próximas ou acima da média histórica em grande parte de Minas Gerais, como mencionado na CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014).

Isso pode ser confirmado ao analisar o (gráfico 13) do mês de julho, quando a atuação de um sistema frontal e a presença de uma massa polar provocaram quedas nas temperaturas e aumentos nos acumulados de precipitação. Nesse mês, a precipitação alcançou 48,10 mm, superando a média histórica esperada de apenas 5,4 mm.

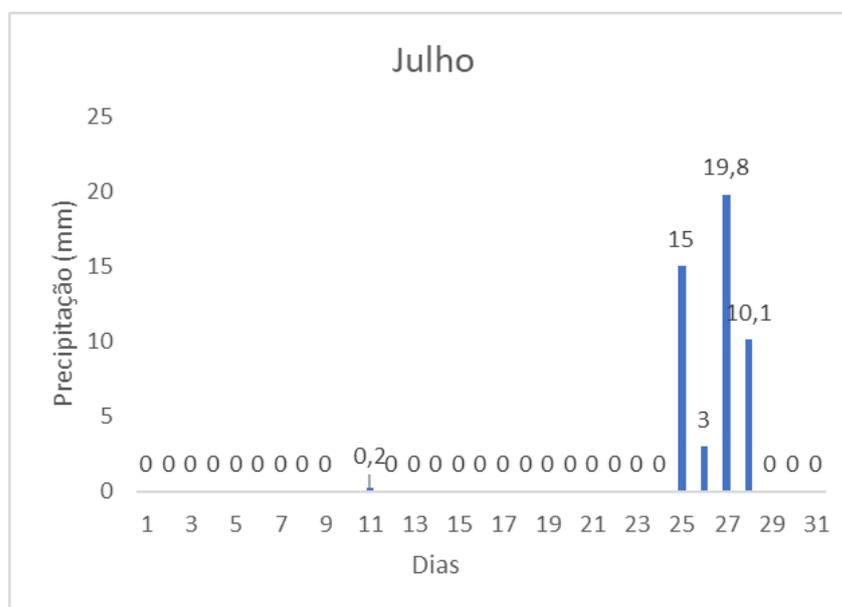


Gráfico 13: Precipitação em mm de julho de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

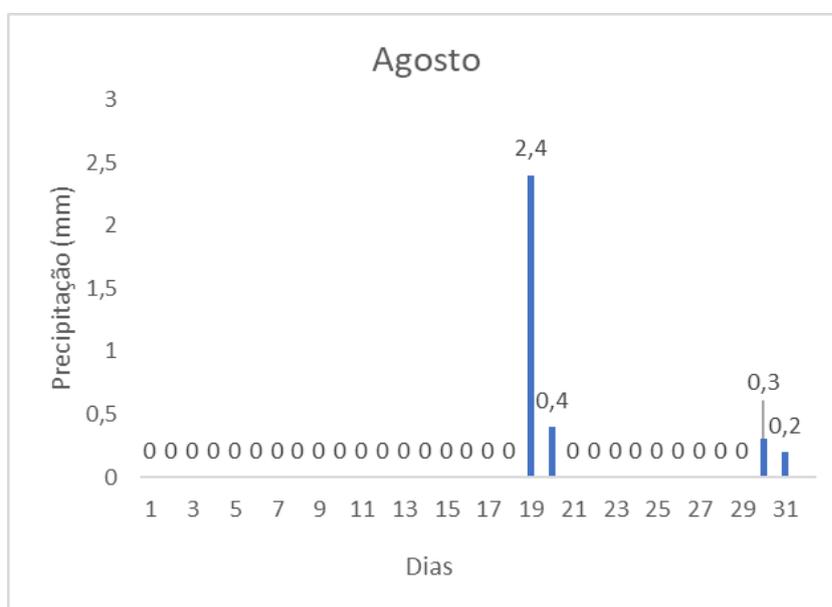


Gráfico 14: Precipitação em mm de agosto de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

O mês de agosto manteve a tendência de baixa pluviometria em grande parte do Brasil, conforme destacado na CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014). Apesar disso, houve registros de precipitação em pontos isolados durante a atuação de um sistema frontal na região Sudeste.

Com base no pluviograma de Schroder (apresentado no capítulo anterior), setembro foi marcado por chuvas escassas em Belo Horizonte (gráfico 15), com totais pluviométricos abaixo do esperado. Ao longo do mês, apenas quatro dias registraram chuva igual ou superior a 1,0 milímetro (mm), totalizando apenas 3,3 mm, abaixo da média histórica em grande parte da Região Sudeste, em particular em Minas Gerais CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014).

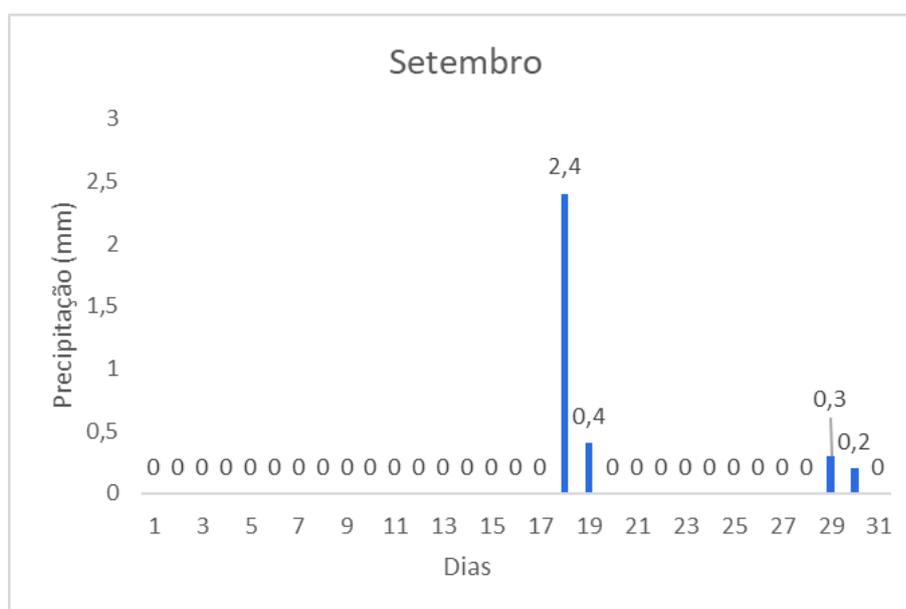


Gráfico 15: Precipitação em mm de janeiro de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

Outubro inicia o período chuvoso em grande parte do país, especialmente na Região Sudeste do Brasil, incluindo o município de Belo Horizonte, porém, com totais pluviométricos inferiores a climatologia esperada. Os totais pluviométricos mensais foram entre 25 mm e 200 mm abaixo da média histórica na maior parte da Região Sudeste CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014). No caso específico de Belo Horizonte, o total pluviométrico registrado foi de 69,40 mm (gráfico 16), enquanto a média histórica mensal é de 110,1 mm (Normais Climatológica 1991-2020). Isso significa que Belo Horizonte recebeu uma quantidade de chuva menor do que o normal para este período do ano.

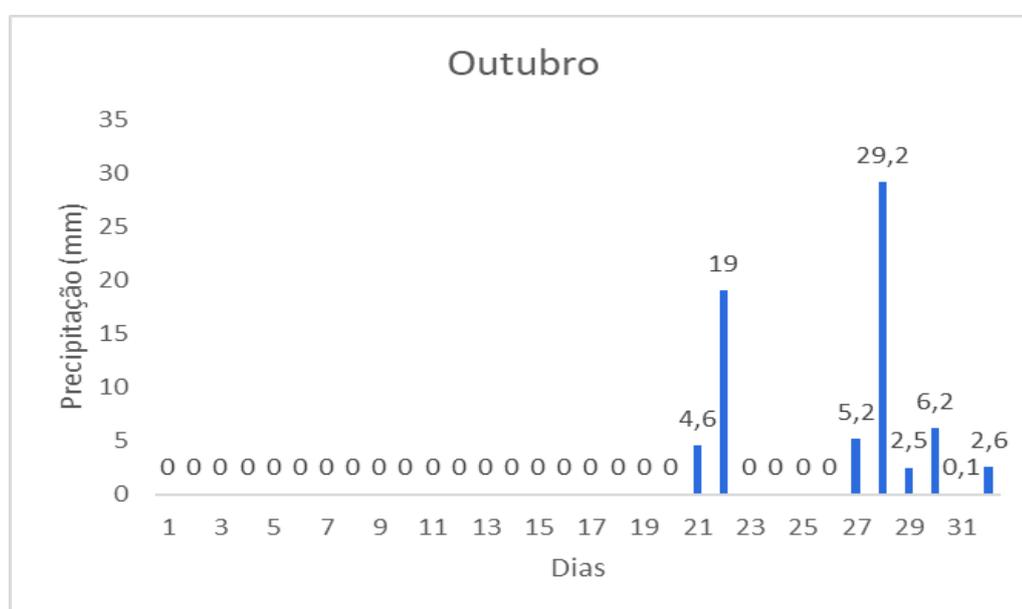


Gráfico 6: Precipitação em mm de outubro de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

No mês de novembro (gráfico 15), registrou-se um volume de precipitação de 215,50 mm, ligeiramente abaixo da média histórica (Normais climatológicas 1991-2020), estabelecida em 236,0 mm. Essa proximidade com a média mensal é principalmente atribuída à influência de sistemas frontais e à configuração do segundo evento de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que afetou significativamente grande parte da Região Sudeste. Apesar desses fenômenos, persistiu uma condição de escassez de chuvas na maior parte do centro-norte de Minas Gerais, incluindo Belo Horizonte CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014).

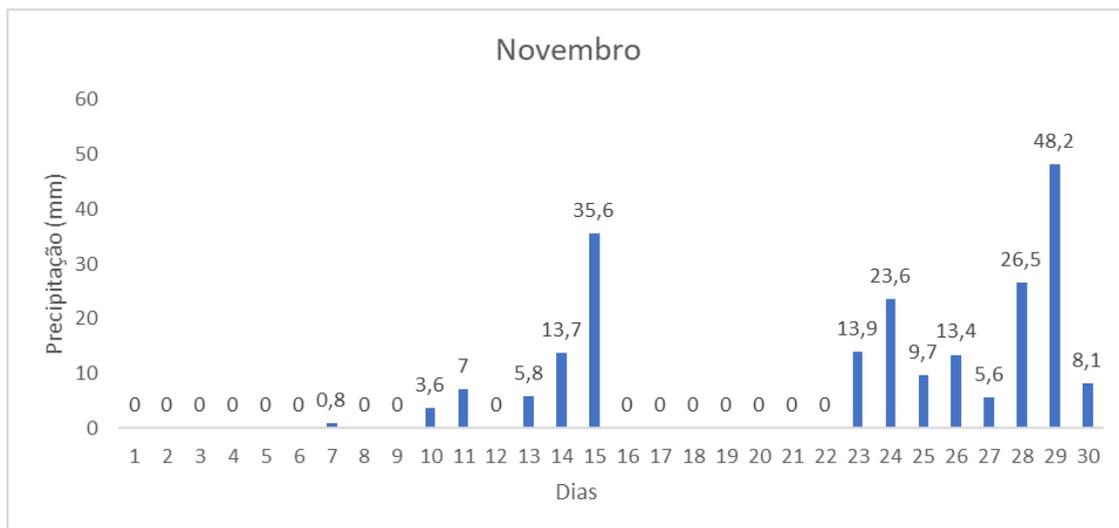


Gráfico 17: Precipitação em mm de novembro de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

Por último, no mês dezembro a presença de alguns episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a influência de vórtices ciclônicos na alta troposfera resultaram em anomalias negativas de precipitação em grande parte do território brasileiro. Apesar da média mensal indicar anomalias negativas de precipitação, o primeiro evento de ZCAS ocasionou volumes significativos de chuva no centro-norte de Minas Gerais. Segundo a CLIMANÁLISE (CPTEC, 2014) o total de precipitação registrado em Belo Horizonte foi de 138,10 mm, valor inferior à média climatológica para o mês, que é de 339,1 mm. Durante o período, foram contabilizados sete dias com chuvas diárias superiores a 1,0 mm (gráfico 16).

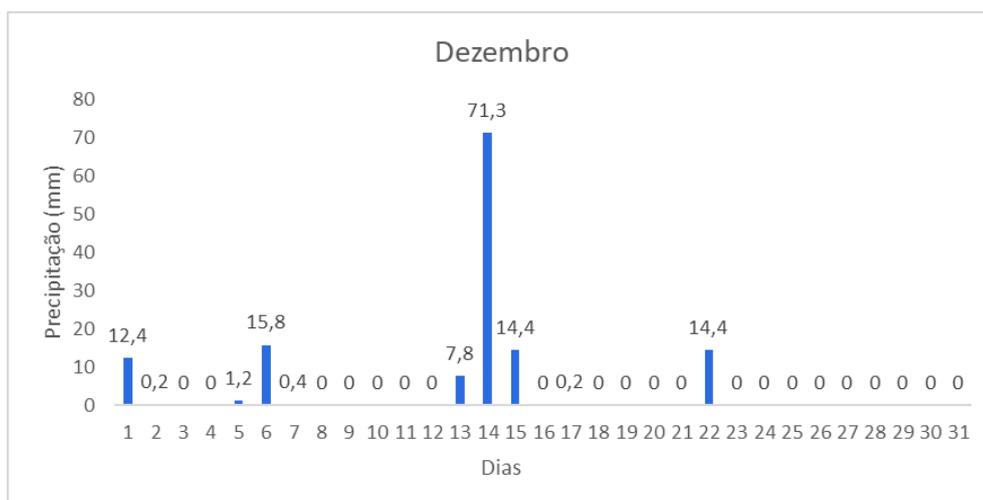


Gráfico 18: Precipitação em mm de janeiro de 2014 em Belo Horizonte. Fonte de dados: INMET.

Os efeitos das chuvas no verão são frequentemente abordados nos noticiários de jornais, geralmente ligados a inundações, desabamentos de casas, deslizamentos de terra, interrupções no fornecimento de energia, entre outros. Muitos desses problemas ambientais e físicos são resultado da ocupação desorganizada das grandes cidades brasileiras. Mas no ano de (2014 as reportagens foram diferentes, deixando muito mais alarmante a escassez hídrica no período chuvoso.

Para concluir, o jornal O TEMPO (Figura 15) publicou no último dia de 2014 uma matéria intitulada "Clima seco domina 2014", destacando que meses historicamente chuvosos apresentaram precipitação abaixo da média, conforme dados do centro de climatologia da PUC Minas, Tempo Clima. O artigo ressaltou que o ano foi marcado por uma estiagem acima do normal.

The image shows a screenshot of a news article from the newspaper 'O TEMPO'. The article is titled 'Clima seco marca o ano de 2014' and is categorized as 'EXPECTATIVA'. The author is 'Por Johnatan Castro' and it was published on '31 de dezembro de 2014'. The article text discusses the dry conditions in Minas Gerais during 2014, comparing precipitation levels to historical averages and mentioning the impact on the environment and water reserves.

O ano de 2014 pode ser considerado o mais seco dos últimos três anos em Minas Gerais. Dados do Centro de Climatologia PUC Minas TempoClima mostram que os meses de janeiro a março e de outubro a dezembro – que compreendem períodos chuvosos – tiveram índices de precipitações abaixo de anos anteriores e até mesmo de médias históricas. Neste mês de dezembro, por exemplo, foram registrados 122,1 mm de chuvas, enquanto a média histórica chega a 319,4 mm. Em dezembro do ano passado, choveu 425 mm.

O meteorologista da PUC Minas, Heriberto dos Anjos, explicou que o motivo para a estiagem intensa foi a atuação de um bloqueio atmosférico associado a um sistema de alta pressão, que impediram a chegada de frentes frias à região Sudeste. Com a previsão de retorno das chuvas a partir da próxima segunda-feira, os especialistas acreditam que os meses de janeiro a março de 2015 terão precipitações dentro da média. Somente no primeiro mês de 2015 deve chover cerca de 350 mm.

Segundo informações do TempoClima coletadas em Belo Horizonte, em janeiro de 2014 choveu 103,9 mm, frente a 426,8 mm no mesmo período do ano anterior. Já em outubro deste ano choveu apenas 50,7 mm, enquanto no mesmo mês de 2013 foram 137,7 mm. "Esse ano teve uma estiagem acima do normal. Pode ser que a partir da segunda quinzena de janeiro chova acima da climatologia (média)", disse dos Anjos.

Verânico. O técnico de meteorologia da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), Geraldo Paixão, lembrou que o nível de chuvas chegou a subir em novembro, mas foi interrompido por um fenômeno chamado verânico. Ele acredita que os meses de janeiro a março de 2015 poderão ter temporais. "Isso é muito típico do nosso verão, que é marcado por chuvas que podem vir com maior intensidade e em forma de tempestades", afirmou, ressaltando que isso ajudará a elevar os níveis dos reservatórios.

Mais que falta de água, a estiagem pode comprometer o meio ambiente, na opinião da coordenadora executiva da Associação Mineira de Defesa do Ambiente (Amda). Ela destacou a incidência de incêndios florestais, o prejuízo à flora e à fauna e a destruição de nascentes.

Figura 15: Manchete Jornalística sobre “Clima seco marca o ano de 2014”, 31 dez. 2014. Fonte: Jornal O TEMPO.

4.6 Condições sinóticas do período chuvoso: ano de 2014.

Na análise das condições meteorológicas dos primeiros meses de 2014 (janeiro e fevereiro), observamos a presença de diversos sistemas atmosféricos dinâmicos que influenciaram o clima na superfície. Um bloqueio atmosférico, causado pelo deslocamento anômalo do ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul) para oeste de sua posição habitual, gerou uma alta pressão sobre a parte central e sudeste do Brasil. Isso resultou em um núcleo de alta pressão mais intenso sobre a região sudeste do país, como mostrado nas imagens a seguir.

As imagens de satélite de janeiro de 2014 e cartas sinóticas ilustram claramente essa situação. No dia 04 de janeiro (Figuras 16 e 18), observamos uma grande área de alta pressão sobre o sudeste do Brasil, impedindo a formação de nuvens de chuva significativas. Essa configuração persistiu ao longo do mês, como visto na imagem de 10 de janeiro (Figuras 18 e 22), onde a região sudeste ainda está sob a influência da ASAS.



Figura 16: Imagem de satélite do dia 04/01/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

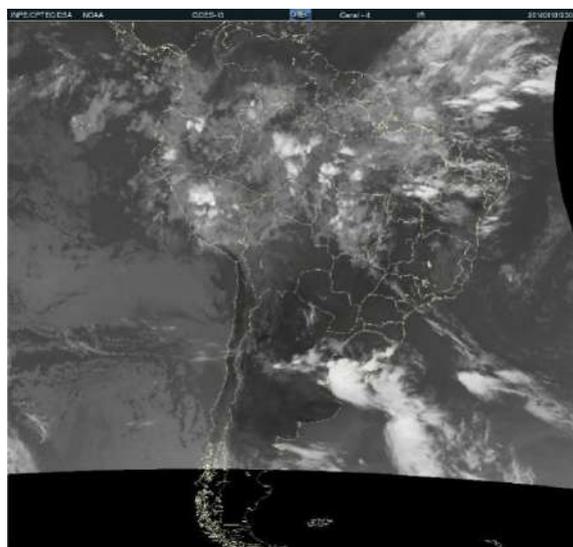


Figura 17: Imagem de satélite do dia 10/01/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

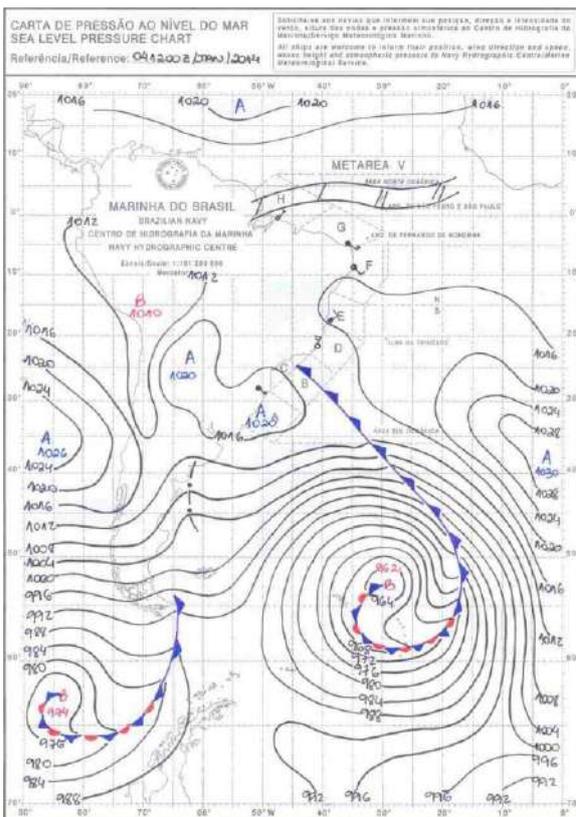


Figura 18: Carta sinótica do dia 04/01/2014. Marinha do Brasil.

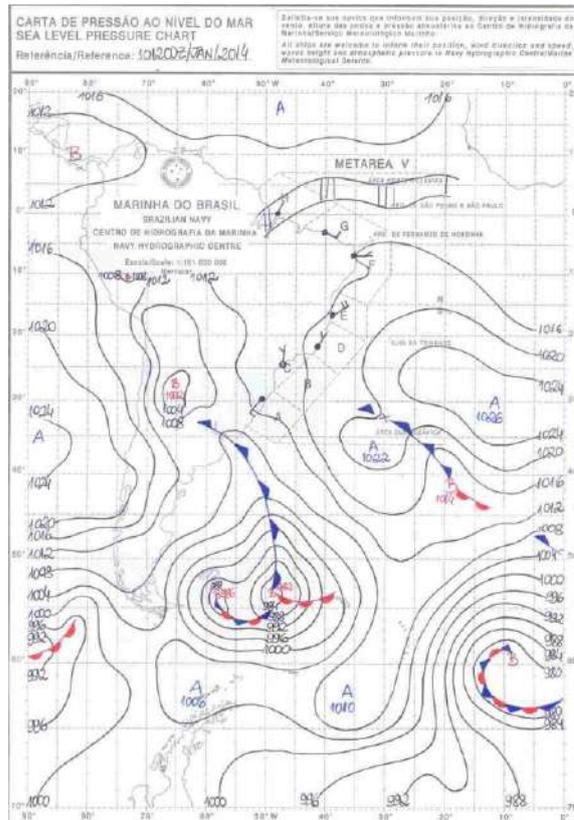


Figura 19: Carta sinótica do dia 10/01/2014. Marinha do Brasil.

No dia 17 de janeiro (Figuras 20 e 22), começamos a ver um aumento na cobertura de nuvens sobre o Sudeste, sugerindo uma possível mudança nas condições atmosféricas. Essa tendência se intensificou até o dia 23 de janeiro (Figuras 21 e 23), quando uma quantidade significativa de nuvens densas cobriu a região, indicando a entrada de umidade e a possibilidade de chuvas isoladas. Esse padrão pode estar relacionado a uma quebra temporária no bloqueio atmosférico ou à influência de uma frente fria trazendo umidade do oceano Atlântico.



Figura 20: Imagem de satélite do dia 17/01/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

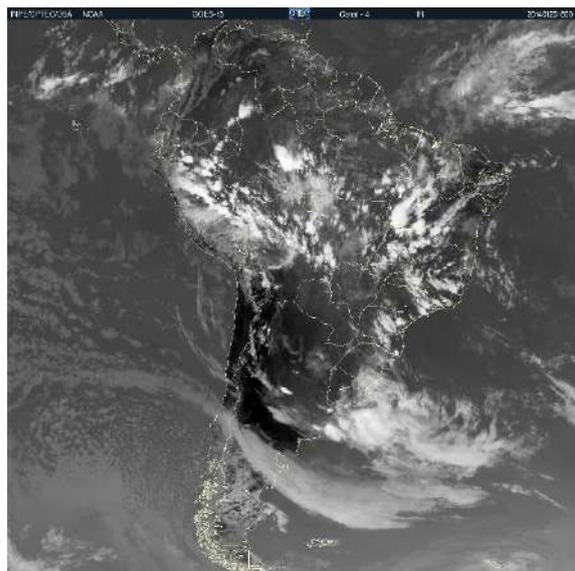


Figura 21: Imagem de satélite do dia 23/01/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

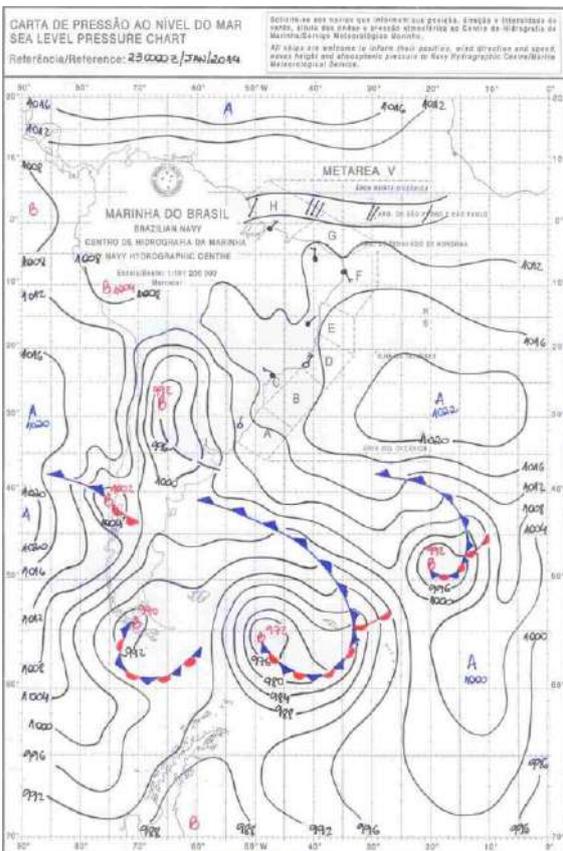


Figura 22: Carta sinótica do dia 17/01/2014. Marinha do Brasil.

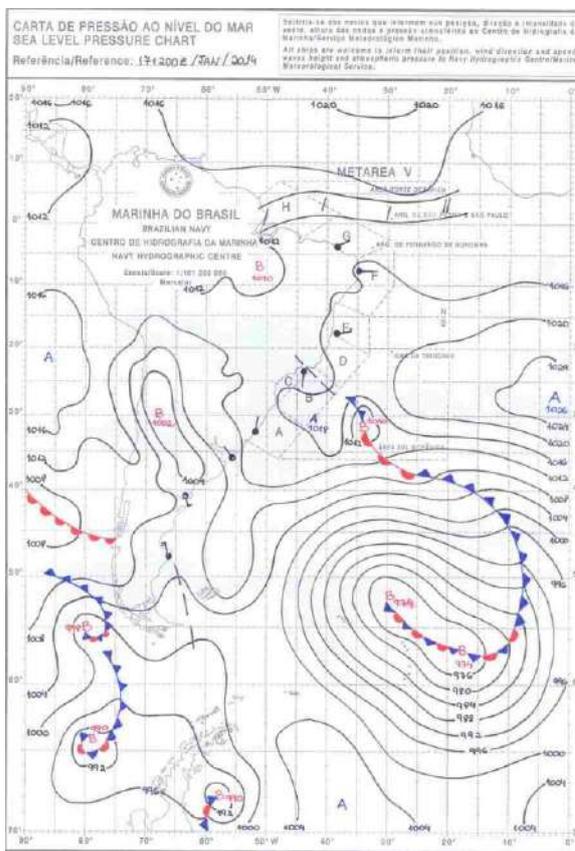


Figura 23: Carta sinótica do dia 23/01/2014. Marinha do Brasil.

De acordo com o INMET (2020), a precipitação pode variar bastante ao longo do ano, sendo influenciada pela sazonalidade e pelas zonas de convergência. Nos meses mais chuvosos, os níveis de precipitação são geralmente altos em todo o Brasil, enquanto nos meses secos, esses valores caem significativamente.

No começo de fevereiro (Figuras 24, 25, 26 e 27), a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) ainda estava influenciando o clima no sudeste do Brasil, incluindo o município de Belo Horizonte, mas com menos força do que nos meses anteriores. De acordo com Quadro (1994), a presença da Alta da Bolívia no continente sul-americano é ocasionada pelo aquecimento atmosférico da média troposfera, no qual a liberação de calor latente por condensação aquece essa camada atmosférica, como consequência do aquecimento do continente durante o verão no Hemisfério Sul

Esse sistema de alta pressão, que normalmente traz tempo seco, estava mais deslocado para o oeste. Isso significava menos chuvas na região. No entanto, uma frente fria fraca passou pelo sul do Brasil e chegou ao sudeste e isso trouxe um pouco mais de nuvens e algumas chuvas isoladas. Em Belo Horizonte, no entanto, não se verificou precipitação. As chuvas foram fracas e não ajudaram a aliviar a seca que a região estava enfrentando.

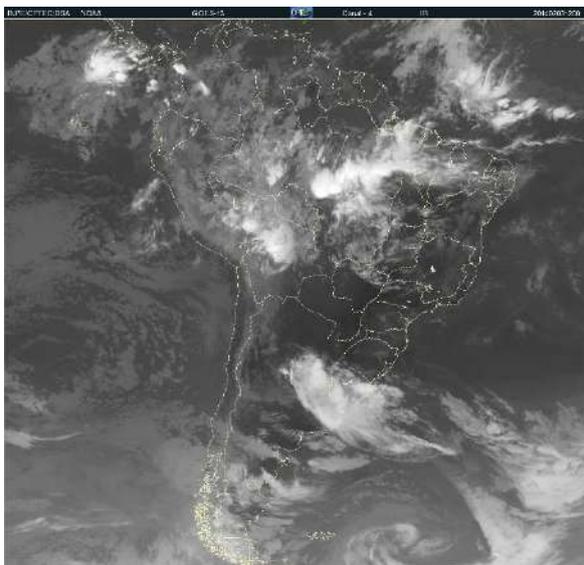


Figura 24: Imagem de satélite do dia 03/02/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

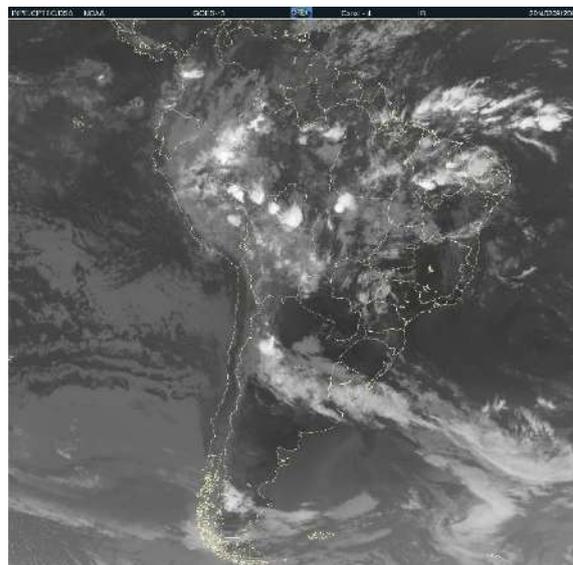


Figura 25: Imagem de satélite do dia 09/02/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

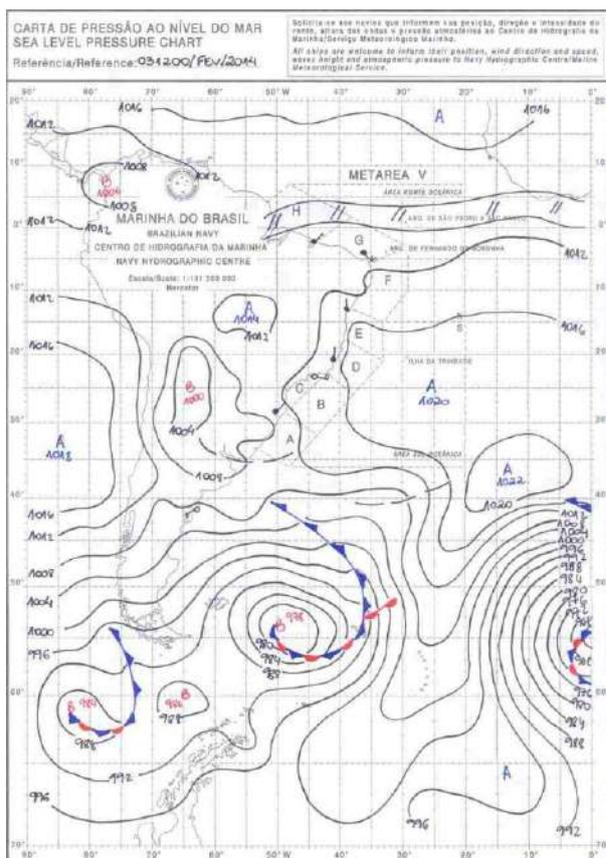


Figura 26: Carta sinótica do dia 03/02/2014. Marinha do Brasil.

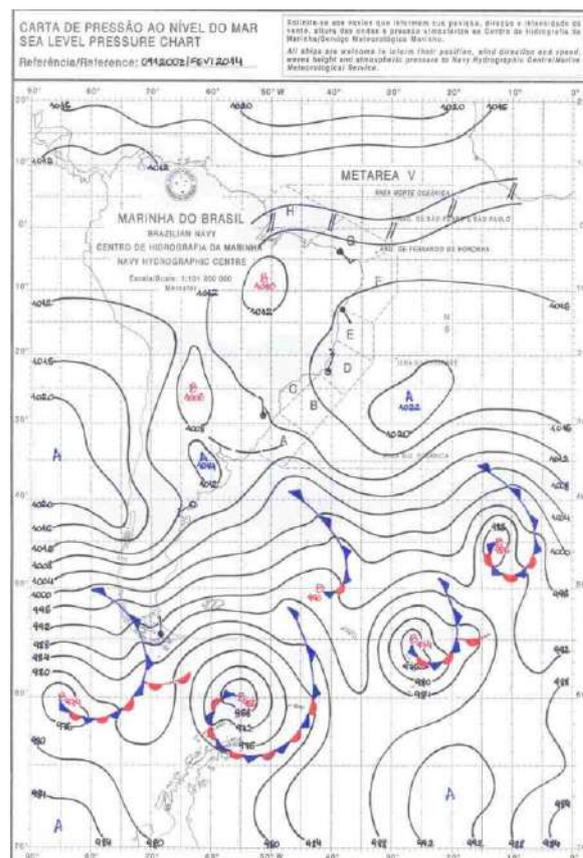


Figura 27: Carta sinótica do dia 09/02/2014. Marinha do Brasil.

No dia 19 fevereiro (Figuras 28 e 29), a influência da ZCAS começou a diminuir. No entanto, um vórtice ciclônico em altos níveis (VCAN) no nordeste do Brasil ajudou a intensificar as chuvas no Sudeste, especialmente em Minas Gerais. Esse vórtice gerou áreas de instabilidade que trouxeram mais nuvens e chuvas.

Durante essa semana, as chuvas foram mais frequentes e abrangentes. Belo Horizonte, em particular, viu uma quantidade significativa de precipitação, com períodos de sol alternando com pancadas de chuva.

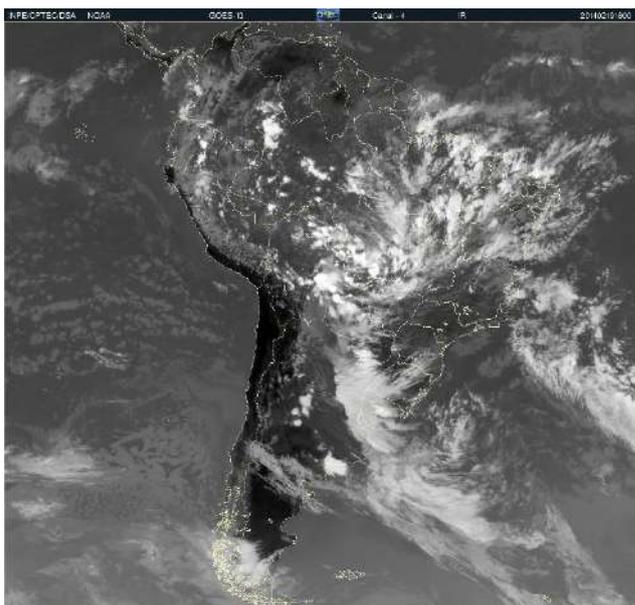


Figura 28: Imagem de satélite do dia 19/02/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

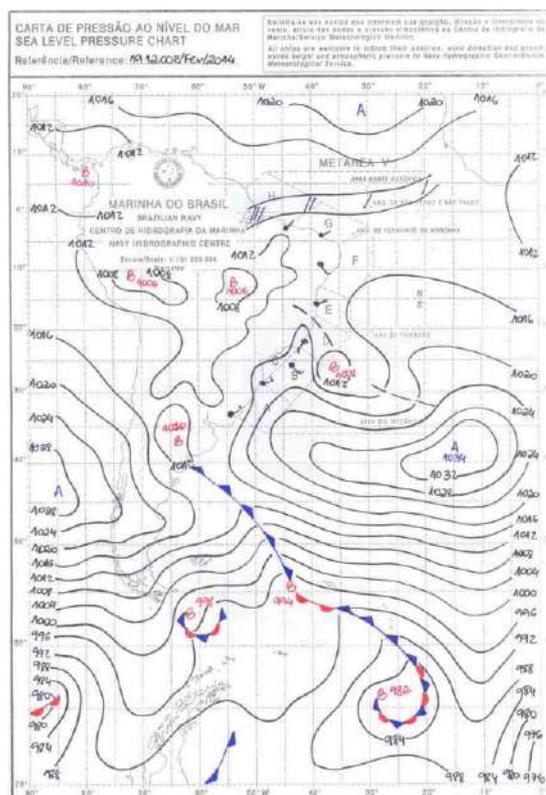


Figura 29: Carta sinótica do dia 19/02/2014.
Marinha do Brasil.

Na última semana de fevereiro, uma frente fria mais forte avançou pelo sul do Brasil e atingiu o Sudeste nos dia 28 de fevereiro (Figuras 30 e 31). Isso trouxe um aumento considerável na nebulosidade e chuvas generalizadas na região. Essas chuvas foram intensas e abrangentes, resultando em grandes acumulados de água.

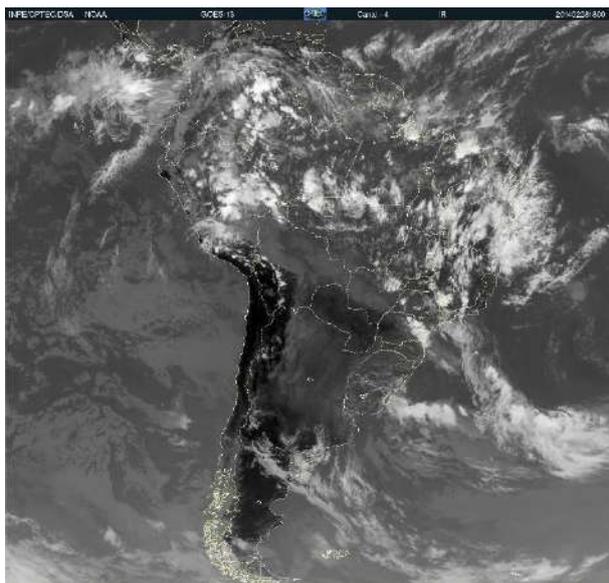


Figura 30: Imagem de satélite do dia 28/02/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

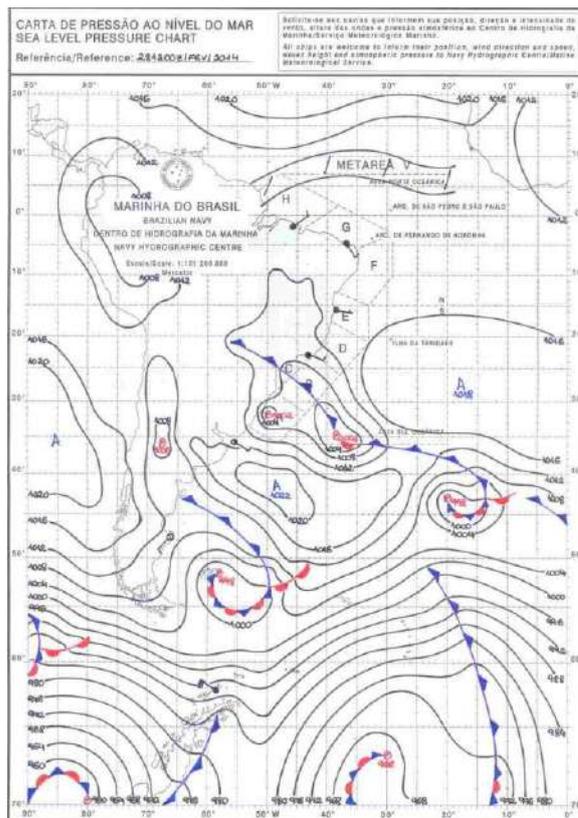


Figura 31: Carta sinótica do dia 28/02/2014. Marinha do Brasil.

As imagens de satélite de março de 2014 em Belo Horizonte mostram como as condições atmosféricas variaram ao longo do mês, influenciadas por diferentes sistemas meteorológicos. Na primeira semana do mês de março, mais precisamente no dia 1º de março (Figuras 32 e 34), a cidade estava sob a influência de uma frente fria que trouxe nuvens moderadas. Em 4 de março, (Figuras 33 e 45) mesmo com menos nuvens no céu, ainda caíram 6,4 mm de chuva (conforme o gráfico 9), resultado da instabilidade deixada pela frente fria anterior.

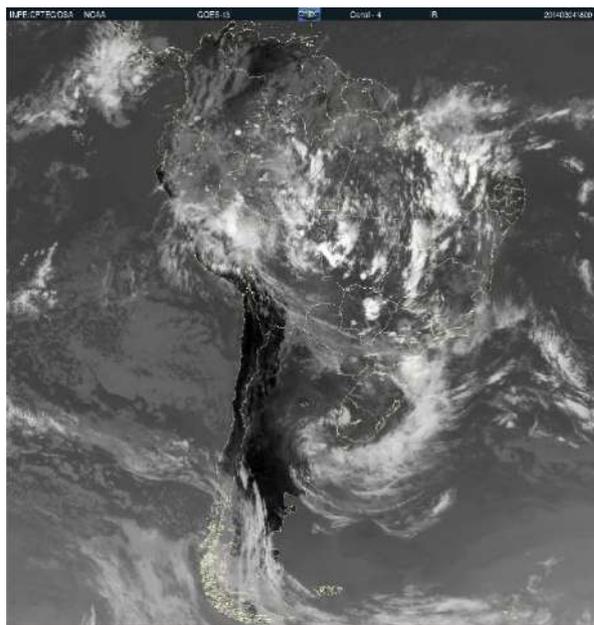
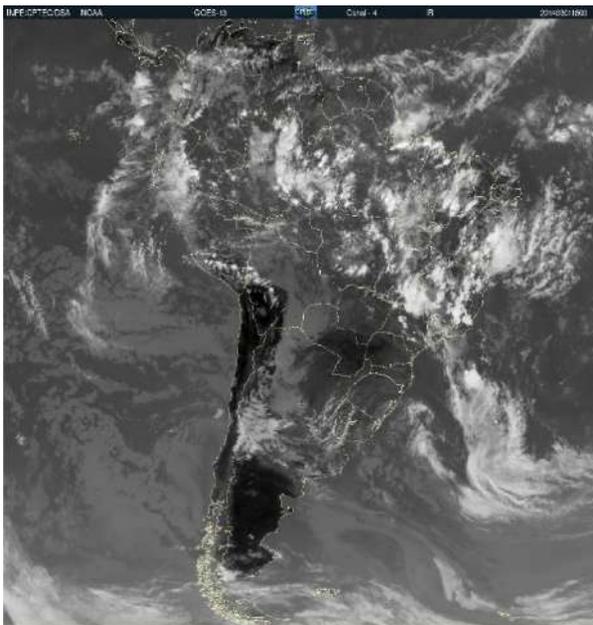


Figura 32: Imagem de satélite do dia 01/03/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

Figura 33: Imagem de satélite do dia 04/03/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

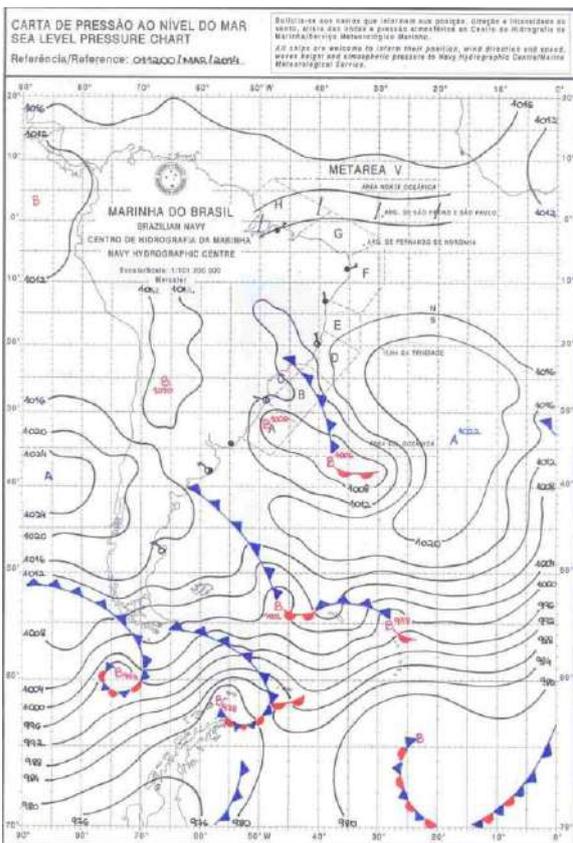


Figura 34: Carta sinótica do dia 01/03/2014. Marinha do Brasil.

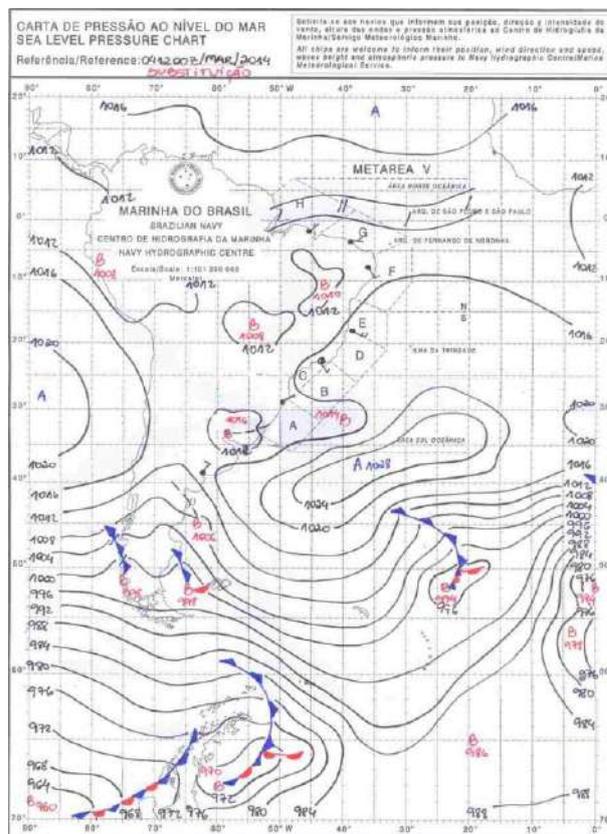


Figura 35: Carta sinótica do dia 04/03/2014. Marinha do Brasil.

Já no dia 7 (Figuras 36 e 38), um sistema de baixa pressão se alinhava com a ZCAS e trouxe nuvens densas e uma chuva significativa de 17,5 mm. Esse padrão se manteve em 9 de março (Figuras 37 e 39), quando a umidade vinda da Amazônia formou uma densa cobertura de nuvens, resultando em 17,8 mm de precipitação.

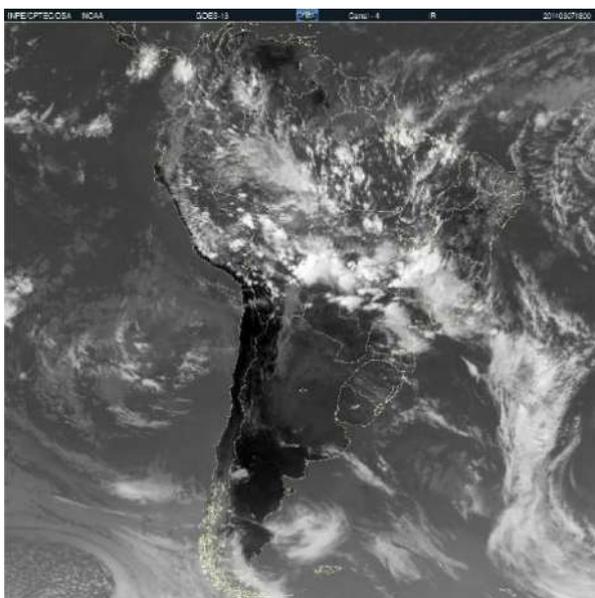


Figura 36: Imagem de satélite do dia 07/03/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

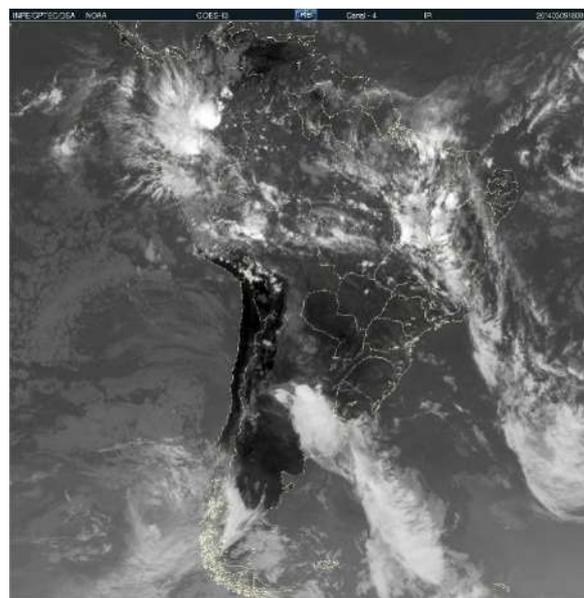


Figura 37: Imagem de satélite do dia 09/03/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

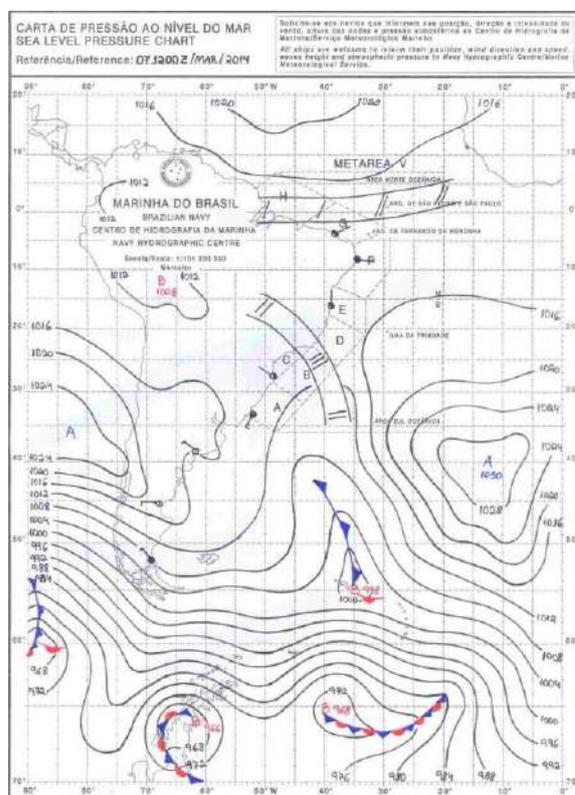


Figura 38: Carta sinótica do dia 07/03/2014. Marinha do Brasil.

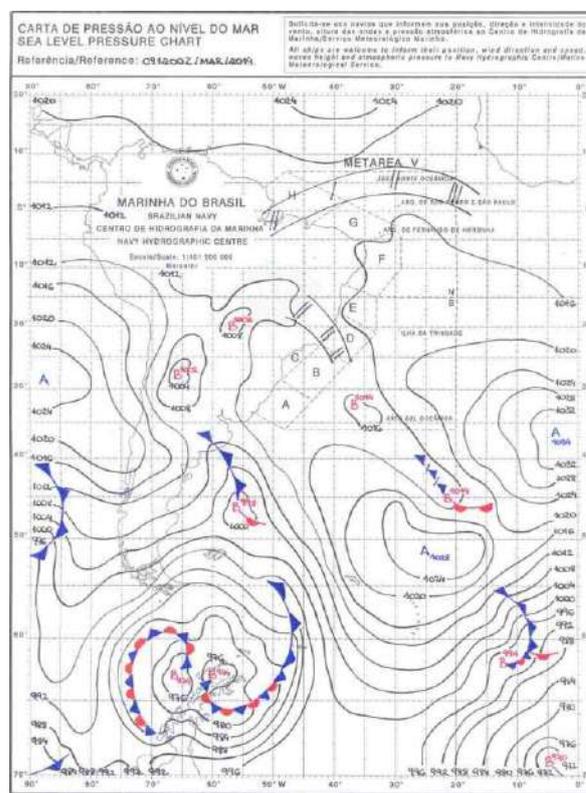


Figura 39: Carta sinótica do dia 09/03/2014. Marinha do Brasil.

No entanto, em 15 de março (Figuras 40 e 42), um sistema de alta pressão (ASAS) fez com que as nuvens se dissipassem, e praticamente não houve chuva nos dias seguintes. Por fim, em 24 de março (Figuras 41 e 43), a aproximação de outra frente fria trouxe de volta as nuvens, refletindo um breve período de instabilidade atmosférica.



Figura 40: Imagem de satélite do dia 15/03/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

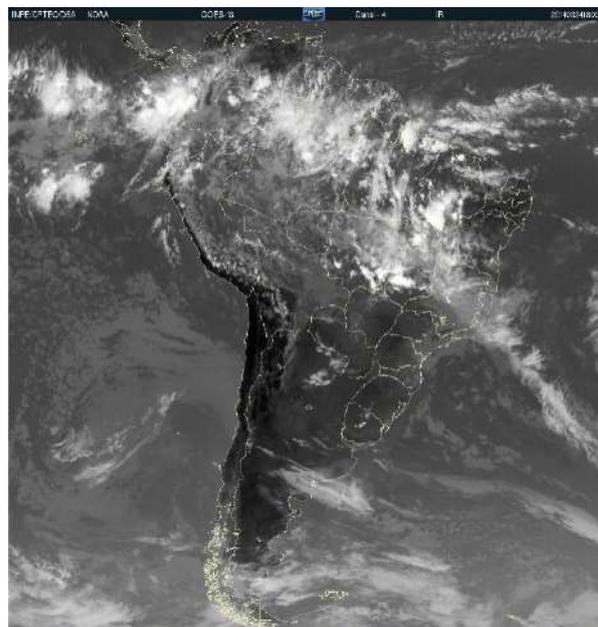


Figura 41: Imagem de satélite do dia 24/03/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

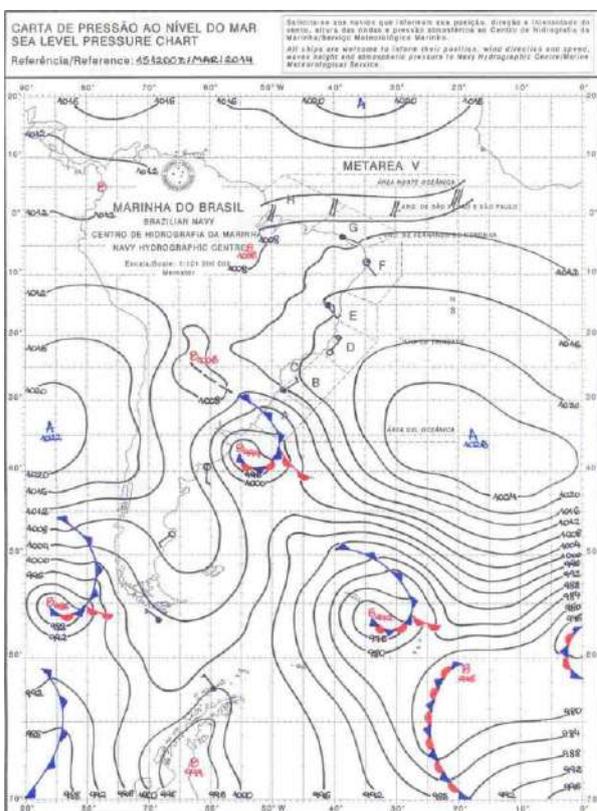


Figura 42:Carta sinótica do dia 15/03/2014. Marinha do Brasil.

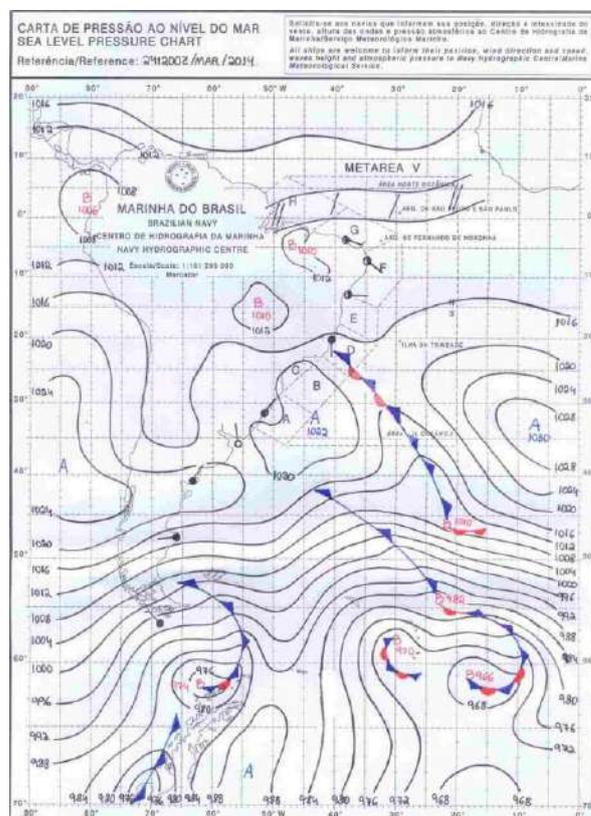


Figura 43:Carta sinótica do dia 24/03/2014. Marinha do Brasil.

É interessante notar que o período chuvoso (2013-2014) se estendeu até abril de 2014. Nas imagens de 3 de abril (Figuras 44 e 46), podemos ver a presença da Massa de Ar Tropical Atlântica (mTa) influenciando o sudeste do Brasil. Em Belo Horizonte, a influência dessa massa de ar trouxe aumento de umidade e chuvas. O que se repete no dia 4 de abril (Figura 45 3 47) mostra a continuidade da influência da Massa de Ar Tropical Atlântica (mTa). As nuvens presentes na imagem indicam tempo instável com possibilidade de chuvas.

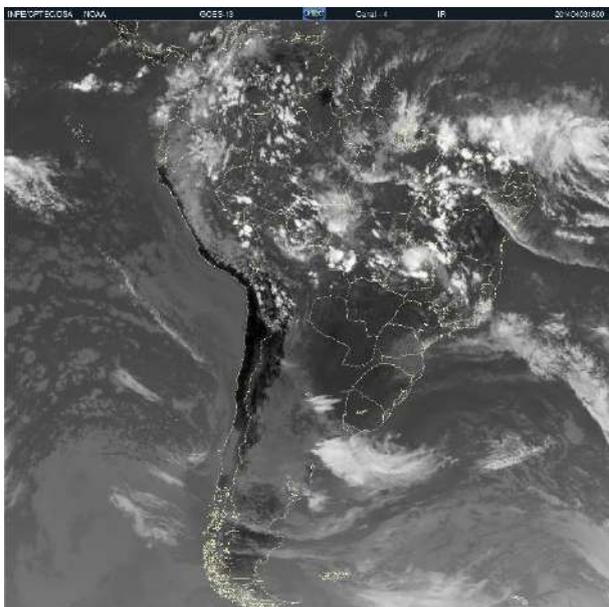


Figura 44: Imagem de satélite do dia 03/04/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

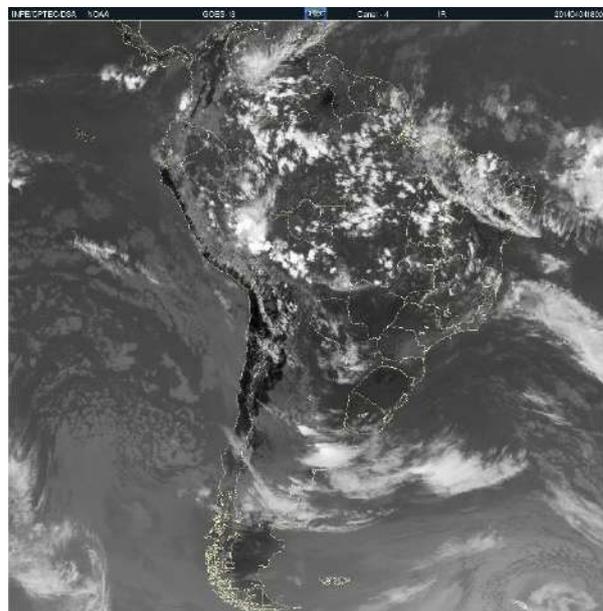


Figura 45: Imagem de satélite do dia 04/04/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

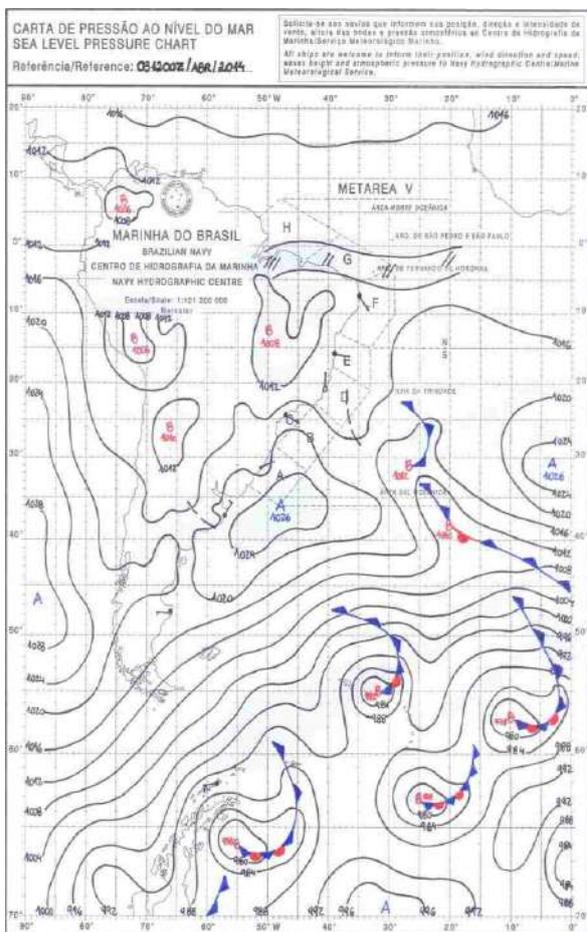


Figura 46: Carta sinótica do dia 03/04/2014. Marinha do Brasil.

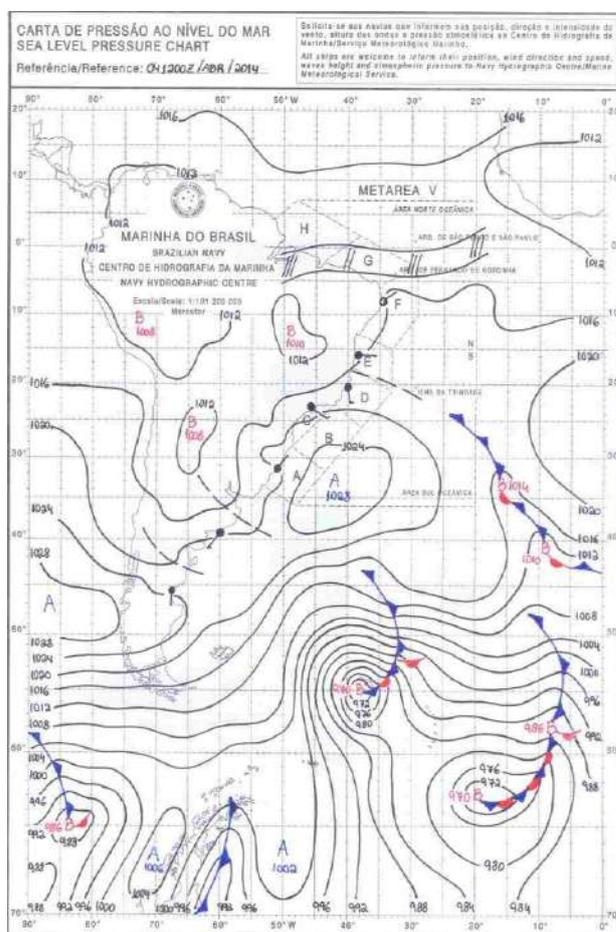


Figura 47: Carta sinótica do dia 04/04/2014. Marinha do Brasil.

No dia 12 de abril (Figuras 48 e 50), a frente fria deslocou-se para o oceano, mas ainda influenciava as condições costeiras, enquanto o interior do Brasil, incluindo Belo Horizonte, experienciava uma massa de ar mais seca. Em 17 de abril (Figuras 49 e 51), uma nova frente fria se aproximava e avançava pelo Sudeste, trazendo novamente a influência da massa de ar polar e causando intensa convecção na região, resultando em tempo instável com possibilidade de precipitações.

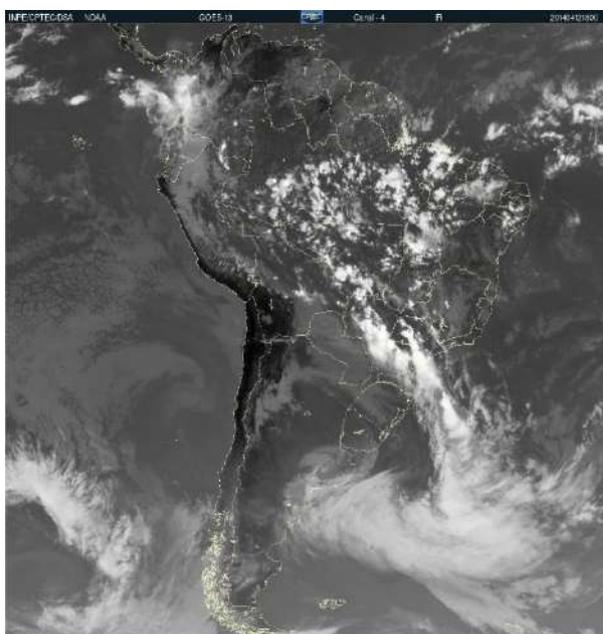


Figura 48: Imagem de satélite do dia 12/04/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

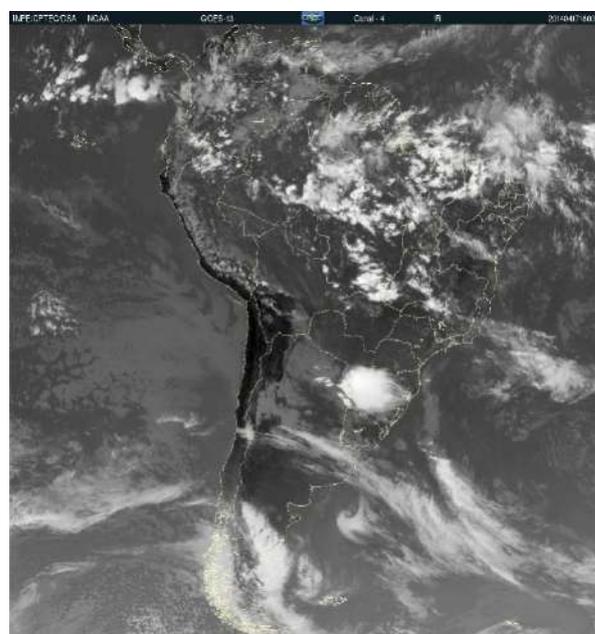


Figura 49: Imagem de satélite do dia 17/04/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

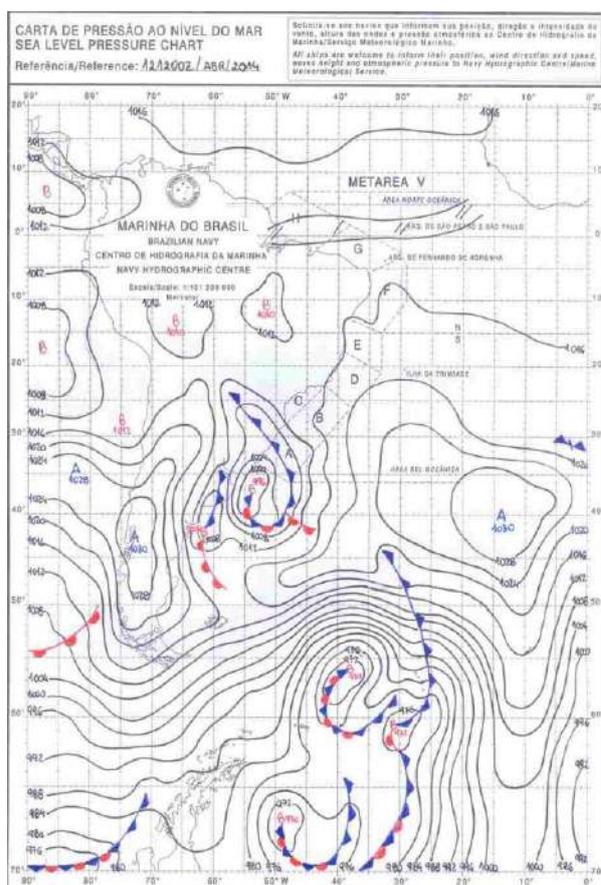


Figura 50:Carta sinótica do dia 12/04/2014. Marinha do Brasil.

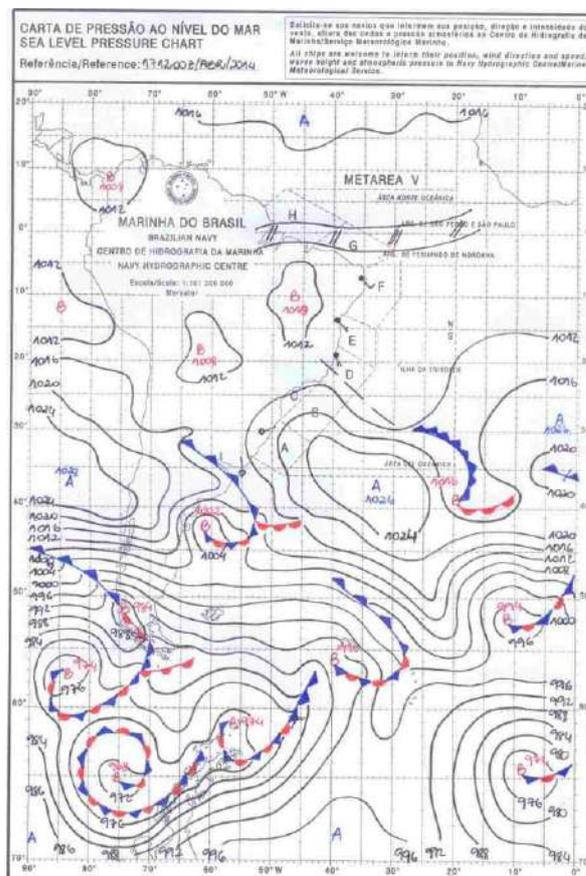


Figura 51:Carta sinótica do dia 17/04/2014. Marinha do Brasil.

Até o dia 21 de abril (Figuras 52 e 55), a frente fria avançou mais ao norte, influenciando o Centro-Oeste, mas ainda mantendo o Sudeste sob a influência de ar mais frio. Nos dias 25 e 29 de abril (Figuras 53, 54, 56 e 57), a frente fria se dissipou gradualmente, mas indicava a aproximação de um novo sistema frontal pelo sul, enquanto massas de ar tropical úmido prevaleciam sobre grande parte do Brasil. Em resumo, Belo Horizonte e o Sudeste foram significativamente impactados por variações no tempo devido à entrada de frentes frias e massas de ar polar, tendo como consequência quedas de temperatura e episódios de chuva intensa ao longo do mês.

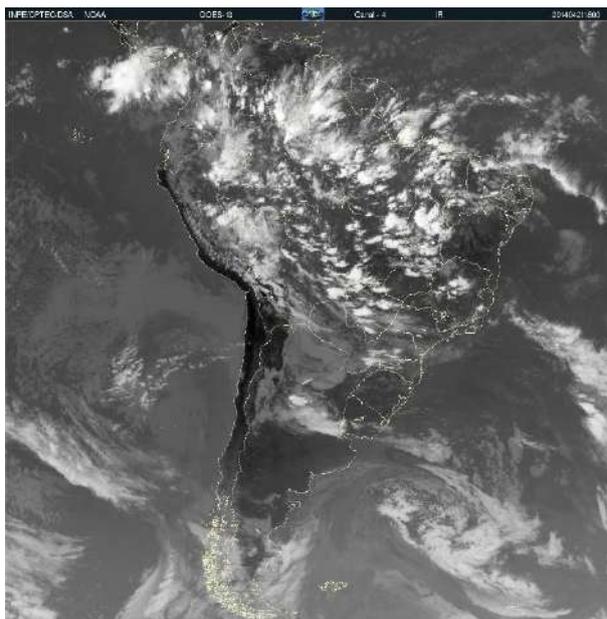


Figura 52:Imagem de satélite do dia 21/04/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

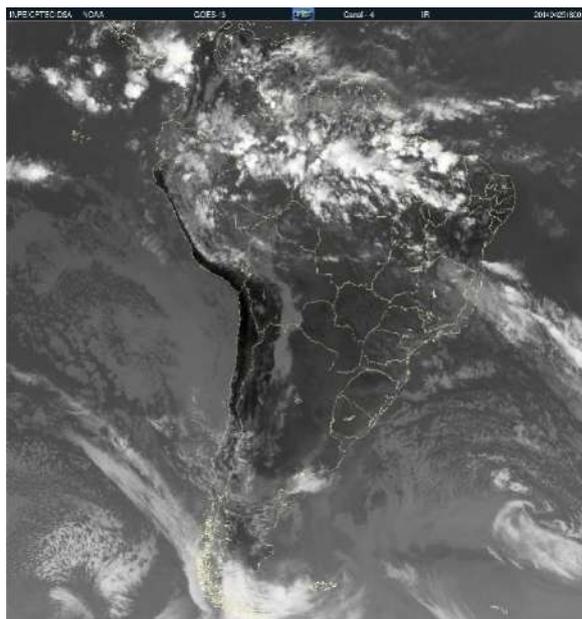


Figura 53:Imagem de satélite do dia 22/04/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

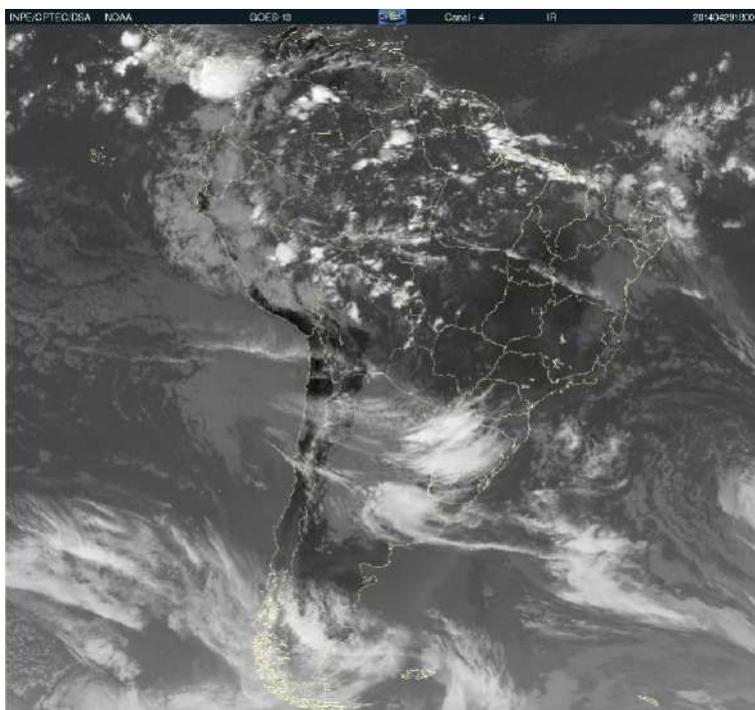


Figura 54:Imagem de satélite do dia 29/04/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

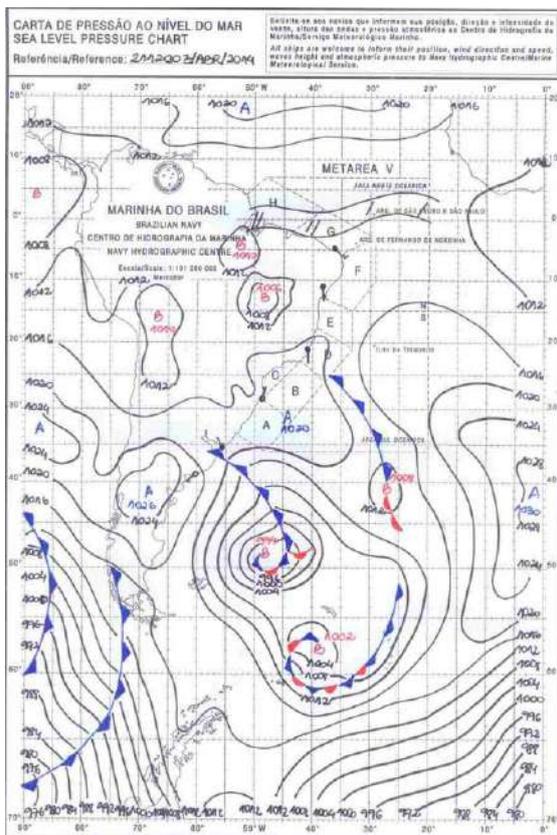


Figura 55:Carta sinótica do dia 21/04/2014. Marinha do Brasil.

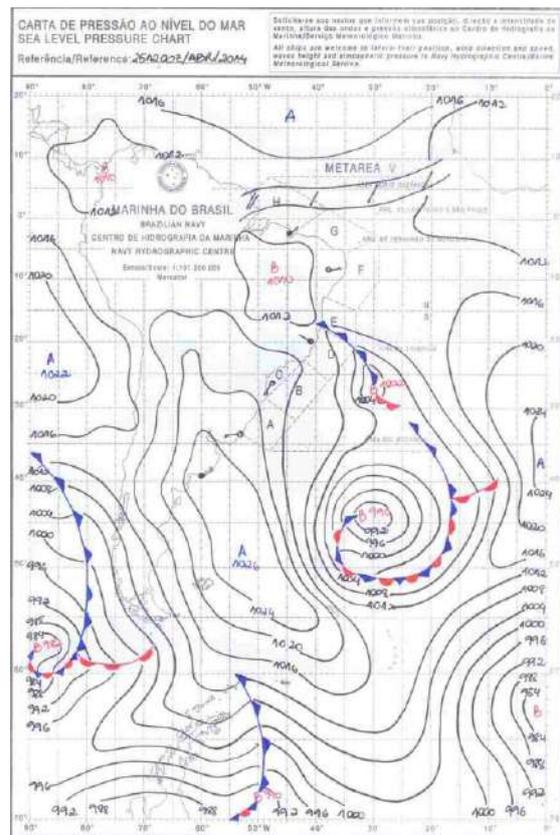


Figura 56:Carta sinótica do dia 22/04/2014. Marinha do Brasil.

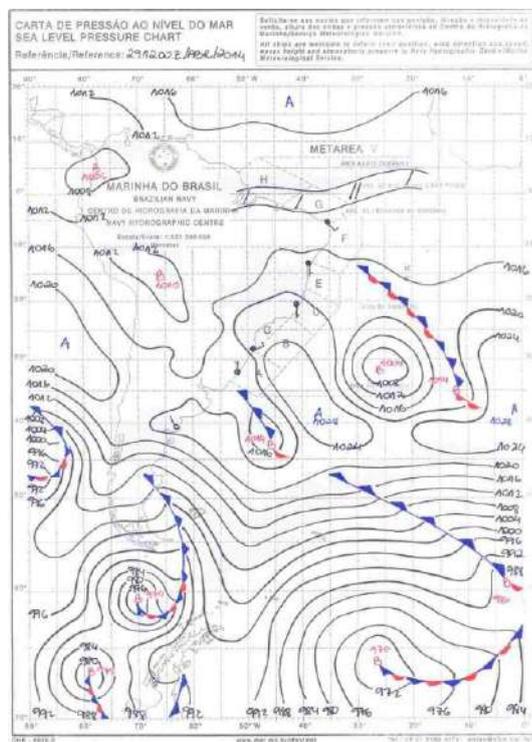


Figura 57:Carta sinótica do dia 29/04/2014. Marinha do Brasil.

O mês de outubro marca o início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil. No entanto, as chuvas somente começaram a ocorrer a partir do dia 20, para o município de Belo Horizonte. Em outubro de 2014, as imagens de satélite revelam a influência de diversos sistemas atmosféricos sobre Belo Horizonte. No dia 1º de outubro (Figuras 58 e 60), uma frente fria trouxe nuvens densas e aumentou a nebulosidade, resultando em um clima mais instável e propenso a chuvas. Em 5 de outubro (Figuras 59 e 61), um sistema de baixa pressão contribuiu para a formação de nuvens e chuvas, aumentando a instabilidade atmosférica.

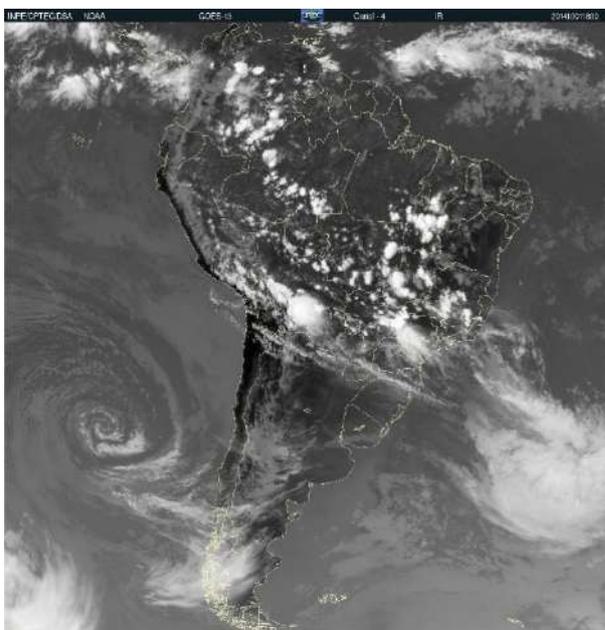


Figura 58: Imagem de satélite do dia 01/10/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

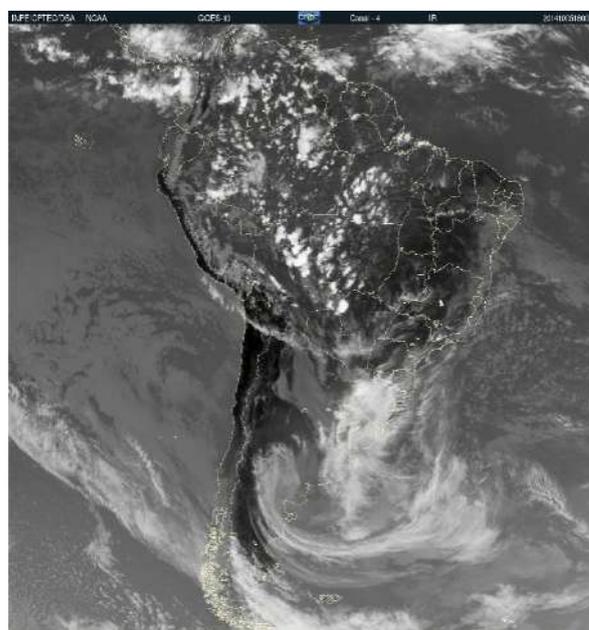


Figura 59: Imagem de satélite do dia 05/10/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

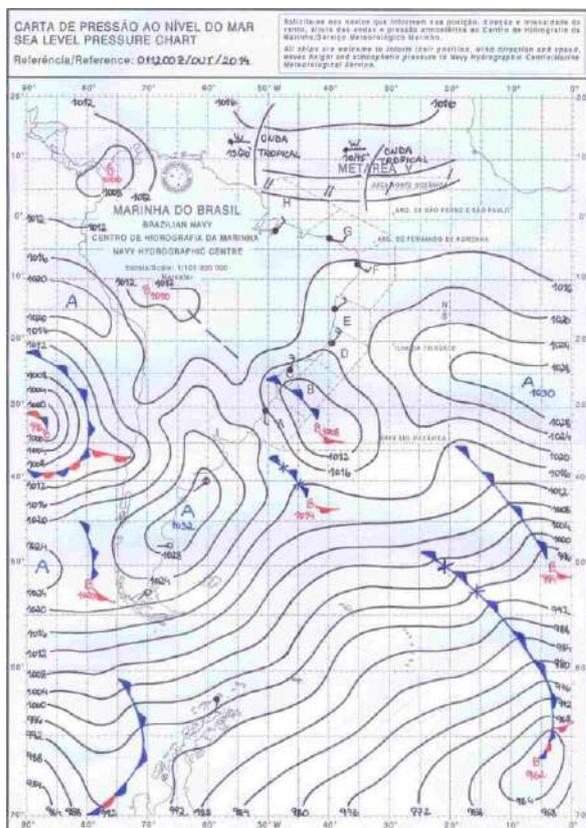


Figura 60: Carta sinótica do dia 01/10/2014. Marinha do Brasil.

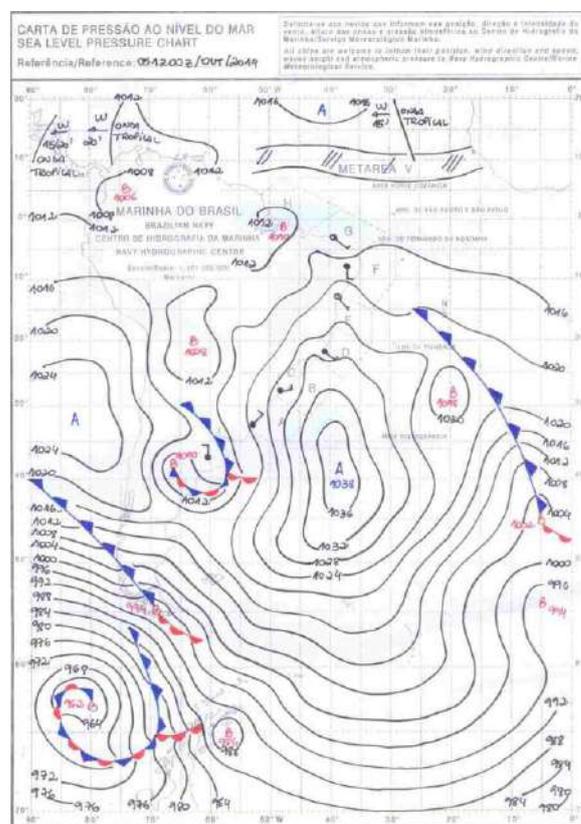


Figura 61: Carta sinótica do dia 05/10/2014. Marinha do Brasil.

No dia 9 de outubro (Figuras 62 e 64), a Massa de Ar Tropical Atlântica (mTa) trouxe umidade e condições favoráveis para a formação de nuvens, provocando tempo instável com possibilidade de precipitações esparsas. No entanto, no dia 14 de outubro (Figuras 63 e 65), a presença de um sistema de alta pressão (ASAS) estabilizou a atmosfera, contribuindo para céu claro e pouca formação de nuvens, o que fez com que Belo Horizonte experimentasse dias secos e quentes.

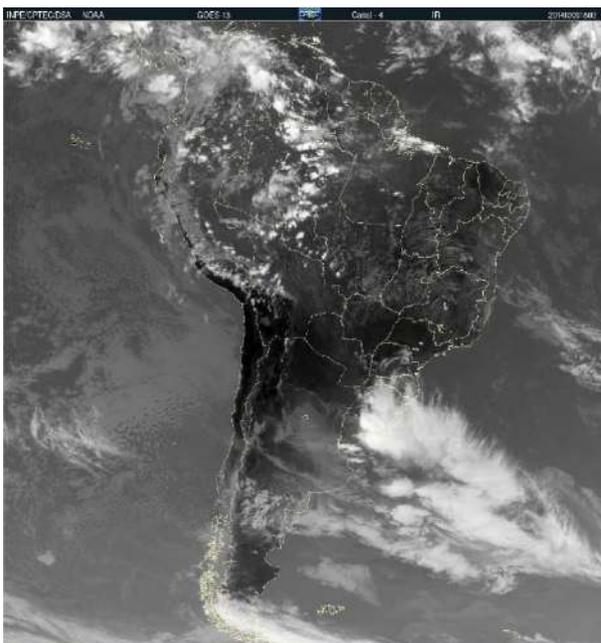


Figura 62: Imagem de satélite do dia 09/10/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

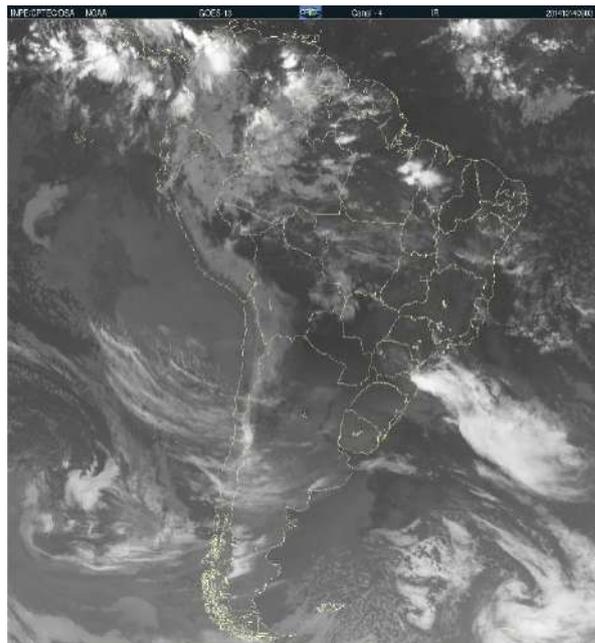


Figura 63: Imagem de satélite do dia 14/10/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

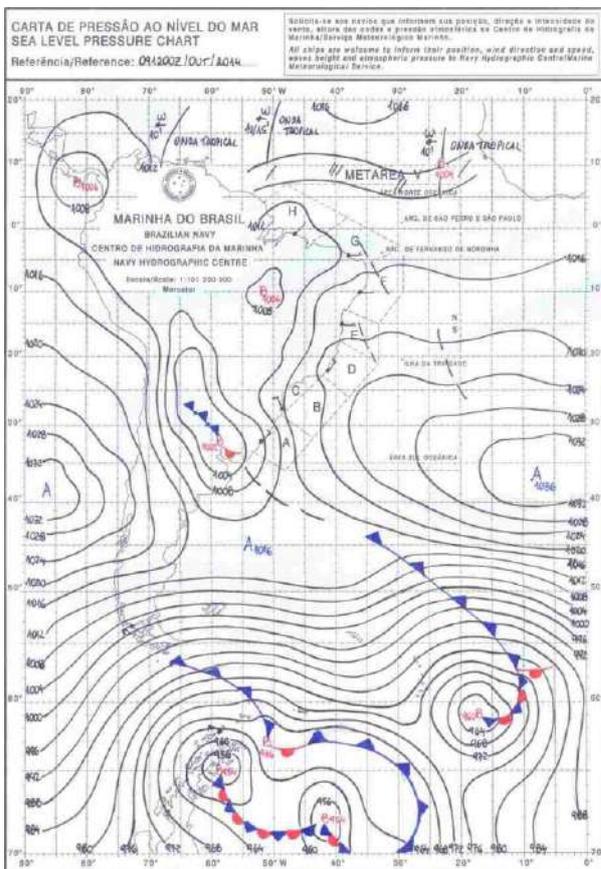


Figura 64: Carta sinótica do dia 09/10/2014. Marinha do Brasil.

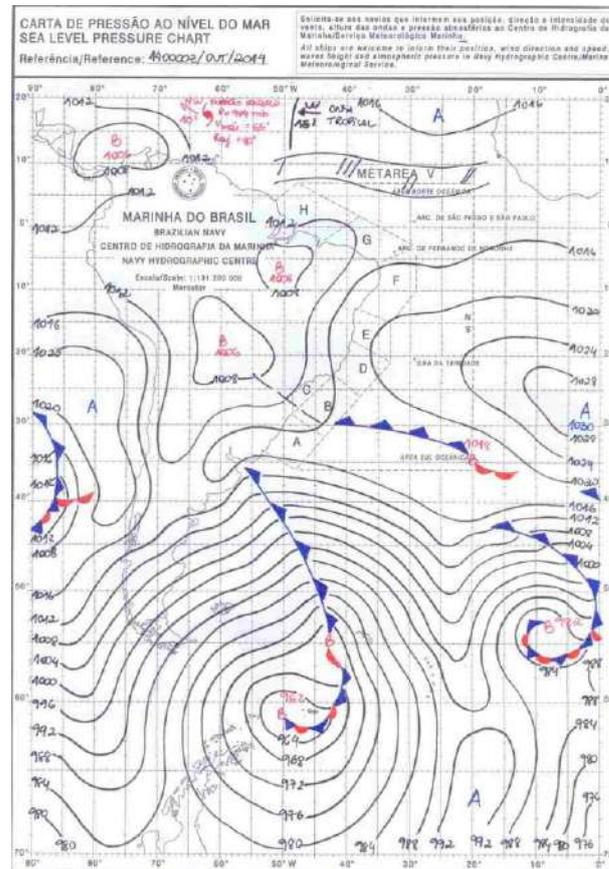


Figura 65: Carta sinótica do dia 14/10/2014. Marinha do Brasil.

Logo em 18 de outubro (Figuras 66 e 68), outra frente fria se aproximou, trazendo de volta a nebulosidade e um período de instabilidade atmosférica que culminou em chuvas. Em 22 de outubro (Figuras 67 e 69), um sistema de alta pressão atuou novamente sobre a região, estabilizando a atmosfera e ocasionando dias secos. Finalmente, em 28 de outubro (Figuras 70 e 71), a passagem de mais uma frente fria aumentou a instabilidade atmosférica e a umidade, favorecendo a ocorrência de chuvas em Belo Horizonte.

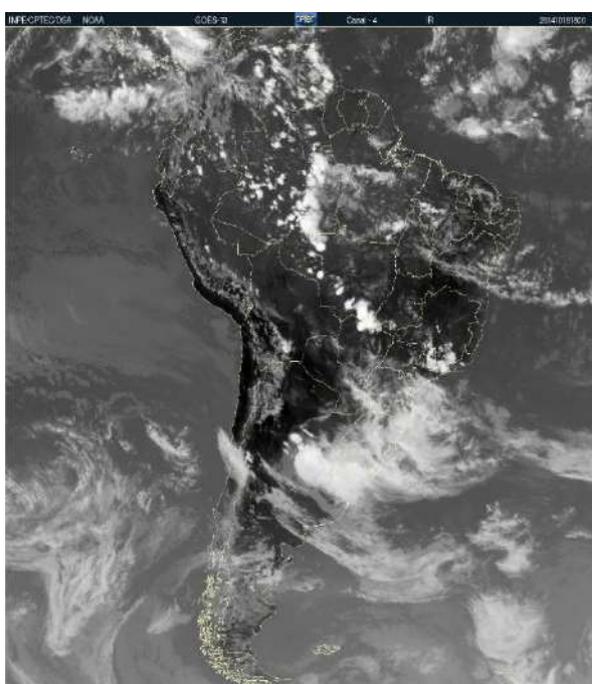


Figura 66: Imagem de satélite do dia 18/10/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

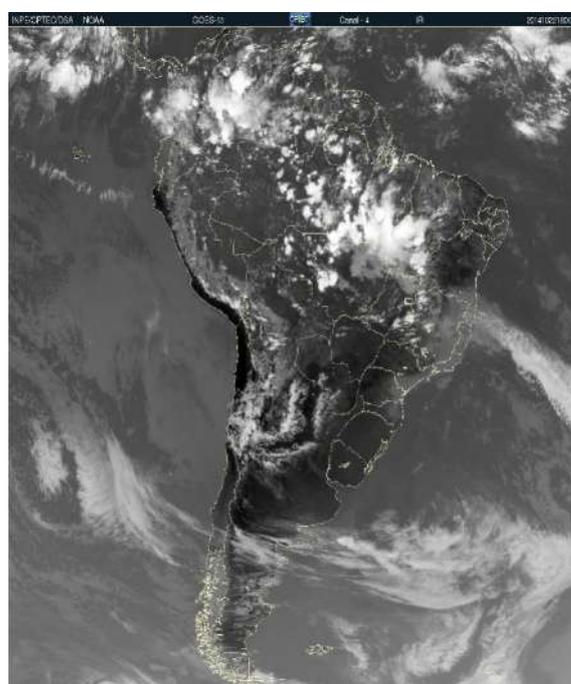


Figura 67: Imagem de satélite do dia 22/10/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

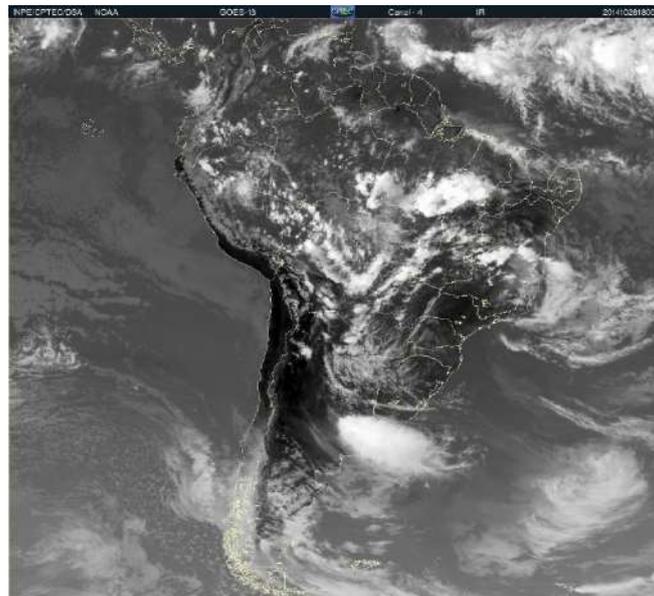


Figura 68: Imagem de satélite do dia 28/10/2014. Fonte: INPE/CPTec.

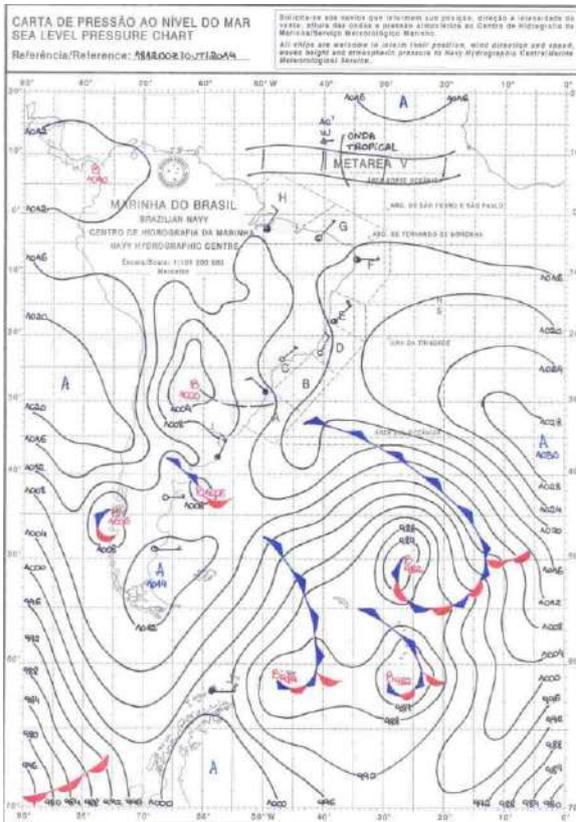


Figura 69: Carta sinótica do dia 18/10/2014. Marinha do Brasil.

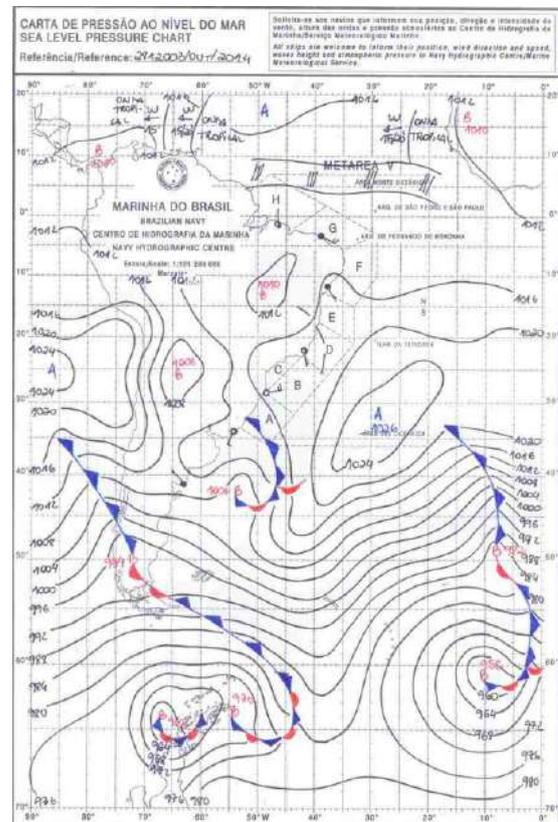


Figura 70: Carta sinótica do dia 22/10/2014. Marinha do Brasil.

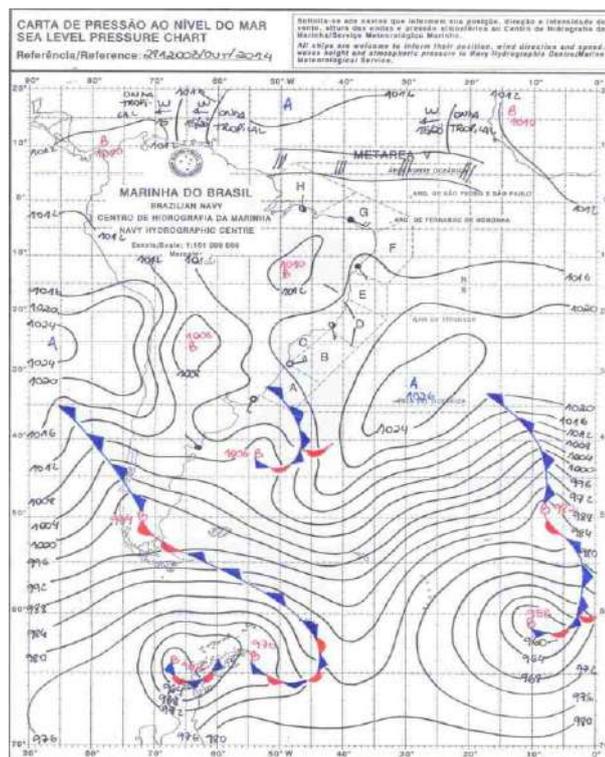


Figura 71:Carta sinótica do dia 29/10/2014. Marinha do Brasil.

Em novembro de 2014, as imagens de satélite revelam a influência de diversos sistemas atmosféricos sobre Belo Horizonte. No início de novembro, propriamente dito, no dia 1º de novembro (Figuras 72 e 74), uma frente fria avançava pelo sul do Brasil, influenciando o clima na região Sudeste, incluindo Belo Horizonte. Observa-se a formação de nuvens densas e nebulosidade intensa, indicando a presença de um sistema de baixa pressão associado a essa frente fria. No dia 6 de novembro (Figuras 73 e 75), a imagem mostra a continuidade da influência da frente fria que passou pela região. A formação de nuvens convectivas e a presença de áreas de precipitação sugerem que a massa de ar frio ainda estava impactando o Sudeste, promovendo instabilidade atmosférica e potencial para chuvas.

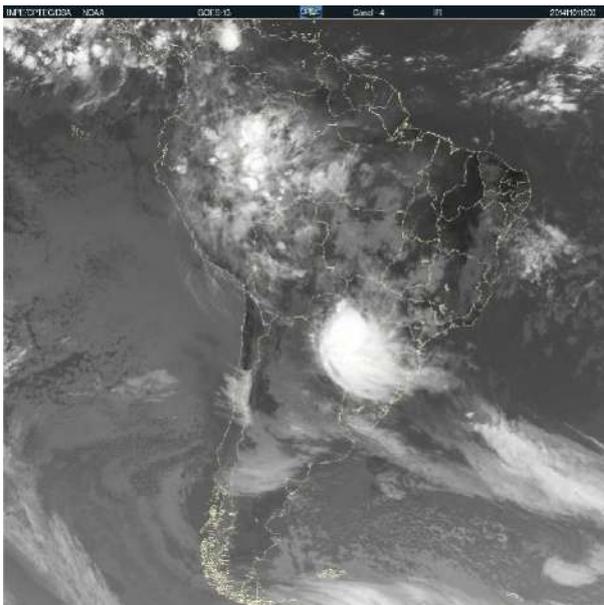


Figura 72: Imagem de satélite do dia 01/11/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

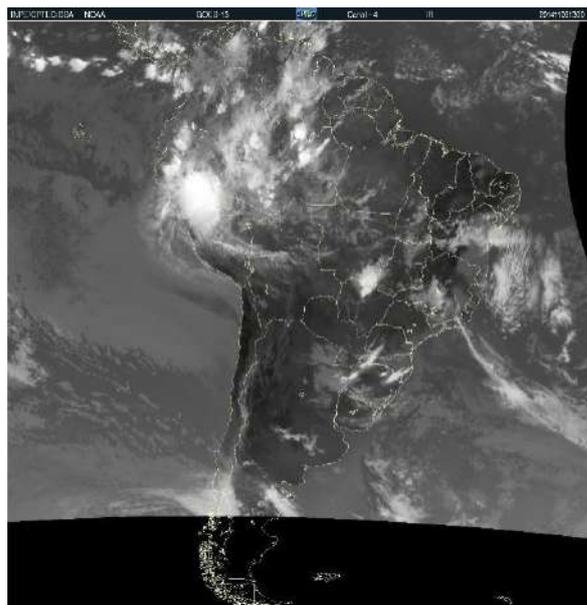


Figura 73: Imagem de satélite do dia 06/11/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

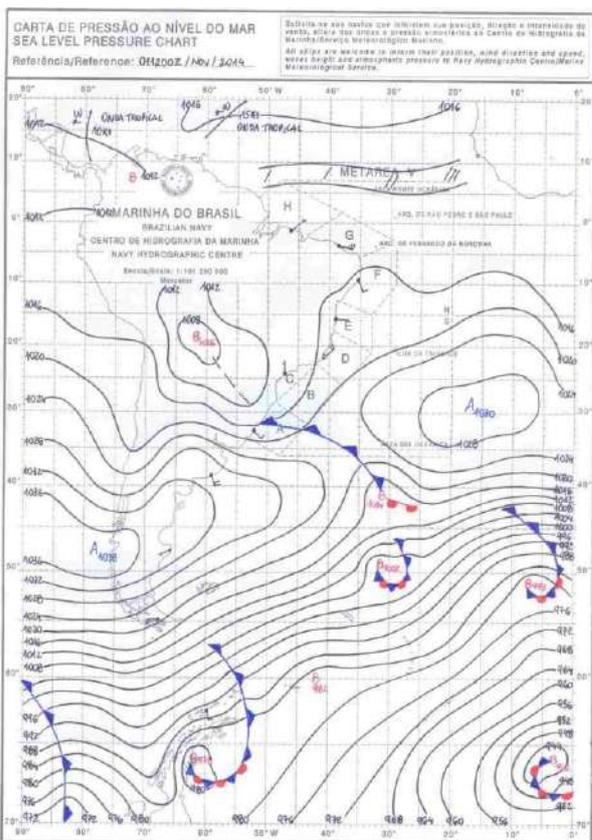


Figura 74: Carta sinótica do dia 01/11/2014. Marinha do Brasil.

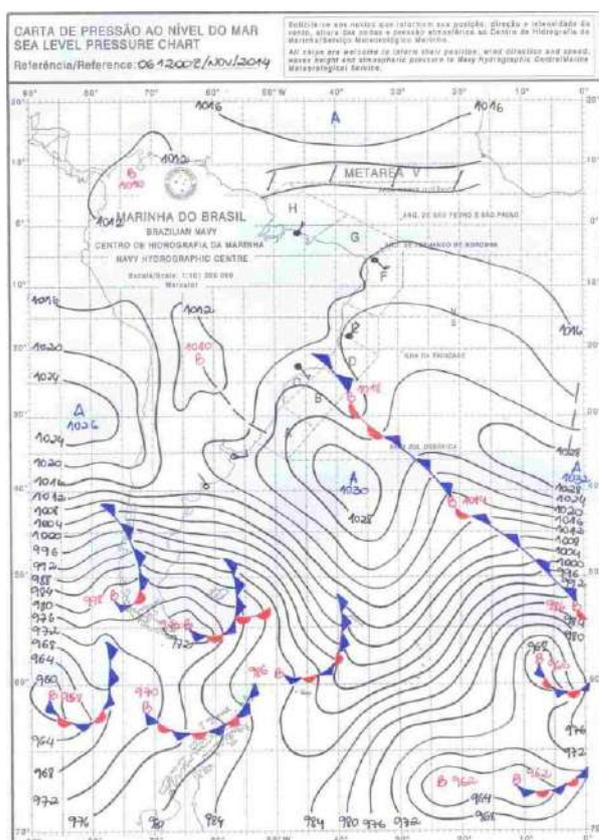


Figura 75: Carta sinótica do dia 06/11/2014. Marinha do Brasil.

Em 11 de novembro (Figuras 76 e 78), uma nova frente fria se aproxima da região Sudeste, trazendo novamente condições de alta nebulosidade e chuvas. O sistema de alta pressão (ASAS) ao sul do continente estabilizou temporariamente o clima, mas a frente fria rapidamente trouxe de volta a instabilidade. No dia 15 de novembro (Figuras 77 e 79), a massa de ar tropical úmido começa a dominar, trazendo umidade e calor para a região Sudeste. Belo Horizonte e áreas adjacentes experimentam tempo instável com possibilidade de chuvas esparsas, típicas desta transição de sistemas atmosféricos.

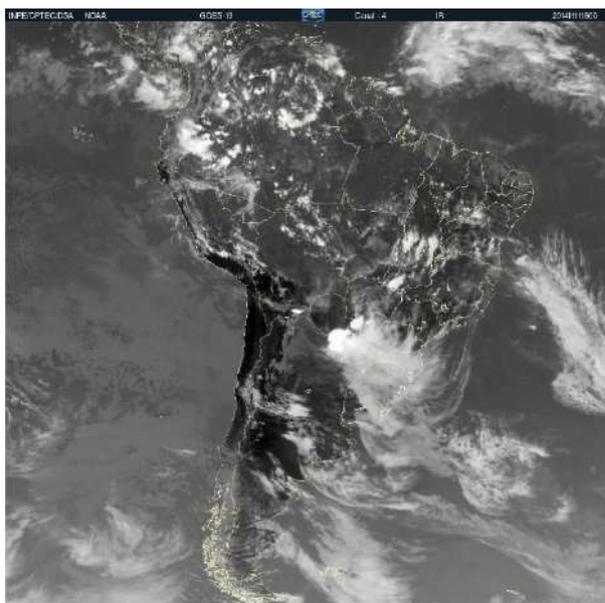


Figura 76: Imagem de satélite do dia 11/11/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

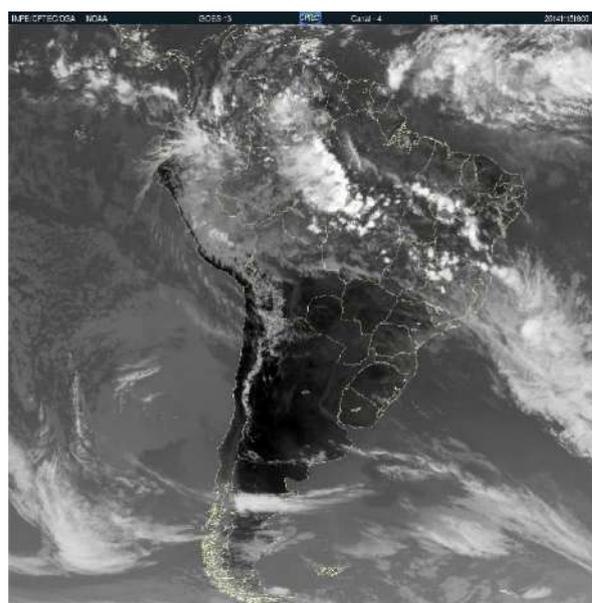


Figura 77: Imagem de satélite do dia 15/11/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

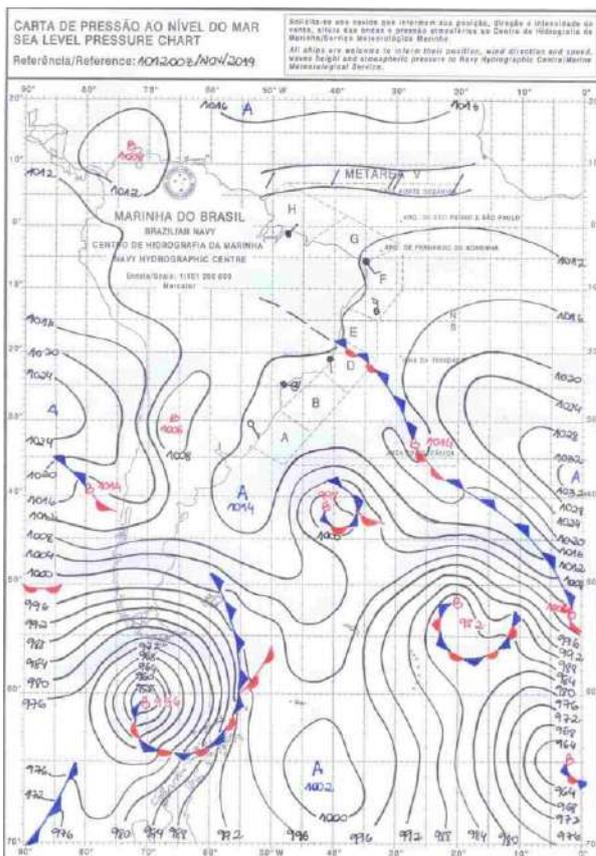


Figura 78: Carta sinótica do dia 11/11/2014. Marinha do Brasil.

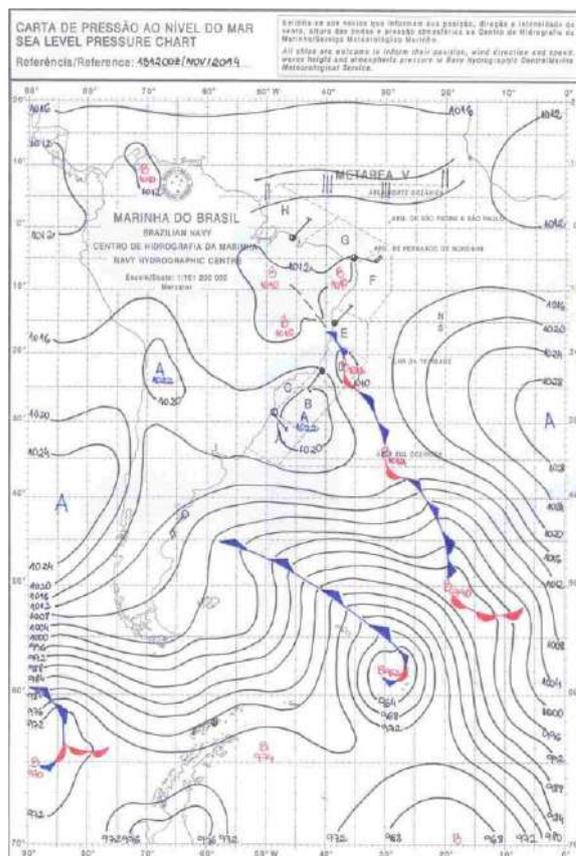


Figura 79: Carta sinótica do dia 15/11/2014. Marinha do Brasil.

Em 18 de novembro (Figuras 78 e 80), a imagem navy revela a presença de um sistema de alta pressão (ASAS) sobre o oceano, o que estabiliza temporariamente o clima sobre Belo Horizonte, resultando em dias mais secos e temperaturas elevadas. Entretanto, a umidade ainda está presente, causando condições para chuvas isoladas. No dia 23 de novembro (Figuras 79 e 81), uma nova frente fria avança pelo sul do Brasil, trazendo de volta a nebulosidade e condições instáveis para o Sudeste. Belo Horizonte vê um aumento na cobertura de nuvens e chuvas mais frequentes, devido ao encontro da frente fria com a umidade local.

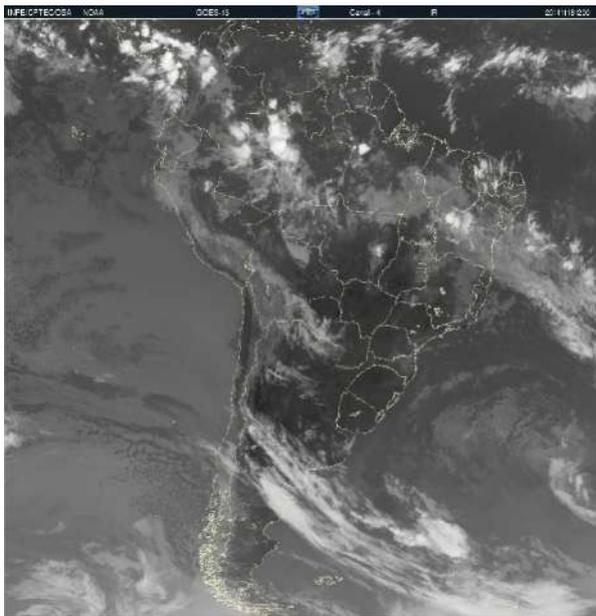


Figura 80: Imagem de satélite do dia 18/11/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

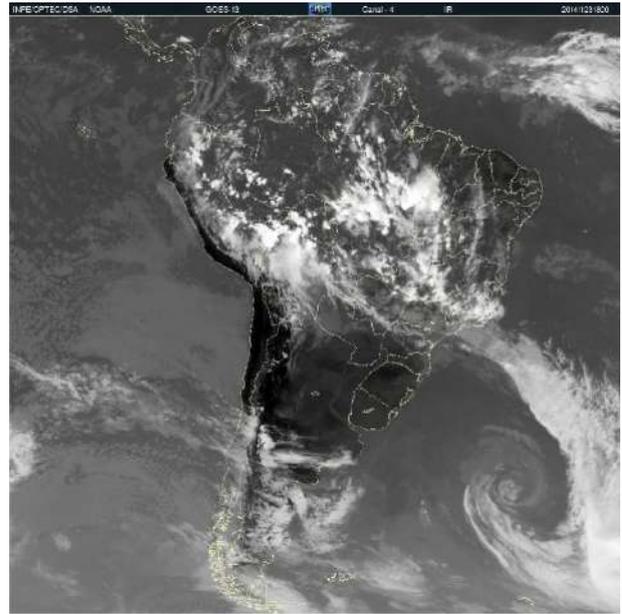


Figura 81: Imagem de satélite do dia 23/11/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

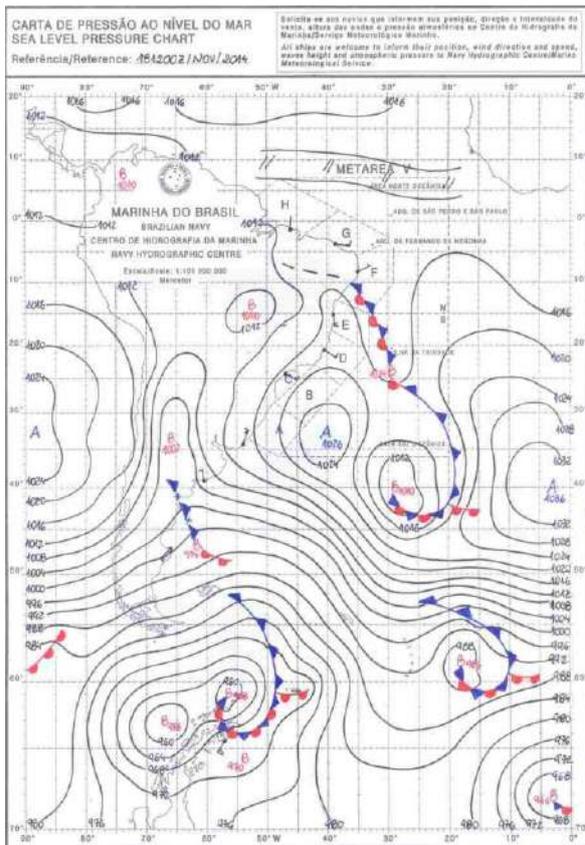


Figura 82: Carta sinótica do dia 18/11/2014. Marinha do Brasil.

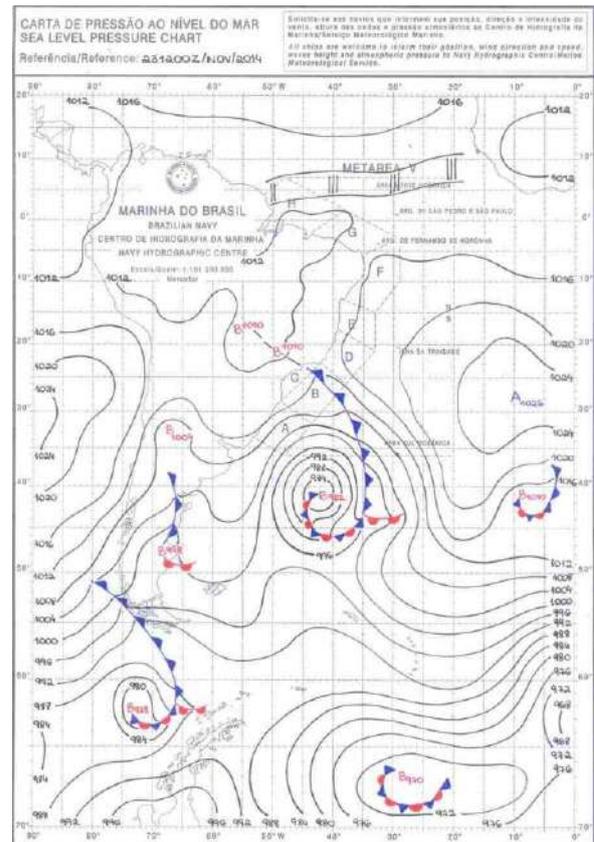


Figura 83: Carta sinótica do dia 23/11/2014. Marinha do Brasil.

No dia 26 de novembro (Figuras 82 e 84), a frente fria continua a influenciar o clima na região sudeste. Nota-se na imagem a formação de nuvens densas e possíveis tempestades, particularmente sobre Belo Horizonte, devido à interação entre a massa de ar frio e a umidade tropical. No final do mês, a imagem de 29 de novembro (Figuras 83 e 85) mostra a presença de um sistema de baixa pressão sobre o sul do Brasil, com um intenso desenvolvimento de nuvens convectivas. A mTa continua a trazer umidade, resultando em chuvas frequentes sobre Belo Horizonte e a região Sudeste.

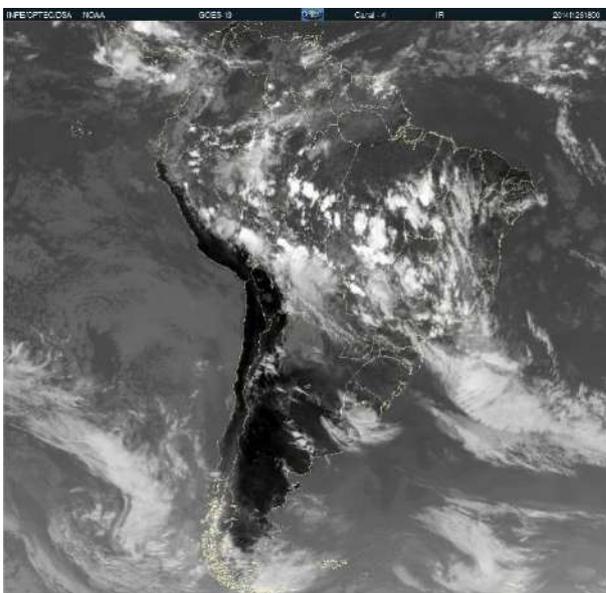


Figura 84: Imagem de satélite do dia 26/11/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

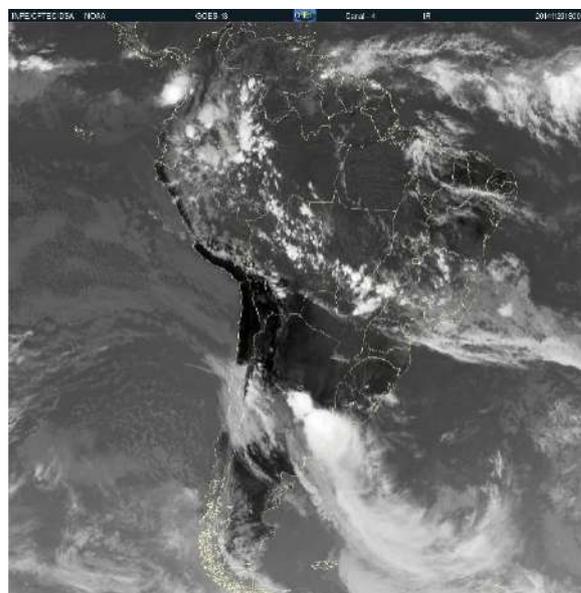


Figura 85: Imagem de satélite do dia 29/11/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

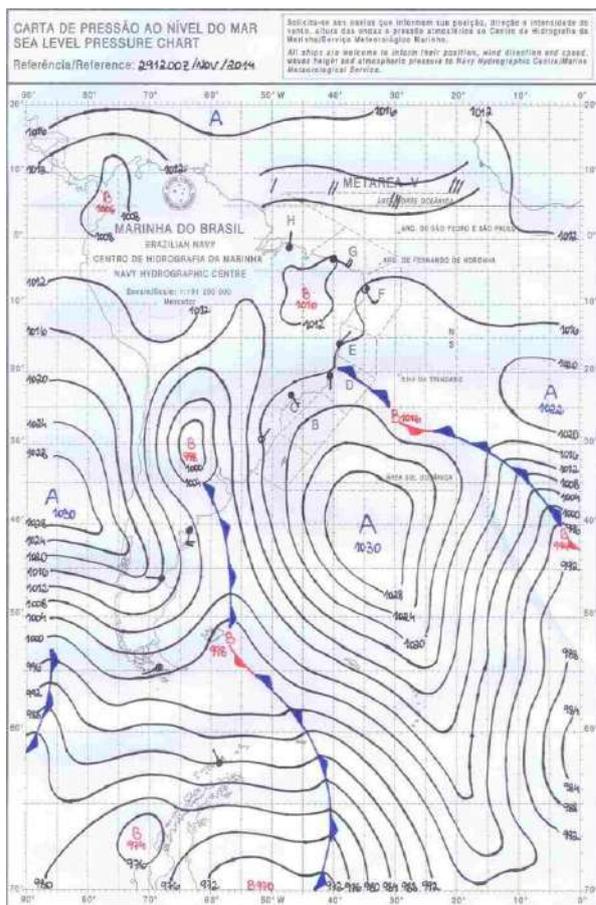


Figura 86:Carta sinótica do dia 26/11/2014. Marinha do Brasil.

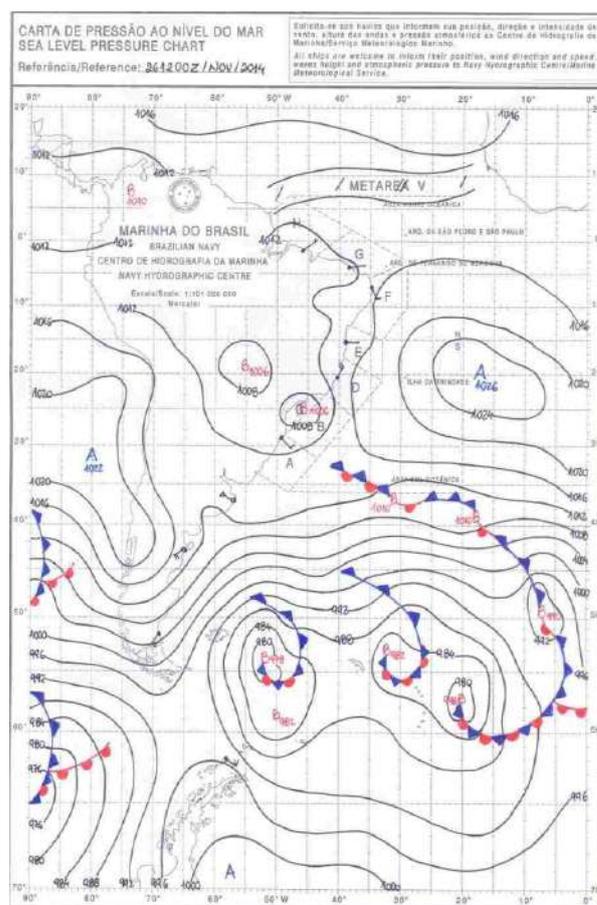


Figura 87:Carta sinótica do dia 29/11/2014. Marinha do Brasil.

Durante novembro de 2014, Belo Horizonte e a região Sudeste foram impactadas por uma série de frentes frias e massas de ar úmidas. As frentes frias trouxeram períodos de instabilidade atmosférica, com chuvas intensas e variação de temperatura. Entre os eventos, sistemas de alta pressão ocasionalmente estabilizaram o clima, resultando em dias secos e quentes. As interações entre as massas de ar e os sistemas frontais explicam os padrões variáveis de precipitação observados em Belo Horizonte ao longo do mês.

Em dezembro de 2014, as imagens de satélite continuam a revelar a influência de diversos sistemas atmosféricos sobre Belo Horizonte. No início do mês, a imagem de 1º de dezembro (Figuras 86 e 88) mostra uma frente fria avançando pelo sul do Brasil, afetando a região Sudeste. Belo Horizonte experimentou aumento de nebulosidade e possibilidade de chuvas devido à instabilidade atmosférica associada a essa frente. No dia 6 de dezembro (Figuras 87 e 89), a frente fria continua a

influenciar a região Sudeste. Nuvens convectivas são visíveis, indicando instabilidade e a possibilidade de chuvas em Belo Horizonte e áreas adjacentes.

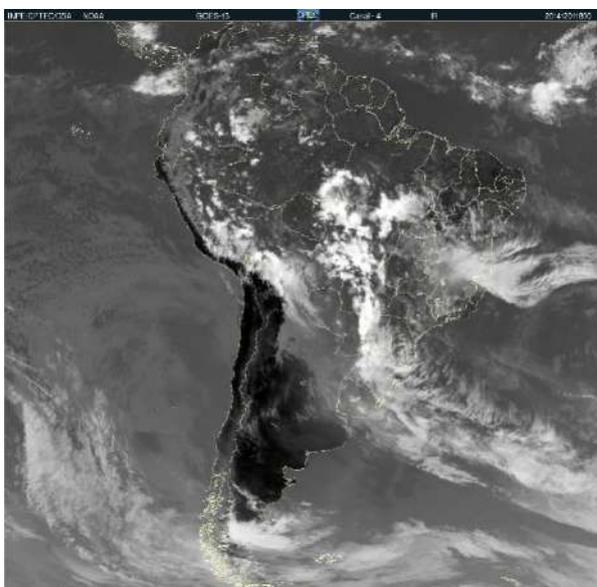


Figura 88: Imagem de satélite do dia 01/12/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

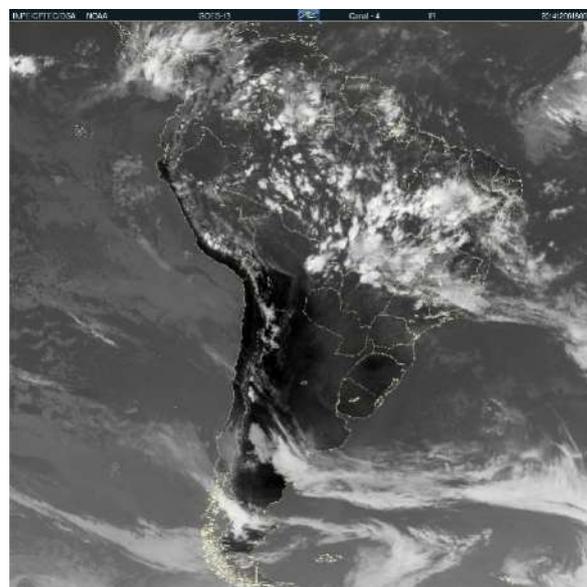


Figura 89: Imagem de satélite do dia 06/12/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

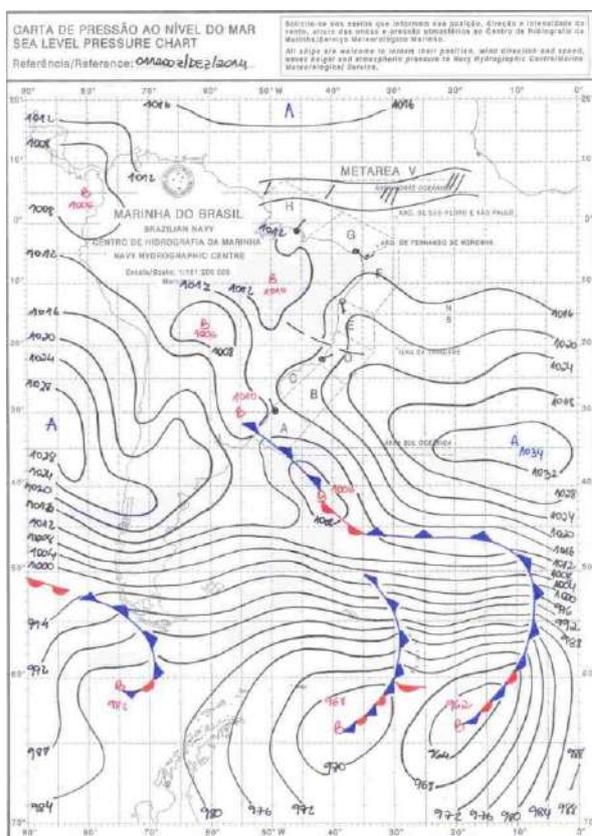


Figura 90: Carta sinótica do dia 01/12/2014. Marinha do Brasil.

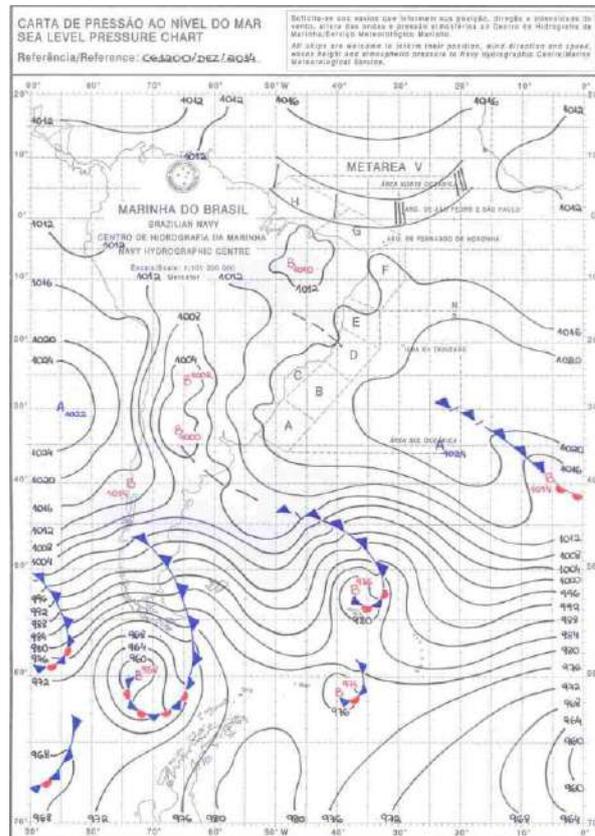


Figura 91: Carta sinótica do dia 06/12/2014. Marinha do Brasil.

No dia 11 de dezembro (Figuras 90 e 92), um sistema de baixa pressão está presente sobre o sul do Brasil, trazendo umidade e instabilidade para a região sudeste. Belo Horizonte permanece sob condições de tempo instável, com alta umidade e chuvas frequentes. No dia 14 de dezembro (Figuras 91 e 93), a imagem revela a presença de uma nova frente fria avançando pelo sul do Brasil. A região sudeste, incluindo Belo Horizonte, experimenta aumento de nebulosidade e instabilidade, resultando em chuvas significativas e a configuração de uma ZCOU neste dia.

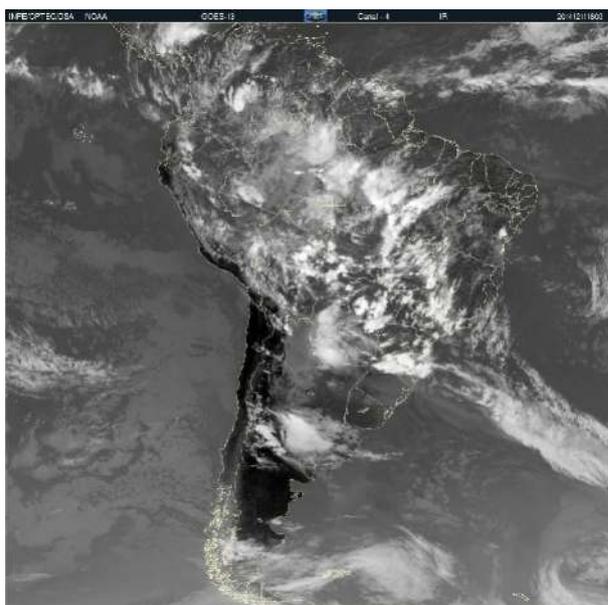


Figura 92: Imagem de satélite do dia 11/12/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.



Figura 93: Imagem de satélite do dia 14/12/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

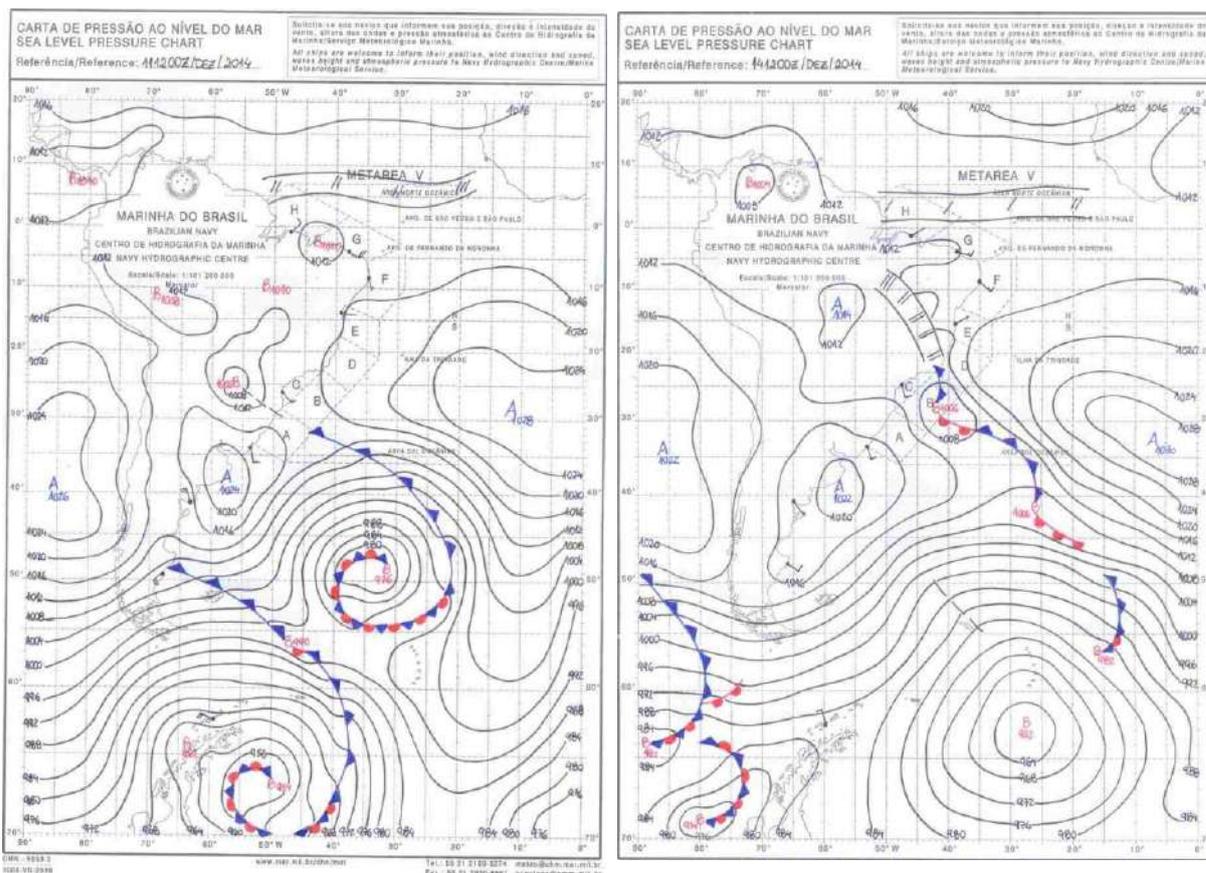


Figura 94:Carta sinótica do dia 11/12/2014. Marinha do Brasil.

Figura 95:Carta sinótica do dia 14/12/2014. Marinha do Brasil.

No dia 19 de dezembro (Figuras 94 e 96), um sistema de alta pressão (ASAS) estabiliza temporariamente o clima sobre Belo Horizonte, resultando em dias mais secos e temperaturas elevadas. No entanto, a umidade ainda está presente, o que pode causar chuvas isoladas. No dia 24 de dezembro (Figuras 95 e 97), uma nova frente fria se aproxima do sul do Brasil, trazendo novamente condições de instabilidade para a região Sudeste. Belo Horizonte vê aumento na cobertura de nuvens e chuvas devido à interação da frente fria com a umidade local.

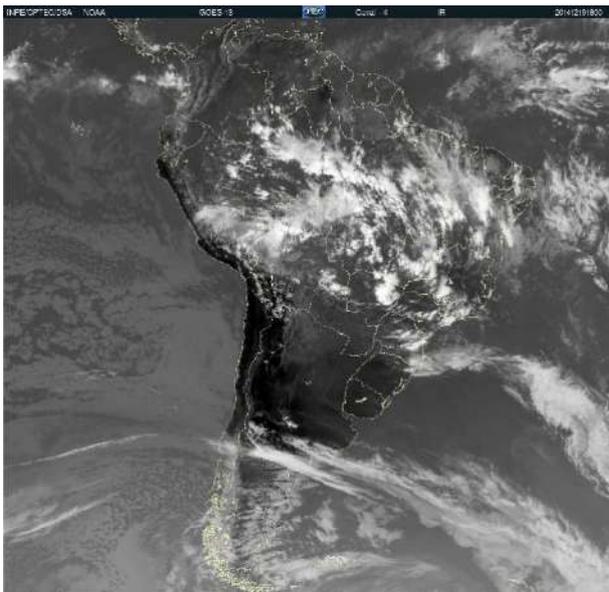


Figura 96: Imagem de satélite do dia 19/12/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

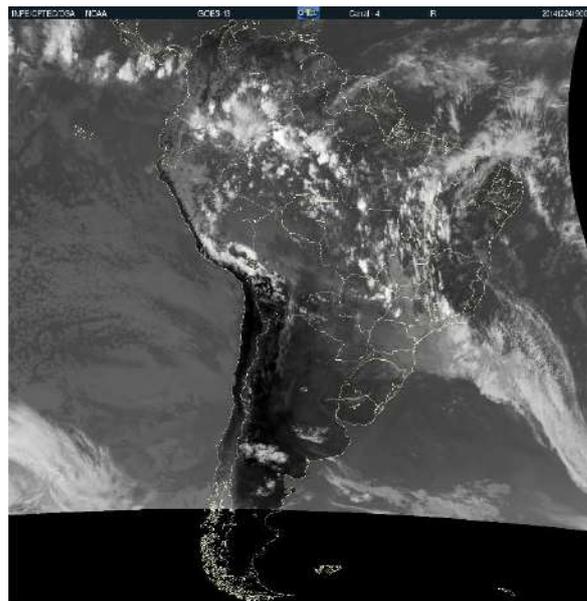


Figura 97: Imagem de satélite do dia 24/12/2014. Fonte: INPE/CPTEC.

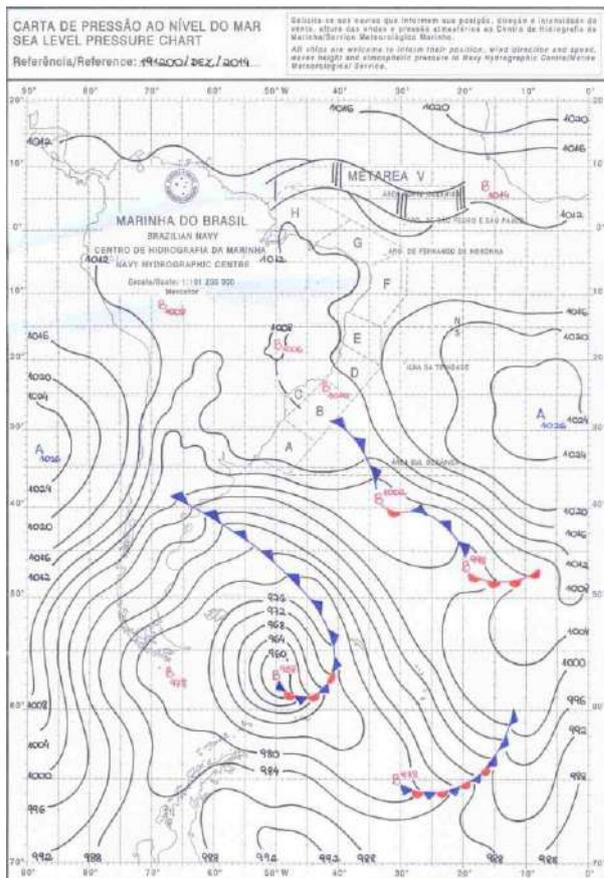


Figura 98: Carta sinótica do dia 19/12/2014. Marinha do Brasil.

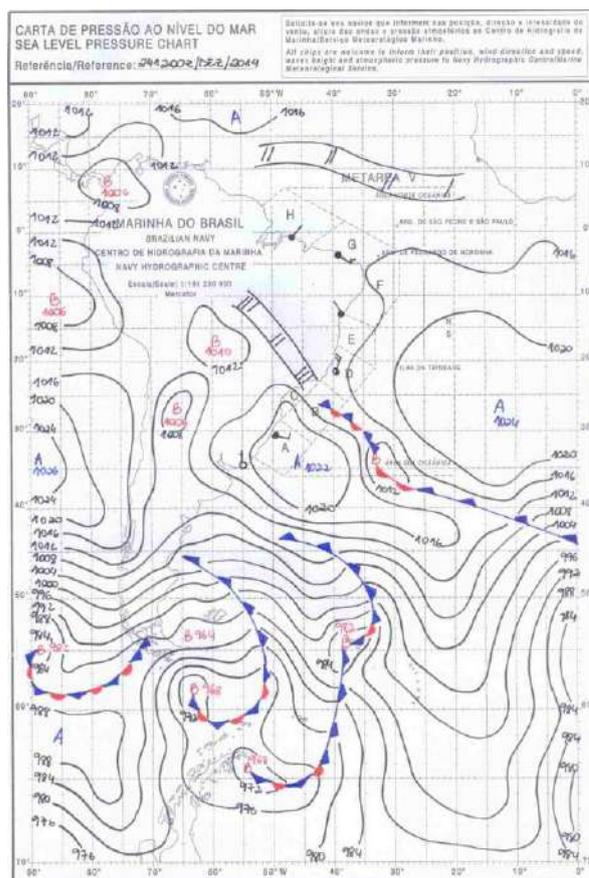


Figura 99: Carta sinótica do dia 24/12/2014. Marinha do Brasil.

No dia 27 de dezembro (Figuras 98 e 100), a frente fria continua a influenciar o clima na região Sudeste. Nuvens densas e tempestades são visíveis, especialmente sobre Belo Horizonte, devido à interação entre a massa de ar frio e a umidade tropical. No final do mês, a imagem de 31 de dezembro (Figuras 99 e 101) mostra a presença de um sistema de baixa pressão sobre o sul do Brasil, com intenso desenvolvimento de nuvens convectivas. A massa de ar tropical continua a trazer umidade, resultando em chuvas frequentes sobre Belo Horizonte e região sudeste.

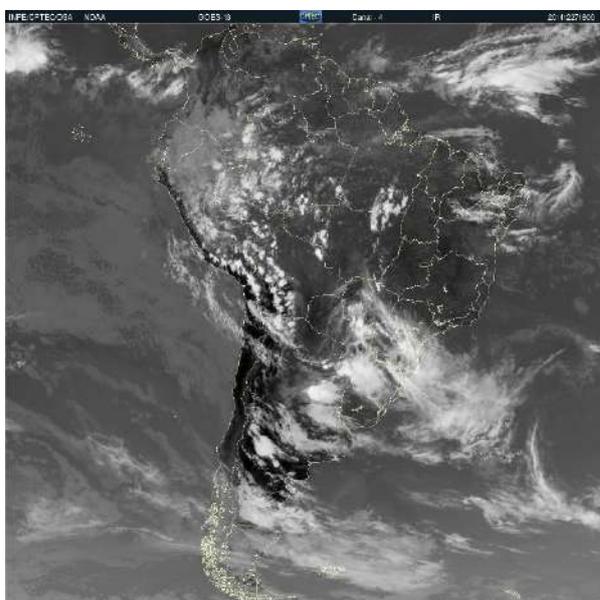


Figura 100:Imagem de satélite do dia 27/12/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

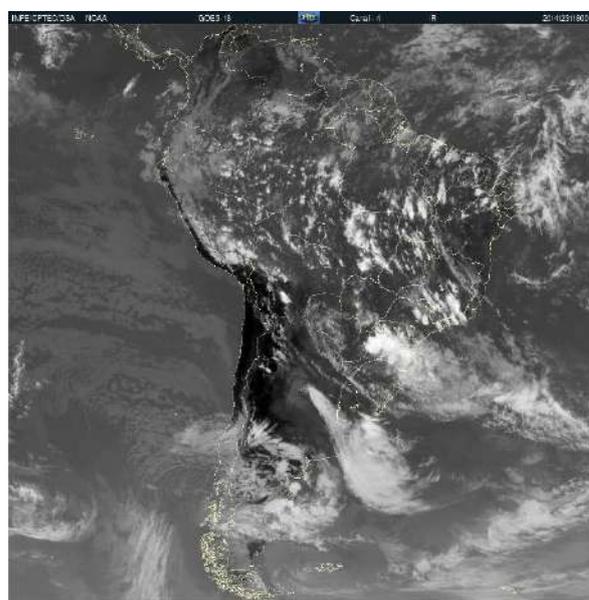


Figura 101:Imagem de satélite do dia 31/12/2014.
Fonte: INPE/CPTEC.

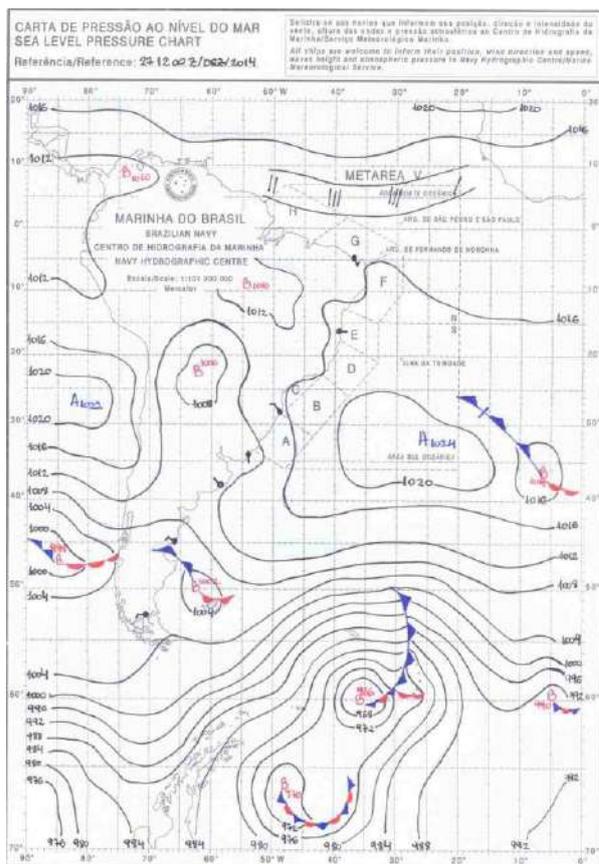


Figura 102:Carta sinótica do dia 27/12/2014. Marinha do Brasil.

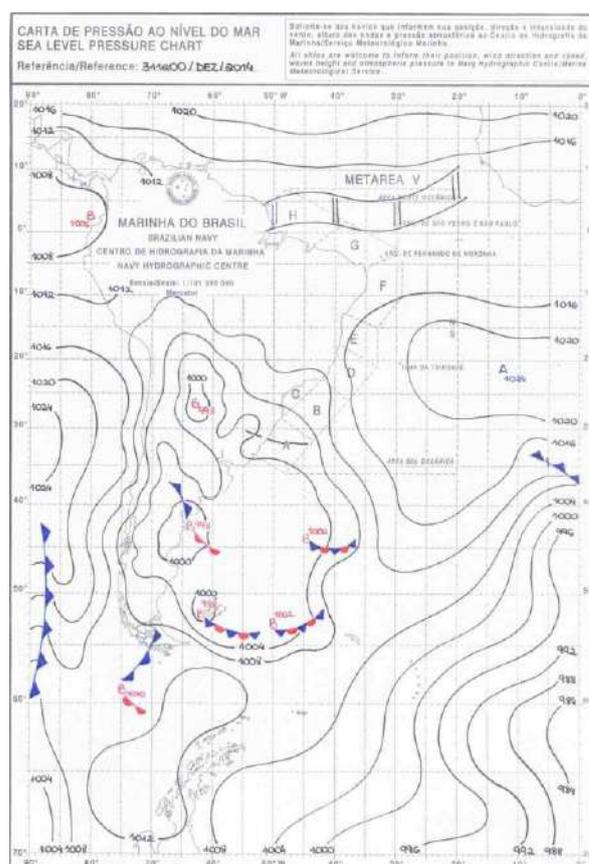


Figura 103:Carta sinótica do dia 31/12/2014. Marinha do Brasil.

Durante a estação chuvosa "seca" de 2014, sistemas atmosféricos de origem tropical predominaram em Belo Horizonte. Tanto a massa Equatorial Continental (mEc) quanto a massa Tropical Atlântica (mTa) tiveram uma presença marcante, mais intensa do que em estações chuvosas anteriores.

No entanto, apesar dessa presença, essas massas de ar não geraram chuvas significativas, especialmente a mTa. Em média, a mEc e a mTa foram responsáveis por uma quantidade modesta de precipitação na cidade. A maior atuação dessas massas de ar na estação chuvosa "seca" se deve, em parte, à menor influência de outros sistemas, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que normalmente aumenta os volumes de precipitação na região.

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que geralmente impede a formação de chuvas, esteve bastante presente durante a estação chuvosa "seca".

Surpreendentemente, sua atuação foi menos intensa nesse período (de outubro a dezembro) em comparação com a estação chuvosa "úmida".

Outros sistemas, como a massa Polar Atlântica (mPa) e as Frentes Frias (FF), também tiveram uma influência menor durante a estação chuvosa "seca". Houve, contudo, um aumento na atuação da mPa na formação de chuvas em comparação com outras estações. Os principais geradores de chuva, como a ZCAS e a Zona de Convergência Intertropical (ZCOU) atuaram menos durante a estação chuvosa "seca", tendo como resultado menores volumes absolutos de precipitação.

Mesmo assim, esses sistemas ainda contribuíram significativamente para as chuvas. A atuação desses sistemas variou bastante no município estudado, com algumas regiões registrando maior participação da ZCOU e da ZCAS na formação das chuvas.

No geral, a análise das condições atmosféricas e dos sistemas atuantes durante a estação chuvosa "seca" de 2014 mostra como diferentes fatores influenciam a distribuição e a quantidade de chuvas na região sudeste, especialmente em Belo Horizonte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a dinâmica das chuvas em Belo Horizonte, com foco no ano seco de 2014, visando compreender melhor os padrões climáticos e suas consequências. Observou-se que a variação climática na região é marcada por períodos alternados de seca e chuvas intensas, ressaltando a importância do gerenciamento adequado dos recursos hídricos para evitar problemas futuros.

A análise histórica e estatística dos dados de precipitação, abrangendo o período de 1961 a 2020, revelou que 2014 foi um ano excepcionalmente seco. Esse déficit hídrico afetou o abastecimento de água e diversas atividades, como a agricultura e a vida urbana em geral. Foram estudados detalhadamente os dados meteorológicos para entender os fenômenos que contribuíram para essa situação.

Foi identificado que diversos sistemas atmosféricos, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as massas de ar tropical e polar, influenciam as chuvas em Belo Horizonte. Em 2014, a ausência da ZCAS foi um fator importante que contribuiu para o motivo da seca.

Para enfrentar esses desafios, é essencial adotar políticas de gestão e conservação da água que considerem a variabilidade climática e os episódios extremos. Investir em infraestrutura para armazenamento de água e promover o uso eficiente desses recursos são passos cruciais para garantir a sustentabilidade hídrica. Além disso, as cidades precisam se adaptar às mudanças climáticas, incluindo estratégias para lidar com secas e chuvas intensas. Isso pode ser feito através do planejamento urbano, como a ampliação de áreas verdes e a criação de sistemas de drenagem sustentáveis.

Aprender com eventos climáticos passados e como a sociedade reagiu a eles é fundamental. Isso nos mostra a importância de estarmos preparados e de agirmos proativamente para evitar crises semelhantes no futuro. Compreender os padrões climáticos e suas consequências nos permite formular políticas mais eficazes e promover uma gestão mais responsável dos nossos recursos hídricos.

Fortalecer o monitoramento e a previsão climática é crucial para antecipar eventos extremos e preparar respostas adequadas. O uso de tecnologias geoespaciais e sistemas de informação geográfica pode melhorar a coleta e análise de dados, proporcionando informações mais precisas para a tomada de decisão.

A crise hídrica de 2014 em Belo Horizonte foi um alerta sobre a urgência de adotar ações sustentáveis para enfrentar desafios futuros e garantir a segurança hídrica e o bem-estar das gerações presentes e futuras.

Em resumo, a análise detalhada das chuvas em Belo Horizonte em 2014 ajudou a entender melhor os desafios e as oportunidades na gestão dos recursos hídricos e na adaptação urbana. Integrar dados históricos, ferramentas tecnológicas e políticas de gestão eficiente é fundamental para enfrentar as futuras variações climáticas e garantir o bem-estar da população.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, W. L. **O Sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. Tese (Doutorado em Geografia), DG/IGC/UFMG, Belo Horizonte, 2010.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de M.J. Z. Santos. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332 p.
- BALDO, M. C., GARCIA TOMMASSELLI, J. T., YUTII KAWAHARA, L. F., & ARISSA NUMAI, A. (2021). **Tendência da precipitação anual e do número de dias com chuva no município de Alto Piquiri-PR utilizando o teste de Mann-Kendall**. *Formação (Online)*, 28(53). <https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8364>
- BARBOSA, J. P. M., De-CAMPOS, A. B., & SANTOS, V. M. N. d. **Metodologias e escala na climatologia geográfica: técnicas Estatísticas e visão multiescalar para a compreensão do comportamento do clima**. 2022
- BORSATO, Victor. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: Editora CRV, 2016, 182 p.
- CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Boletim Técnico**. 2020. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999, 35-50 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Editora Hucitec, 1979. Capítulos 1 e 2.
- CLIMANÁLISE. **Boletim de monitoramento e análise climática**. INPE/CPTEC, 2014. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>
- CPTEC. **Climanálise**: volume 29 (nº 4). Disponível em: < <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/> >. Acesso em: 28 de abril de 2024.
- DE MATTOS, Sérgio Henrique Vannucchi Lemes; PEREZ FILHO, Archimedes. **Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 5, n. 1, 2004.
- FERREIRA, N.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. **Composição da zona de convergência do atlântico sul em períodos de El Niño e La Niña**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.
- FERREIRA, A. G. **Meteorologia prática**. Editora: Oficina de textos, 2006.

FREITAS, C. M. de, SILVA, D. R. X., SENA, A. R. M. de, SILVA, E. L., SALES, L. B. F., CARVALHO, M. L. de MAZOTO, M. L., BARCELLOS, C., COSTA, A. M., OLIVEIRA M. L. C., & CORVALÁN, C. (2014). **Desastres naturais e saúde: uma situação do Brasil**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19(9), 3645-3656. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014>

GALVANI, E; LIMA, N. G. B; ALVES, R. R. **Variabilidade e tendência das precipitações no litoral sul de São Paulo**. *Revista GEONORTE, Edição Especial 2*, v.1, n.5, p. 1163-1176, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidade**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: fevereiro de 2023.

KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F. **Eventos de oscilação do sul – El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação**. *Ciências e Cultura*, 36 (11): 1188-1199, 1984.

JARDIM, C.H. **A representação gráfica dinâmica como subsídio à elaboração da carta de unidades climáticas**. *GEOGRAFIAS*, Belo Horizonte, v.6, n.1, 140-151p, 2010.

JARDIM, C. H. **"Médias" e "Desvios" na análise geográfico-climatológica: o episódio de chuva concentrada do dia 23 de novembro de 2010 e o veranico de janeiro/fevereiro de 2011 em Belo Horizonte - MG**. *Revista Geografias*, v. 8, n. 1, p. 35-49, 2012.

JARDIM, C.H. **A "Crise Hídrica" no sudeste do Brasil: aspectos climáticos e repercussões ambientais**. *Tamóios, São Gonçalo (RJ)*, ano 11, n.2, p.67-83, jul/dez. 2015.

JARDIM, C. H., GALVANI, E., SILVA, M. R., GARCIA, R. A. **Variação local das chuvas e temperatura do ar nas áreas limítrofes ao planalto meridional do espinhaço**: Belo Horizonte, Sete Lagoas e Conceição do Mato Dentro. Trabalho inédito, 2017.

LUCAS, T. de P. B. **Chuvas persistentes e ação da zona de convergência do atlântico sul na região metropolitana de Belo Horizonte**. Belo Horizonte (MG): UFMG, Dissertação, 2007.

MARTINELLI, M. **"Cartografia dinâmica: espaço e tempo nos mapas"**. *Geosp: espaço e tempo*, 18, 53-66, 2005.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A; ALVES, L.M.; MENDIOND, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo**. *Revista USP*, n.106, p. 31-44, 2015.

MELO, M. C. de, Queiroz, V. C., Formiga-Johnsson, R. M., Azevedo, J. P. S. de, Nascimento, N. de O., Machado, F. L. V., Sá, R. V. de, & Rimulo, B. A. (2021).

Avaliação da segurança hídrica para abastecimento público na região metropolitana de Belo Horizonte: estudo da crise Hídrica 2014-2015. Revista Brasileira De Climatologia, 27, 680-701. <https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.62462>

MARINHA DO BRASIL (América do Sul). **Centro de Hidrografia. Cartas Sinóticas.** [S. l.: s. n.], 2022. Cartas Sinóticas. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>. Acesso em: 15 fev. 2024.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MONTEIRO, C. A. de F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno nas fachadas sul-orientais do Brasil.** São Paulo, Série Teses e Monografias 1, USP, 1969, 68p.

_____. **Análise rítmica em climatologia.** Problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. Climatologia, São Paulo, n.1, 1971, 1-21 p.

_____. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto de Geografia – Universidade de São Paulo, 1973.

_____. **Teoria e clima urbano.** São Paulo: USP, 1975, 181 p.

MOREIRA, G. L. **Estudo dos efeitos de parâmetros meteorológicos as estruturas elétricas de uma linha de instabilidade e de um complexo convectivo de mesoescala na região sudeste do Brasil.** Dissertação (Mestrado em meteorologia). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

MOURA, D., CABRAL, J., GENTIL, W., BARCELOS, A. D., & ALVES, W. D. S. **Análise comparativa da vazão do ribeirão Santo Antônio e do Ribeirão Santa Marta: visando a segurança hídrica da cidade de Iporá (GO).** Goiânia, 2018.

NASCIMENTO, Diego Tarley & Pessoa de Souza, Marco Aurélio & Silva, Guilherme Cardoso. **Representação e análise da distribuição espaço-temporal das chuvas a partir do pluviograma de Schroeder.** Goiânia, 2019.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989.

NOBRE, C. A.; Marengo, J. A.; Seluchi, M.E; CUARTAS, L. A.; ALVES, L.; ALVEZ, L. M. **Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil During 2014 and 2015.** Journal of Water Resource and Protection, v. 8, p. 252-262, 2016.

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL 1961-1990 / Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 2009.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PAOLUCCI, C. **O Risco hidrometeorológico no município de Belo Horizonte: eficientes e deficiências desde os anos 1990 e sua Gestão**. 2011 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zonas de convergência do atlântico sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 97 f. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos (SP), 1994.

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, F.A. da S.R., PEREIRA, L.L., AMADO, F.D.R.A., STRACIERI, J.S., LISBOA, G. dos S.L. **Aplicação da estatística descritiva: análise da precipitação pluviométrica no município de Canavieiras, BA**. 2020.
<https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2020v14n3.51721>

RIBEIRO, A.G. **As escalas do clima**. Rio Claro: Boletim de Geografia Teorética, 1993, 288-294 p.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia. Junho, 2013.

SANCHES, R. G. **Análise das chuvas diárias na região de São Carlos/SP por meio de índices climáticos e das tendências pluviométricas**. Tese. 201p. 28. jun. 2019. Universidade de São Paulo. Disponível em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-20082019-093802/>. Acesso em: 18/07/2023.

SANTOS, Bruno & SOUZA, Paulo & SANCHES, Rafael & VECCHIA, Francisco. (2017). **O comportamento da precipitação no verão 2013-2014 em São Carlos/SP a partir da classificação dos anos padrões**. 10.20396/sbgfa.v1i2017.2418.

SANTOS, V. J. dos; FIALHO, E. S. **Zona de convergência do atlântico sul (ZCAS) e impactos pluviiais intensos: O caso da cidade de ubá/MG**. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 12. v. 19. - Jul/Dez 2016. p. 218-238.

SILVA, M.R. **Influência do relevo e uso da terra nas variações locais de temperatura e umidade relativa do ar em Belo Horizonte, Ibirité, Sete Lagoas e Conceição do Mato Dentro - MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. **Mapeamento e caracterização da variabilidade dos anos padrão de pluviosidade para a região de Unaí-MG.** Geographia Opportuno Tempore, v.5, p.23-42, 2019 a.

SLUTER, C. R. **Uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento de projeto cartográfico como parte do processo de comunicação cartográfica.** Portal da Cartografia, v. 1, n. 1, p. 1-20, 2008.

TARIFA, José Roberto. **Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil.** Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 8, p. 15-27, 1994. ISSN 2236-2878.

TRICART, Jean. **O Conceito ecológico.** In: _____. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. p. 17-29.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia.** Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo, 200, 532p.

VIEIRA, C. A. **Estudo da atuação do anticiclone subtropical do atlântico sul (ASAS) sobre o parque estadual do Rio Doce (PERD) e seu entorno.** Dissertação (Mestrado) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Bambuí, 2020. 177 p.

VIDE, J. M. **Fundamentos de climatologia analítica.** Madrid: Sínteses, 1999.