

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

EDUARDA NORIKO TOKUDA

**DIAGNÓSTICO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA
PLUVIOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO DAS SECAS NA REGIÃO ALTO RIO
PARANÁ: 1990 A 2020**

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EDUARDA NORIKO TOKUDA

**DIAGNÓSTICO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA
PLUVIOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO DAS SECAS NA REGIÃO
ALTO RIO PARANÁ: 1990 A 2020**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre. Especialidade: Avaliação, Preservação e Quantificação de Recursos Hídricos.

Nome do orientador

Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira

Nome do Co-Orientador

Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T646d Tokuda, Eduarda Noriko.
Diagnóstico da variabilidade espacial e temporal da pluviometria e caracterização das secas na região Alto Rio Paraná:: 1990 a 2020 / Eduarda Noriko Tokuda. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
244 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2022

Orientador: Jefferson Nascimento de Oliveira
Coorientador: César Gustavo da Rocha Lima
Inclui bibliografia

1. Método dos Momentos-L (MML). 2. Região homogênea. 3. Índice de Porcentagem Normal (IPN). 4. Krigagem. 5. Seca.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DIAGNÓSTICO DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PLUVIOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO DAS SECAS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ: 1990 A 2020

AUTORA: EDUARDA NORIKO TOKUDA

ORIENTADOR: JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

COORIENTADOR: CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. RODRIGO LILLA MANZIONE (Participação Virtual)
FCE / UNESP/Tupa (SP)



PROF. DR. CRISTÓVÃO VICENTE SCAPULATEMPO FERNANDES (Participação Virtual)
Departamento de Hidráulica e Saneamento / Universidade Federal do Paraná

Ilha Solteira, 18 de fevereiro de 2022

Dedico este trabalho aos meus pais Fernando
Hiroshi Tokuda e Verinha Barreto Tokuda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa e manifesto minha eterna gratidão e admiração, em especial:

Ao professor e orientador Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira, pela confiança, amizade e por expandir minhas perspectivas sobre o mundo;

Ao professor e coorientador Dr. César Gustavo da Rocha Lima, por todos os conhecimentos compartilhados com tamanha solicitude, pela prestatividade, amizade e colaboração ímpar nesta pesquisa;

Ao professor Dr. Milton Dall'Aglio Sobrinho, por ter sido meu mentor em boa parte deste trajeto, por todo o acolhimento, disposição e ensinamentos transmitidos. Obrigada pela sua humildade e por me inspirar sempre;

Aos professores, Dra. Gláucia Amorim Faria, Dra. Luzenira Alves Brasileiro e Dr. José Augusto de Lollo, pelos ensinamentos fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico;

Ao meu companheiro Leonardo, por todo apoio, paciência e contribuição na revisão da pesquisa. Obrigada por ser minha base e estar sempre presente;

Aos técnicos Gilson e Ozias da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, por todo o suporte e ensinamentos;

Aos amigos Lana e André pelo apoio e incentivo no início deste trajeto;

Aos queridos amigos, Luis Augusto, Anielle, Sherington, Guilherme, Rodrigo e Danúbia, pela parceria e sorrisos compartilhados;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A carência de dados hidrológicos e o cenário de escassez hídrica fazem necessário um novo horizonte de planejamento das águas que depende da investigação das variáveis hidrológicas. Técnicas de regionalização que permitem a transferência de informações entre áreas homogêneas e o uso de métodos geoespaciais tornam possível o monitoramento contínuo e preventivo das chuvas em macroescala. Devido à crítica situação de escassez hídrica situada sobre a Região Hidrográfica do Rio Paraná e sua relevância nacional, o estudo teve como objetivo geral avaliar a variabilidade espaço-temporal das chuvas na região do alto curso do rio Paraná (Alto Rio Paraná) e a possível influência do El Niño – Oscilação Sul (ENOS) nas chuvas anuais durante o período de 1990 a 2020. A área de estudo compreende 14 unidades hídricas de planejamento das águas, distribuídas nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Os dados de precipitação foram obtidos junto ao banco de dados da Rede Hidrometeorológica Nacional. A priori foi analisada a disponibilidade temporal e espacial dos dados e proposta uma classificação para a densidade da rede observacional da área de estudo, além da identificação de áreas homogêneas de chuva para subsidiar a análise de consistência de dados. A determinação de regiões pluviométricas foi avaliada com base no Teste de Homogeneidade do Método dos Momentos-L. Posteriormente, efetuou-se o mapeamento da chuva, a partir das séries anuais de 408 estações, e o cálculo do Índice de Porcentagem Normal (IPN) para identificação e classificação da severidade das secas na região, realizando-se a interpolação dos dados por krigagem ordinária. Todos os mapas para os anos de 1990 a 2020 apresentaram dependência espacial moderada a alta, conforme seus ajustes semivariográficos, possibilitando a análise da influência do ENOS nas chuvas anuais, bem como a obtenção das médias decenais e normais para as regiões homogêneas e unidades hídricas. Os períodos e áreas secas e chuvosas foram avaliadas, não encontrando influência direta do ENOS, com base no Índice Oceânico Niño. Por fim, foram discutidos os impactos da escassez pluviométrica na região Alto Rio Paraná e efetuada a classificação das unidades quanto à vulnerabilidade da rede observacional e dos setores usuários. As análises possibilitaram identificar as unidades de Mato Grosso do Sul e São Paulo como maiores contribuintes nas secas identificadas na região Alto Rio Paraná, além de 2010 como decênio mais seco do período analisado, com maior contribuição do período de 2019/2020, onde as secas atingiram mais de 60% da área por dois anos consecutivos, evento nunca identificado nas últimas 3 décadas. As curvas do IPN respectivas à seca e umidade inicial permitiram verificar anos de crise hídrica e alta umidade quando seus percentuais atingiram 50% da região analisada. A metodologia para manipulação dos dados oficiais apresenta grande versatilidade permitindo seu uso em qualquer bacia hidrográfica. As classificações propostas para as unidades de gestão indicaram que a capacidade de gestão das águas na região deve ser aprimorada sob diferentes respectivas, tendo em vista a persistência no cenário de secas e a insuficiência da rede observacional.

Palavras-chave: MML. Região homogênea. IPN. Krigagem. Seca.

ABSTRACT

The lack of hydrological data and the scenario of water scarcity make a new horizon of water planning necessary, which depends on the investigation of hydrological variables. Regionalization techniques that allow the transfer of information between homogeneous areas and the use of geospatial methods make possible the continuous and preventive monitoring of rainfall on a macroscale. Due to the critical situation of water scarcity located over the Paraná River Hydrographic Region and its national relevance, the study aimed to evaluate the spatio-temporal variability of rainfall in the upper course of the Paraná River (Upper Paraná River) and the possible influence of El Niño – Southern Oscillation (ENSO) on annual rainfall during the period from 1990 to 2020. The study area comprises 14 water planning units, distributed in the states of Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais and São Paulo. Precipitation data were obtained from the database of the National Hydrometeorological Network. First, the temporal and spatial availability of the data was analyzed and a classification for the density of the observational network in the study area was proposed, in addition to the identification of homogeneous areas of rainfall to support the analysis of data consistency. The determination of the rainfall regions was evaluated based on the Homogeneity Test of the L-Moments Method. Subsequently, the rainfall mapping was carried out, based on the annual series of 408 stations, and the calculation of the Normal Percentage Index (IPN) to identify and classify the severity of droughts in the region, performing data interpolation by ordinary kriging. All maps for the years 1990 to 2020 showed moderate to high spatial dependence, according to their semivariographic adjustments, allowing the analysis of the influence of ENSO on annual rainfall, as well as obtaining decennial and normal averages for homogeneous regions and water units. The dry and rainy periods and areas were evaluated, finding no direct influence of ENSO, based on the Oceanic Niño Index. Finally, the impacts of rainfall scarcity in the Alto Rio Paraná region were discussed and the units were classified according to the vulnerability of the observational network and user sectors. The analyzes made it possible to identify the units of Mato Grosso do Sul and São Paulo as the largest contributors to the droughts identified in the Alto Rio Paraná region, in addition to 2010 as the driest decade of the analyzed period, with the greatest contribution from the period 2019/2020, where droughts reached more than 60% of the area for two consecutive years, an event never identified in the last 3 decades. The IPN curves related to drought and initial humidity allowed us to verify years of water crisis and high humidity when their percentages reached 50% of the analyzed region. The methodology for handling official data is highly versatile, allowing its use in any watershed. The classifications proposed for the management units indicated that the water management capacity in the region must be improved under different respective ones, in view of the persistence in the scenario of droughts and the insufficiency of the observational network.

Keywords: MML. homogeneous region. NPI. Kriging. Dry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Etapas do ciclo da água	25
Figura 2	- Componentes do sistema climático	27
Figura 3	- Regularização da temperatura do mar pelas correntes marítimas	28
Figura 4	- Fases do El Niño – Oscilação Sul	30
Figura 5	- Impactos climáticos globais ocasionados pela fase quente El Niño	31
Figura 6	- Impactos climáticos globais ocasionados pela fase fria La Niña	32
Figura 7	- Médias históricas do Índice Oceânico Niño de 1990 a 2021	33
Figura 8	- Conceitos básicos do semivariograma	52
Figura 9	- Localização da Bacia do Rio da Prata	58
Figura 10	- Nascente do rio Paraná e principais afluentes	58
Figura 11	- Região Hidrográfica Paraná	59
Figura 12	- Cobertura vegetal natural remanescente na Região Hidrográfica Paraná	60
Figura 13	- Localização da região Alto Rio Paraná e sub-bacias constituintes	61
Figura 14	- Classificação pedológica da região Alto Rio Paraná	62
Figura 15	- Classificação do uso e cobertura do solo na região Alto Rio Paraná	63
Figura 16	- Domínios climáticos do Brasil e principais subtipos	64
Figura 17	- Evolução das usinas hidrelétricas no Brasil durante 1950 a 2020	65
Figura 18	- Aproveitamentos hidrelétricos na região Alto Rio Paraná	66
Figura 19	- Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos de Goiás	68
Figura 20	- Unidades de Planejamento e Gerenciamento do Mato Grosso do Sul	69
Figura 21	- Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais	74
Figura 22	- Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo	76

Figura 23	- Fluxograma metodológico	83
Figura 24	- Postos pluviométricos com ≥ 5 anos de dados sem falhas na região Alto Rio Paraná	84
Figura 25	- Estações pluviométricas com dados entre 1990 e 2020	88
Figura 26	- Disponibilidade de postos pluviométricos na região Alto Rio Paraná por década durante 1990 a 2020	89
Figura 27	- Disponibilidade de dados pluviométricos na região Alto Rio Paraná de 1910 a 2020	96
Figura 28	- Histograma da extensão das séries de chuva na região Alto Rio Paraná no período de 1915 a 2020	97
Figura 29	- Classificação da densidade da rede pluviométrica ativa na região Alto Rio Paraná	100
Figura 30	- Simulação de agrupamentos dos postos pluviométricos na região Alto Rio Paraná	103
Figura 31	- Aplicação do critério geográfico no reagrupamento dos postos pluviométricos na região Alto Rio Paraná	104
Figura 32	- Regionalização da precipitação na região Alto Rio Paraná e médias totais anuais para o período de 1990 a 2020	107
Figura 33	- Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2000	113
Figura 34	- Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 2001 a 2011	114
Figura 35	- Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 2012 a 2020	115
Figura 36	- Percentuais da área da região Alto Rio Paraná por intervalo de precipitação total anual de 1990 a 2020	117
Figura 37	- Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná e fases do El Niño – Oscilação Sul de 1990 a 2020	120
Figura 38	- Precipitação total anual da média normal nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná e médias decenais de 1990 a 2020	122
Figura 39	- Precipitação total anual da média normal nas regiões homogêneas da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	125

Figura 40	- Índice IPN na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2000 e UHEs do SIN	127
Figura 41	- Índice IPN na região Alto Rio Paraná de 2001 a 2011 e UHEs do SIN	128
Figura 42	- Índice IPN na região Alto Rio Paraná de 2012 a 2020 e UHEs do SIN	129
Figura 43	- Percentuais das áreas do Alto Rio Paraná por intensidade do Índice de Porcentagem Normal de 1990 a 2020	131
Figura 44	- Variação dos percentuais de área acumulada do IPN na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	133
Figura 45	- Percentuais de área acumulada normal-seco/úmido do IPN na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	134
Figura 46	- Variação anual das áreas secas acumuladas nas UEPGRHs na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	140
Figura 47	- Variação anual das secas acumuladas nas unidades federativas na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	141
Figura 48	- Variação interdecenal das áreas secas acumuladas nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	143
Figura 49	- Secas médias decenais e acumulada nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020 e situação da rede pluviométrica	144
Figura 50	- Unidades hídricas e usinas hidrelétricas do SIN abrangidas pela região Alto Rio Paraná	151

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Classificação de desastres naturais hidrometeorológicos	35
Quadro 2	- Métodos de agrupamento para pré-delimitação de regiões homogêneas	41
Quadro 3	- Caracterização da UPGRH Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba	68
Quadro 4	- Caracterização da UPG Aporé	70
Quadro 5	- Caracterização da UPG Pardo	71
Quadro 6	- Caracterização da UPG Quitéria	71
Quadro 7	- Caracterização da UPG Santana	72
Quadro 8	- Caracterização da UPG Sucuriú	72
Quadro 9	- Caracterização da UPG Verde	73
Quadro 10	- Caracterização da UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba	75
Quadro 11	- Caracterização da UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande	75
Quadro 12	- Caracterização da UGRHI Aguapeí	77
Quadro 13	- Caracterização da UGRHI Baixo Tietê	78
Quadro 14	- Caracterização da UGRHI Peixe	79
Quadro 15	- Caracterização da UGRHI São José dos Dourados	80
Quadro 16	- Caracterização da UGRHI Turvo/Grande	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Classificação dos eventos do ENOS baseado nos valores do ION	34
Tabela 2	- Principais índices de determinação de seca	38
Tabela 3	- Denotações das estatísticas dos momentos teóricos e dos momentos-L	46
Tabela 4	- Valores críticos da medida de discordância (Dj)	47
Tabela 5	- Dados hidrológicos da Região Hidrográfica Paraná	60
Tabela 6	- Recomendação de densidade mínima de estações para rede hidrometeorológica	85
Tabela 7	- Classes do Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento	85
Tabela 8	- Sumário numérico das estatísticas descritivas	90
Tabela 9	- Classificação do Avaliador da Dependência espacial	91
Tabela 10	- Classificação do Índice de Porcentagem Normal	92
Tabela 11	- Média contínua de 3 meses de anomalia da TSM	93
Tabela 12	- Períodos de ocorrência e intensidade do ENOS de 1990 a 2020	94
Tabela 13	- Classificação da densidade da rede pluviométrica para a região Alto Rio Paraná	99
Tabela 14	- Densidade da rede pluviométrica na região Alto Rio Paraná em 2020	99
Tabela 15	- Valores centrais das características locais do agrupamento 3	102
Tabela 16	- Parâmetros das distribuições Kappa e Medidas de Heterogeneidade	105
Tabela 17	- Estações pluviométricas discordantes das regiões homogêneas	106
Tabela 18	- Análise estatística descritiva das chuvas médias anuais na região Alto Rio Paraná	109
Tabela 19	- Medidas de ajuste dos semivariogramas	111
Tabela 20	- Áreas abrangidas por intervalos de precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	116
Tabela 21	- Quantificação das áreas por intensidade do Índice de Porcentagem Normal na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	130

Tabela 22	- Percentuais de áreas atingidas pela seca nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	137
Tabela 23	- Extensão territorial das secas acumulada e média nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020	138
Tabela 24	- Níveis de criticidade para a classificação da rede pluviométrica e secas acumuladas na região Alto Rio Paraná	145
Tabela 25	- Classificação da situação das unidades hídricas na região do Alto Rio Paraná em relação à rede pluviométrica e secas acumuladas	146
Tabela 26	- Percentuais de áreas abrangidas pelo setor agropecuário nas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná em 2019	148
Tabela 27	- Percentuais de áreas urbanizadas, densidade populacional e municípios com risco de desabastecimento urbano nas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná	149
Tabela 28	- Aproveitamentos hidrelétricos do SIN na região Alto Rio Paraná	150
Tabela 29	- Potência instalada nas áreas das bacias hidrográficas abrangidas pelas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná	151
Tabela 30	- Contribuição das unidades hídricas no potencial de geração de energia hidroelétrica na região Alto Rio Paraná	152
Tabela 31	- Fatores de vulnerabilidade à seca na região Alto Rio Paraná	154
Tabela 32	- Valores dos fatores de vulnerabilidade das UEPGRHs na região Alto Rio Paraná	155
Tabela 33	- Classificação da vulnerabilidade à seca das UEPGRHs na região Alto Rio Paraná	155

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVOS	23
1.1.1 Objetivo geral	23
1.1.2 Objetivos específicos.....	23
2 REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS.....	24
2.1.1 A influência do clima sobre o ciclo hidrológico	25
2.1.2 Interação oceano-atmosfera.....	27
2.1.3 El Niño – Oscilação Sul.....	29
2.1.3.1 Classificação das fases do ENOS	33
2.1.3.2 Impactos climáticos e pluviométricos	34
2.1.4 Desastres naturais e eventos extremos	35
2.1.5 Principais índices de seca	37
2.2 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA	39
2.2.1 Regiões homogêneas.....	40
2.2.2 Análise de Aglomerados.....	42
2.2.3 Método dos Momentos-L.....	43
2.2.3.1 Teste de homogeneidade regional	46
2.2.3.2 Aplicações na análise hidrológica regional.....	49
2.3 GEOESTATÍSTICA APLICADA A VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS	50
2.3.1 Fundamentos de geoestatística	51
2.3.2 Krigagem.....	54
2.3.3 Sistemas de Informações Geográficas.....	54
2.3.4 Aplicações na espacialização da chuva	55
3 REGIÃO ALTO RIO PARANÁ	57

3.1 PANORAMA GERAL	57
3.1.1 Região Hidrográfica Paraná	59
3.2 DESCRIÇÃO FÍSICO-TERRITORIAL	61
3.2.1 Geomorfologia.....	62
3.2.2 Pedologia	62
3.2.3 Uso e cobertura do solo	63
3.2.4 Clima e sistemas atmosféricos atuantes	64
3.2.5 Potencial hidráulico-energético	65
3.3 DISCRETIZAÇÃO HIDROGRÁFICA E ASPECTOS REGIONAIS	67
3.3.1 Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos de Goiás .	67
3.3.1.1 UPGRH Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba (AGBP).....	67
3.3.2 Unidades de Planejamento e Gerenciamento do Mato Grosso do Sul	69
3.3.2.1 UPG Aporé (I.9).....	69
3.3.2.2 UPG Pardo (I.4).....	70
3.3.2.3 UPG Quitéria (I.7).....	71
3.3.2.4 UPG Santana (I.8).....	72
3.3.2.5 UPG Sucuriú (I.6)	72
3.3.2.6 UPG Verde (I.5).....	73
3.3.3 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais .	73
3.3.3.1 UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba (PN3)	74
3.3.3.2 UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande (GD8)	75
3.3.4 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo	76
3.3.4.1 UGRHI Aguapeí (UGRHI 20).....	77
3.3.4.2 UGRHI Baixo Tietê (UGRHI 19)	78
3.3.4.3 UGRHI Peixe (UGRHI 21)	78
3.3.4.4 UGRHI São José dos Dourados (UGRHI 18).....	79
3.3.4.5 UGRHI Turvo/Grande (UGRHI 15).....	80

4 MATERIAIS E MÉTODOS	82
4.1 OBTENÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	82
4.2 Fluxograma metodológico	82
4.3 ANÁLISE DA disponibilidade de dados	84
4.4 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA REGIONAL	85
4.4.1 Identificação preliminar de regiões pluviométricas homogêneas.....	86
4.4.2 Teste de homogeneidade regional	86
4.4.3 Preenchimento de falhas nas séries históricas de chuva	87
4.5 MAPEAMENTO DA PLUVIOSIDADE	88
4.5.1 Análise estatística descritiva	90
4.5.2 Análise geoestatística e interpolação da Precipitação total anual	90
4.5.3 Índice de Porcentagem Normal (IPN).....	92
4.5.4 Análise da influência do El Niño-Oscilação Sul	93
4.6 ANÁLISE dos impactos da crise hídrica nos setores usuários	94
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	95
5.1 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ.....	95
5.1.1 Disponibilidade temporal	96
5.1.2 Disponibilidade espacial	98
5.2 IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES PLUVIOMÉTRICAS HOMOGÊNEAS.....	101
5.2.1 Análise de Aglomerados.....	102
5.2.2 Teste de Homogeneidade	105
5.2.3 Delimitação final das regiões homogêneas	106
5.3 ANÁLISE E MAPEAMENTO DA PLUVIOSIDADE	108
5.3.1 Análise estatística descritiva dos totais pluviométricos	108
5.3.2 Análise geoestatística e mapeamento da chuva total anual.....	110
5.3.2.1 Influência do El Niño – Oscilação Sul nos índices de chuvas anuais.....	119

5.3.2.2 Caracterização da pluviosidade nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná e variabilidade interdecenal.....	121
5.3.2.3 Caracterização da pluviosidade nas regiões homogêneas de chuva	124
5.3.3 Mapeamento do Índice de Porcentagem Normal (IPN)	126
5.3.3.1 Caracterização das secas anuais nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná e variabilidade interdecenal.....	136
5.3.4 Classificação das UEPGRHs quanto à densidade da rede pluviométrica e secas acumuladas.	145
5.4 A ESCASSEZ PLUVIOMÉTRICA E OS SETORES USUÁRIOS.....	147
5.4.1 Setor agrícola.....	147
5.4.2 Abastecimento urbano.....	148
5.4.3 Geração de energia elétrica	150
5.4.4 Classificação das UEPGRHs quanto à vulnerabilidade dos setores usuários à crise hídrica.....	153
6 CONCLUSÃO	158
6.1 REPRESENTATIVIDADE HIDROCLIMÁTICA NO ALTO RIO PARANÁ	158
6.2 METODOLOGIA DE CONSISTÊNCIA E MAPEAMENTO DOS DADOS.....	159
6.3 O COMPONENTE CLIMÁTICO ENOS E EVENTOS DE SECAS.....	161
6.4 A ESCASSEZ PLUVIOMÉTRICA SOB A ÓTICA DAS UNIDADES DE GESTÃO.....	162
REFERÊNCIAS.....	163
APÊNDICE A – CONSULTA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS NO PORTAL HIDROWEB.....	181
APÊNDICE B – PROBLEMAS OBSERVADOS NO PORTAL HIDROWEB	186
APÊNDICE C – MOMENTOS-L AMOSTRAIS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ	188
APÊNDICE D – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ.....	199

APÊNDICE E – AJUSTES SEMIVARIOGRÁFICOS DAS CHUVAS TOTAIS ANUAIS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ	208
APÊNDICE F - VALIDAÇÃO CRUZADA DAS CHUVAS TOTAIS ANUAIS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ.....	216
ANEXO A – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS USINAS HIDROELÉTRICAS DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL	21624

1 INTRODUÇÃO

A gestão das águas implica a investigação e a compreensão de tendências e mudanças climáticas, que junto as alterações de uso e ocupação do solo, afetam diretamente o desenvolvimento e o gerenciamento de bacias hidrográficas (KUMAR, *et al.*, 2019; THOMAS; PRASANNAKUMAR, 2016). Tal investigação tem se tornado uma tarefa cada vez mais difícil para os gestores de recursos hídricos, tendo em vista a frequência de eventos extremos que afetam a variabilidade natural dos processos hidrológicos, impactando o desenvolvimento econômico (BHATTI *et al.*, 2016; DUTTA; MAITY, 2021).

Ao longo dos anos, o mundo tem sofrido com diversos impactos oriundos de alterações atípicas nos padrões climáticos e regimes pluviométricos, como o aumento do aquecimento global e a ocorrência das fases quente (El Niño) ou fria (La Niña) do fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENOS) (ARYAL *et al.*, 2018; MALLAKPOUR *et al.*, 2018). Os efeitos climáticos relacionados à circulação geral da atmosfera atingem vastas áreas, afetando de forma intrínseca a intensidade e a sazonalidade dos padrões hidrológicos em grandes escalas (ROCHA; SANTOS, 2018).

Segundo ANA (2016), no Brasil, a maior dificuldade dos estudos hidrológicos está justamente na representatividade da dimensão das bacias hidrográficas, uma vez que seu tamanho influencia diretamente na interpretação das variáveis hidrológicas, resultando em diferenças qualitativas e quantitativas na observação dos fenômenos naturais (LACOSTE, 1976). Conforme Lei Federal nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, a bacia hidrográfica é a principal unidade territorial de planejamento, onde a água, recurso natural dotado de valor econômico, deve ser utilizada com consciência e parcimônia, visando um gerenciamento descentralizado e participativo.

Desta forma, a avaliação do comportamento hidrológico de grandes bacias hidrográficas requer uma abordagem descentralizada, permitindo uma melhor tomada de decisão frente aos impactos da variação em macroescala da disponibilidade hídrica. Esta que, por sua vez, reflete diretamente na economia do país, afetando a geração de energia elétrica, a navegação e a produção de bens de consumo e alimentos, bem como o meio ambiente.

De acordo com Melo (2017), eventos climáticos e meteorológicos extremos, têm impactado de forma negativa a ocorrência de chuva e os serviços ecossistêmicos em diversas regiões do país, ocasionando problemas como o racionamento de água

e a redução de geração de energia elétrica. À vista disso, diversos autores buscaram relacionar a ocorrência de mudanças climáticas e fenômenos oceano-atmosféricos às oscilações das condições hidrológicas e secas extremas no país, observadas na Amazônia (MARENGO *et al.*, 2013; PEDREIRA JUNIOR *et al.*, 2020), e nas regiões Nordeste (ALMEIDA, 2014), Sudeste (MINUZZI *et al.*, 2006; RAFEE *et al.*, 2019), e Sul do Brasil (BASSO, 2019).

No início dos anos 2000, a falta de chuva, principalmente na região Sudeste do Brasil, foi responsável por acarretar uma grave crise energética no país, que afetou cerca de 60 milhões de pessoas (MELO, 2017). Esta grande seca foi responsável pela crítica situação nos reservatórios do Complexo Hidrelétrico Urubupungá, maior centro gerador de energia elétrica do estado de São Paulo, resultando em um racionamento de energia e afetando a navegação dos rios Tietê e Paraná. Anos mais tarde, durante a crise hídrica causada pela seca de 2013/2014, 28 milhões de pessoas vivenciaram o colapso do sistema de abastecimento Cantareira, devido à falta de planejamento e gestão adequadas (LOBEL *et al.*, 2014).

Nos dias atuais, conforme constatado pelo Sistema Nacional de Meteorologia (SNM), desde outubro de 2019, a Região Hidrográfica Paraná (RH Paraná) tem apresentado déficit de precipitação mensal severo, associado ao fenômeno La Niña, levando a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a declarar situação crítica de escassez quantitativa das águas, de acordo com o Art. 1º da Resolução nº 77, de 1 de junho de 2021 (ANA, 2021a; AZEVEDO, 2021).

A RH Paraná compreende importantes usos da água, de influência econômica e social no país, concentrando os principais reservatórios de regularização do Sistema Interligado Nacional (SIN) na região Alto Rio Paraná, com relevância na segurança hídrica da região e energética do Brasil (ANA, 2021a). Além da segurança energética, o agronegócio exportador e o abastecimento de água nos aglomerados urbanos, dependem diretamente da chuva (AZEVEDO, 2021).

Logo, a relevância dos recursos hídricos na região Alto Rio Paraná (ARP), área de estudo, se dá pelo seu domínio compreender uma área de vital importância para a navegação, agricultura regional e geração de energia hidrelétrica na Argentina, Brasil e Paraguai. Localizada sobre a divisa das regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil, a região ARP abrange, além do Complexo Urubupungá, quatorze Unidades Estaduais de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UEPGRHs) nas unidades federativas de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo.

Ademais, esta região, cuja extensão totaliza 254.896 km², apresenta uma crítica discrepância na disponibilidade de informações hidrológicas. Com exceção das unidades hídricas do estado de São Paulo, as sub-bacias localizadas nos demais estados apresentam rede pluviométrica com densidade até 4 vezes abaixo da recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2008). Tal fato tornam menos precisas as estimativas de dados de chuva em locais não amostrados e destaca a relevância de estudos descentralizados na região ARP.

Ao longo dos anos, o predomínio de pequenas escalas na hidrologia tem ocorrido, principalmente, devido à dificuldade em obter dados temporais e espaciais suficientes para a análise hidrológica em grandes bacias (RAFEE *et al.*, 2019). De acordo com Acosta (2014) e Pruski *et al.* (2012), parte desta carência de informações vêm sendo contornada por meio de métodos de regionalização, que visam a transferência de variáveis, funções ou parâmetros, a partir da presunção da semelhança espacial em áreas homogêneas.

A partir da teoria das variáveis regionalizadas, cujos valores são associados a posição que ocupam no espaço, a geoestatística tem sido utilizada com êxito em diversos estudos hidrológicos, que visam a espacialização de variáveis como temperatura, vazão e precipitação (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1993; LOU, 2004). Entretanto, Fernandes (2005) e Tucci (2002), constataram que, para que não se obtenham resultados tendenciosos, a disponibilidade e qualidade das séries hidrológicas devem ser verificadas, priorizando-se métodos que tornam a análise de consistência de dados menos subjetiva, como a utilização de testes estatísticos.

A investigação da variação das chuvas por meio do monitoramento *in loco* é de extrema relevância para avaliar o comportamento da disponibilidade hídrica e assegurar as condições ambientais e econômicas do planeta. Para tanto a utilização de Sistemas de Informações Geográficas para associar diferentes métodos estatísticos aos conceitos geoespaciais possibilitam a criação de novas abordagens para a tomada de decisão frente aos impactos da variação pluviométrica.

Diante do exposto, o presente trabalho visa avaliar a variabilidade espacial e temporal da pluviometria, analisando a potencial influência do ENOS nas chuvas na região Alto Rio Paraná, bem como analisar as características das secas, por meio de índices e ferramentas geoestatísticas, agregando-se às diretrizes de regionalização, métodos que têm como atributo principal a diminuição do grau de subjetividade no processo de consistência de dados e identificação de regiões homogêneas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho trata-se da avaliação da variabilidade espacial e temporal das chuvas, bem como das características das secas, na região Alto Rio Paraná, visando analisar a possível influência do fenômeno ENOS na pluviometria da região durante o período de 1990 a 2020.

1.1.2 Objetivos específicos

- i. Analisar a disponibilidade temporal e espacial dos dados pluviométricos na região Alto Rio Paraná desde o primeiro registro histórico até o ano de 2020;
- ii. Propor uma classificação da densidade da rede pluviométrica ativa nas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná;
- iii. Identificar regiões homogêneas de chuva para subsidiar a análise de consistência de dados;
- iv. Verificar a dependência e a variabilidade espacial da distribuição dos dados pluviométricos para a aplicação de técnicas de interpolação por krigagem;
- v. Analisar a influência do ENOS nas chuvas e eventos de seca na região;
- vi. Caracterizar as chuvas e secas nas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná e regiões homogêneas identificadas; e
- vii. Classificar as unidades hídricas quanto a vulnerabilidade da rede observacional e dos setores usuários à crise hídrica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo discorre sobre algumas temáticas acerca das variações climáticas e processos hidrológicos, bem como da regionalização hidrológica e de conceitos geoestatísticos aplicados à análise da variabilidade da chuva em Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

2.1 VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

As variações do clima têm se tornado um dos maiores desafios mundiais no século 21 (KIM; JEHANZAIB, 2020). Segundo Liu *et al.* (2018), as atividades antrópicas e variações climáticas provocam alterações significativas na distribuição espacial e temporal da água, afetando gradativamente a alocação dos recursos hídricos. À vista deste cenário, torna-se necessário a distinção entre dois conceitos fundamentais: mudanças climáticas e variabilidade climática.

Segundo Tucci (2002), a variabilidade climática expressa a variação do clima decorrente das interações dos condicionantes naturais, enquanto as mudanças climáticas são as alterações da variabilidade natural do clima em função de ações antrópicas. De forma semelhante, o Painel Intergovernamental de Mudanças climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), define mudança climática como, qualquer mudança no estado do clima decorrente de processos internos naturais ou forças externas (ex.: alterações antropogênicas no uso do solo e na composição atmosférica), que afetam a média e/ou a variabilidade de suas propriedades por décadas ou mais (IPCC, 2014).

As variações do clima podem se manifestar tanto no espaço, abrangendo a micro e a macroescala, como no tempo, de forma sazonal, interanual e interdecenal. Segundo ANA (2016), a forma mais conhecida é a sazonal, que ocorre devido ao movimento de rotação do planeta ao redor do sol, ocasionando variações climáticas dentro do ano. Já as variações interanuais e interdecenais, referem-se às alterações do clima entre anos e entre décadas, respectivamente, podendo se estender até períodos de séculos, refletindo bruscamente nas condições de vida da sociedade.

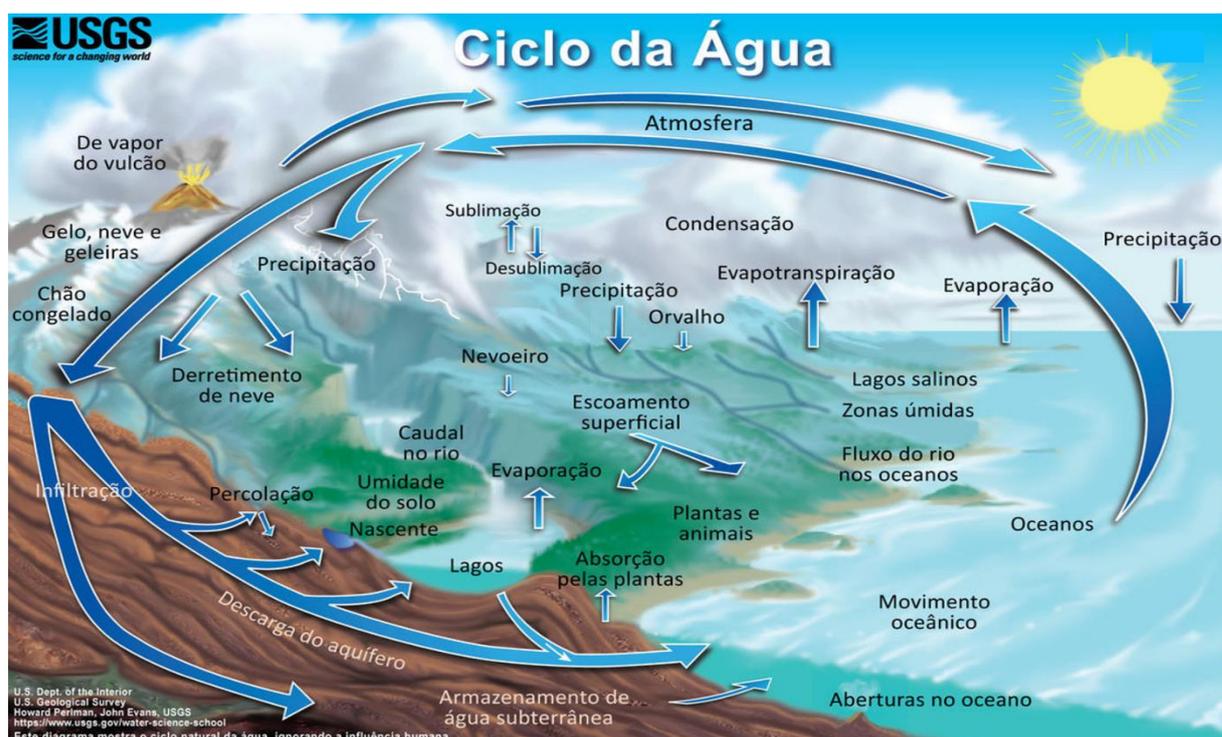
Um dos principais efeitos das variações climáticas é a influência sobre os regimes de chuva em diversas regiões do planeta. O entendimento da variabilidade

regional da chuva é de profundo interesse para a hidrologia, pois permite uma melhor compreensão sobre as tendências climáticas e seus impactos nas diversas instâncias da água. Nesse contexto, Collischonn (2001), ressaltou a importância da análise da variabilidade plurianual da chuva, determinada pela ocorrência de vários anos seguidos mais úmidos ou mais secos do que a média de longo período, que aparentemente não fazem parte da tendência geral das séries. Tal investigação se torna possível, ao passo que as séries hidrológicas se tornam maiores, viabilizando a observação dos processos hidrológicos.

2.1.1 A influência do clima sobre o ciclo hidrológico

De acordo com Acosta (2014), a disponibilidade hídrica está relacionada às características climáticas de cada região, principalmente a temperatura e a precipitação, elementos climáticos de maior influência sobre os ecossistemas, sendo frequentemente utilizados na classificação dos climas na Terra. Segundo Kim e Jehanzaib (2020), a variabilidade dos processos climáticos e hidrológicos apresenta-se de forma interligada, uma vez que os fatores climáticos exercem influência direta em todas as etapas do ciclo da água (Figura 1).

Figura 1 – Etapas do ciclo da água



Fonte: Adaptado de USGS (2017)

O ciclo hidrológico, conforme Figura 1, reproduz o deslocamento constante da água nos oceanos, atmosfera e superfície terrestre, por meio de processos físicos de evapotranspiração, precipitação, escoamento, infiltração e deflúvio dos corpos hídricos, a partir de trocas de energia solar, calor e energia potencial gravitacional, capazes de alterar as formas físicas da água (STAGL *et al.*, 2014).

Conforme o quinto Relatório de Avaliação (AR5) do clima (IPCC, 2013), desde 1950, as alterações observadas no sistema climático demonstraram que, além do aumento do efeito estufa, o nível do mar subiu, impactando nas inundações e aquíferos costeiros (CARVALHO; WANG, 2019; SHI; LU; WERNER, 2020; YIN *et al.*, 2017), as quantidades de neve e de gelo diminuíram, provocando alterações nos regimes de vazão em bacias de deglaciação (AZAM *et al.*, 2019; FANG; POMEROY, 2020; MACKAY *et al.*, 2019), e as temperaturas da atmosfera e do oceano aumentaram (STEPHENS *et al.*, 2020), afetando a tendência de eventos extremos e ecossistemas marinhos (LAFFOLEY; BAXTER, 2016; LINDSEY, 2020).

Uma das formas frequentes de avaliação dos impactos das alterações do clima nos processos hidrológicos são os Modelos de Circulação Geral (MCGs) da atmosfera, utilizados na simulação de diferentes cenários hidrológicos (ARNELL, 1995; ARNELL; LIU, 2001; CHRISTENSEN *et al.*, 2004; HER *et al.*, 2019; KAZAMA; OKI, 2006). Segundo Collischonn (2001), os MCGs reproduzem a movimentação das massas de ar na atmosfera, por meio de equações de movimento e termodinâmica, sujeitas às condições iniciais (pré-conhecidas) e às condições externas, especialmente a radiação solar.

Nas últimas décadas, houve um aumento significativo na utilização de modelagens hidrológicas baseadas em mudanças climáticas (KUNDZEWICZ, 2018). No Brasil, tal prática tem recebido grande atenção nos últimos anos, principalmente em pesquisas na RH Paraná, voltadas aos setores hidroelétrico e de água potável (AMORIM; CHAFFE, 2019). A partir da classificação de resultados de modelos hidrológicos, baseados em suas incertezas amostrais, Borges e Chaffe (2019), concluíram que nos últimos anos as evidências dos impactos das variações climáticas no país têm revelado um regime hidrológico mais seco.

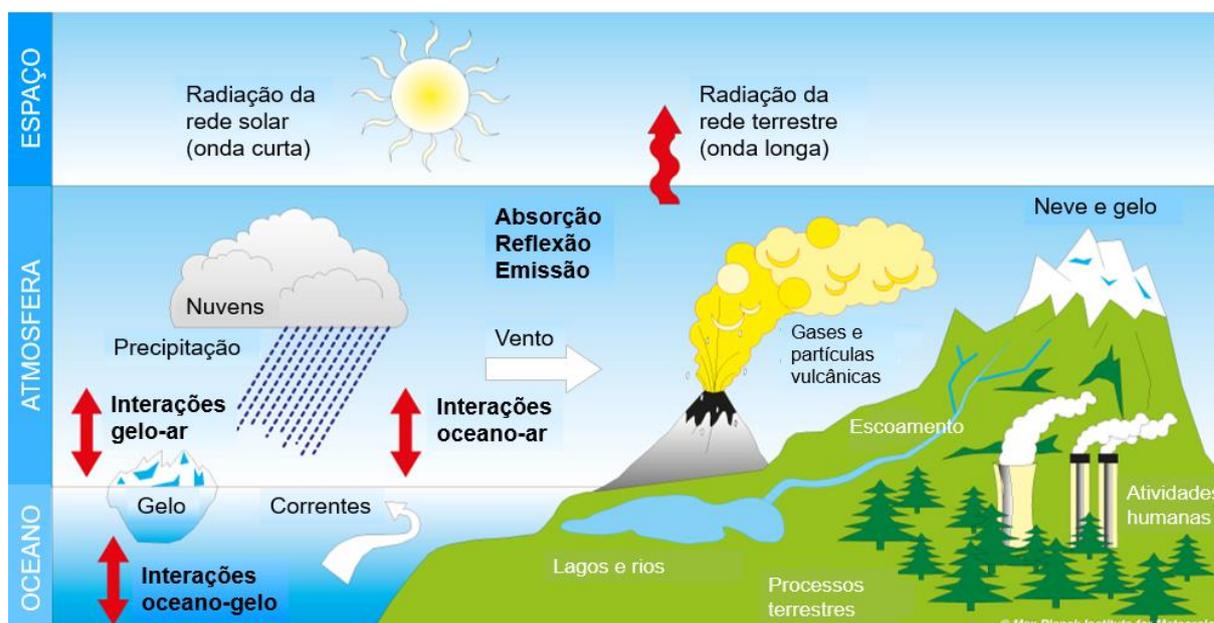
Além das mudanças da atmosfera e a variabilidade solar, outros processos climáticos são corriqueiramente analisados, como mudanças na variação da dimensão e volume da terra e do gelo, além de tendências de variações da biosfera e efeitos da ocorrência do El Niño – Oscilação Sul (ENOS) (TUCCI, 2002).

Segundo Acosta (2014), o estudo do clima deve ser realizado de forma única, considerando fatores físicos externos e internos que afetam a variabilidade espaço-temporal da atmosfera. Como fatores externos destacam-se as flutuações da energia solar, o incremento de dióxido de carbono na atmosfera, as variações na órbita terrestre e as modificações nas características continentais e oceânicas. Já os fatores internos, trata-se da periodicidade e anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), do decréscimo na salinidade no Atlântico Norte ou Oceano Ártico e da quase intransitividade do sistema climático, devido à complexidade do sistema Terra-oceano-atmosfera (VIANELLO; ALVEZ, 2000).

2.1.2 Interação oceano-atmosfera

Segundo Stephens *et al.* (2020), toda a água existente no planeta é dividida entre quatro grandes reservatórios, a criosfera (camadas de gelo e geleiras), o armazenamento terrestre (corpos hídricos superficiais e subterrâneos), a atmosfera e os oceanos, sendo os dois últimos considerados os principais agentes que impulsionam o sistema climático. No sistema climático (Figura 2), a atmosfera atua como uma máquina alimentada pela energia solar, que converge energia térmica em energia mecânica, dando origem à circulação geral da atmosfera, através dos ventos, nuvens e tempestades.

Figura 2 – Componentes do sistema climático



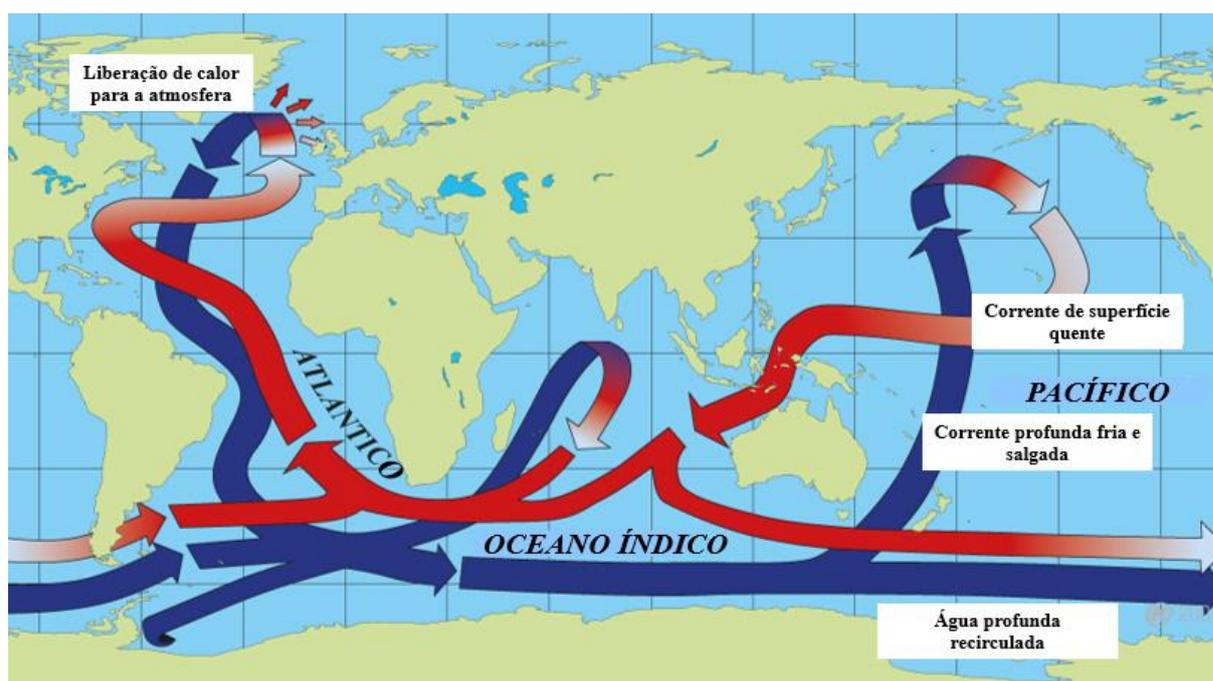
Fonte: Adaptado de Max-Planck-Institut für Meteorologie (2020)

No Brasil, dentre as configurações da circulação geral da atmosfera, as células de alta pressão e o sistema Anticiclone do Atlântico Sul (Costa oriental da América do Sul), destacam-se como principais influenciadores do clima no país (VIANELLO; ALVEZ, 2000). Conforme Kobiyama *et al.* (2006, p. 20):

As faixas de altas e baixas pressões, decorrentes da divergência (saída) e convergência (encontro) do ar, são interrompidas, devido à diferença de aquecimento entre terras e águas, formando centros de baixas e altas pressões, sobre os continentes e oceanos. Como as terras aquecem e esfriam mais rapidamente que as águas, os centros de pressão alternam suas posições em função das estações do ano.

Conforme Collischonn (2001), a atmosfera desempenha grande influência na circulação das águas nos oceanos, como a inércia térmica dos mares auxilia na manutenção da temperatura na troposfera (parte inferior da atmosfera). O papel regularizador dos oceanos os torna sujeitos às pequenas variações de temperatura na superfície do mar (TSM), podendo ocasionar desvios significativos nas variáveis climáticas. Logo, devido a regularização térmica dos oceanos (Figura 3), a TSM é uma variável fundamental na compreensão e quantificação das alterações climáticas em desenvolvimento (MERCHANT *et al.*, 2019; NELSON, 2016), podendo exercer um papel mais influente no sistema climático que outras condicionantes atmosféricas, devido sua capacidade de estocar energia e fornecer umidade para a retroalimentação de sistemas convectivos (BARREIRO; CHANG; SARAVANAN, 2002).

Figura 3 – Regularização da temperatura do mar pelas correntes marítimas



Fonte: Adaptado de Max-Planck-Institut für Meteorologie (2020)

2.1.3 El Niño – Oscilação Sul

Segundo Lin e Qian (2019), o El Niño – Oscilação Sul (ENOS) é a principal oscilação interanual do sistema climático da Terra que exerce grande influência sobre a temperatura global, circulação da atmosfera, ciclones tropicais, eventos extremos e regime de precipitação em diversas regiões (DAVEY; BROOKSHAW; INESON, 2014; DITTUS, *et al.*, 2018).

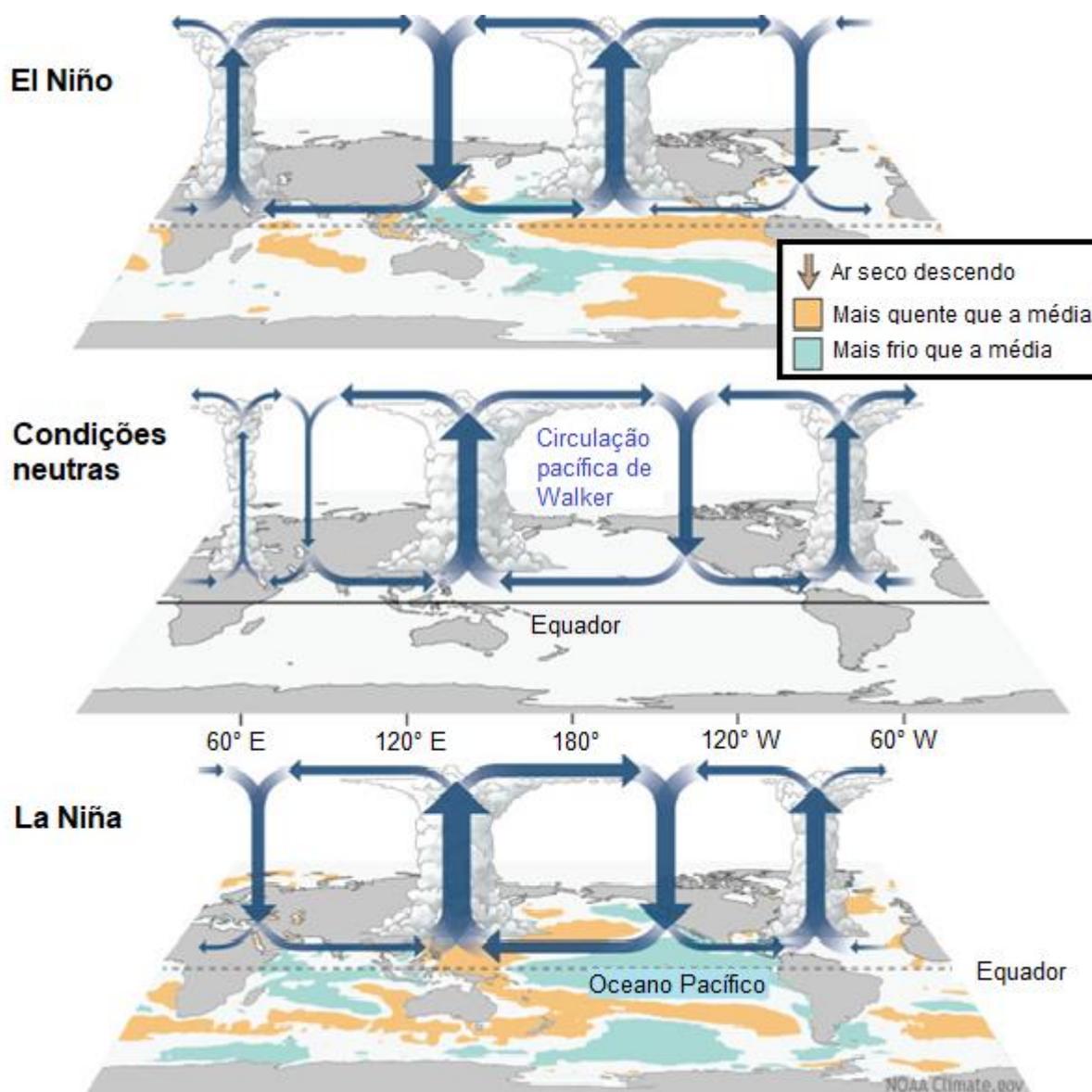
A primeira percepção do fenômeno El Niño ocorreu por pescadores na região costeira do Peru e Equador no final do século XIX (IPCC, 2013). De acordo com Takahashi (2015), as altas temperaturas do Oceano Pacífico ocasionaram uma série de chuvas intensas e inundações na região, além de deprimir a pesca local.

O evento se tratava de uma fraca corrente quente oceânica associada à atípicos aquecimentos que ocorriam periodicamente em toda a bacia do Pacífico, ocasionados pelas flutuações anuais de pressão, denominadas de Oscilação Sul (OS) (IPCC, 2013). A importante conexão entre a OS e as variações da TSM foi realizada por Berlage e Petersen, nos anos 60, e a partir da junção dos fenômenos, oceânico e atmosférico, tal anomalia passou a ser denominada de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (TRENBERTH, 1997).

De acordo com a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (*National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA*), o padrão ENOS pode ocorrer em três estados ou fases: El Niño (fase quente), condições neutras ou La Niña (fase fria) (NOAA, 2016), conforme apresentado na Figura 4. Cada fase tende a durar cerca de 1 a 2 anos, alternando-se irregularmente a cada 2 a 7 anos (WU; OKUMURA; DINEZIO, 2019).

Conforme NOAA (2016), a ocorrência do aquecimento ou resfriamento da TSM durante os estados do ENOS, El Niño e La Niña, respectivamente, deve-se à troca de energia térmica entre a atmosfera e as camadas mais profundas do oceano. Esta interrelação interfere tanto nos padrões de circulação atmosférica que unem os trópicos às latitudes médias, modificando as correntes de ar que constituem a Célula de Hadley, no sentido Norte-Sul, quanto na circulação zonal da atmosfera, em uma célula do tipo Walker, no sentido Leste-Oeste (BARNSTON, 2014; CUNHA, *et al.*, 2011).

Figura 4 – Fases do El Niño – Oscilação Sul



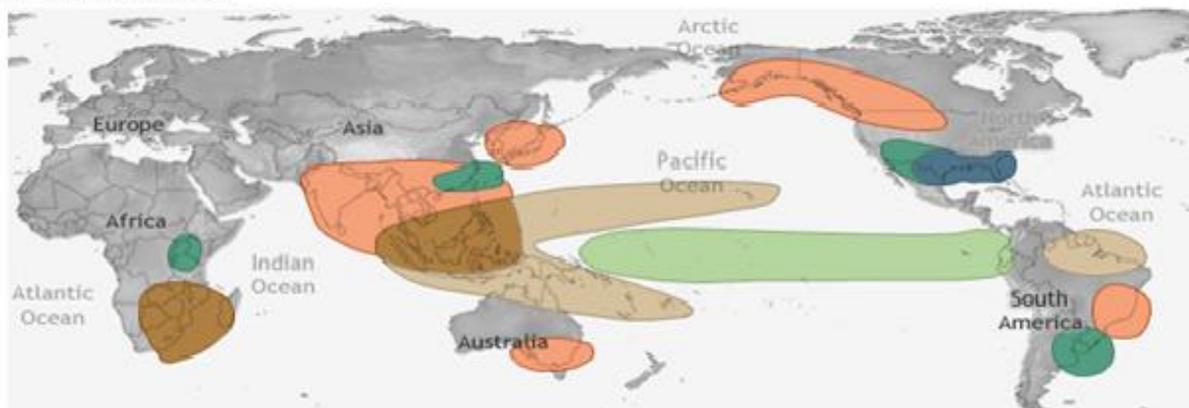
Fonte: Adaptado de NOAA (2016)

Segundo NOAA (2016), durante a fase do El Niño ocorre o enfraquecimento dos ventos de superfície (alísios) ao longo de todo o Pacífico tropical, acarretando um aumento acima da média na temperatura do mar ($\pm 4,5^{\circ}\text{C}$). Conseqüentemente, ocorrem chuvas acima da média no Oceano Pacífico central e oriental tropical, e abaixo da média na Indonésia, conforme apresentado na Figura 5.

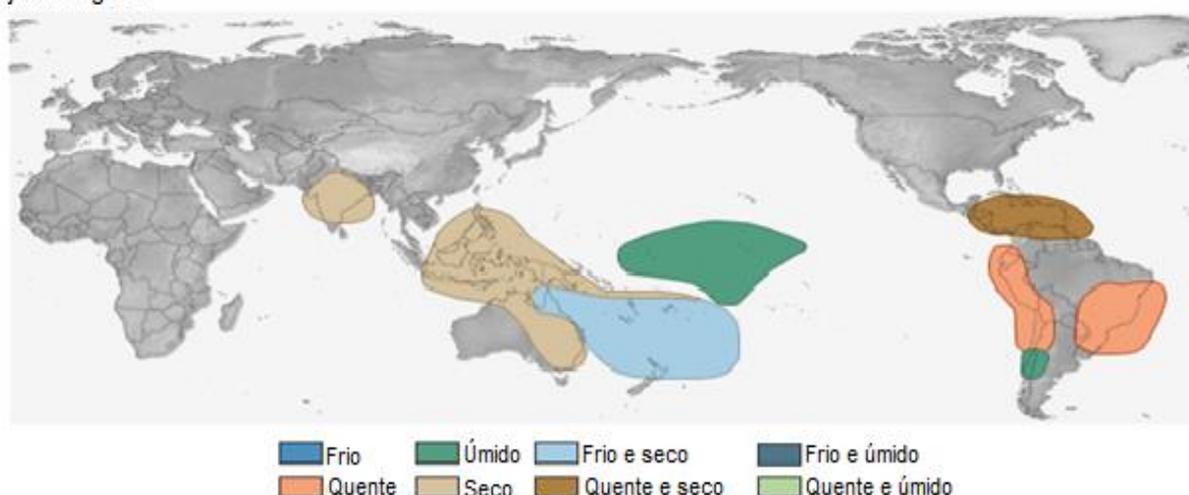
O aumento da ascensão das massas de ar e a diminuição da pressão superficial no Pacífico central e oriental, além do aumento na movimentação das massas que descende na Indonésia, agem ocasionando uma maior pressão da superfície e secura do ar (NOAA, 2016).

Figura 5 – Impactos climáticos globais ocasionados pela fase quente El Niño

dezembro-fevereiro



junho-agosto

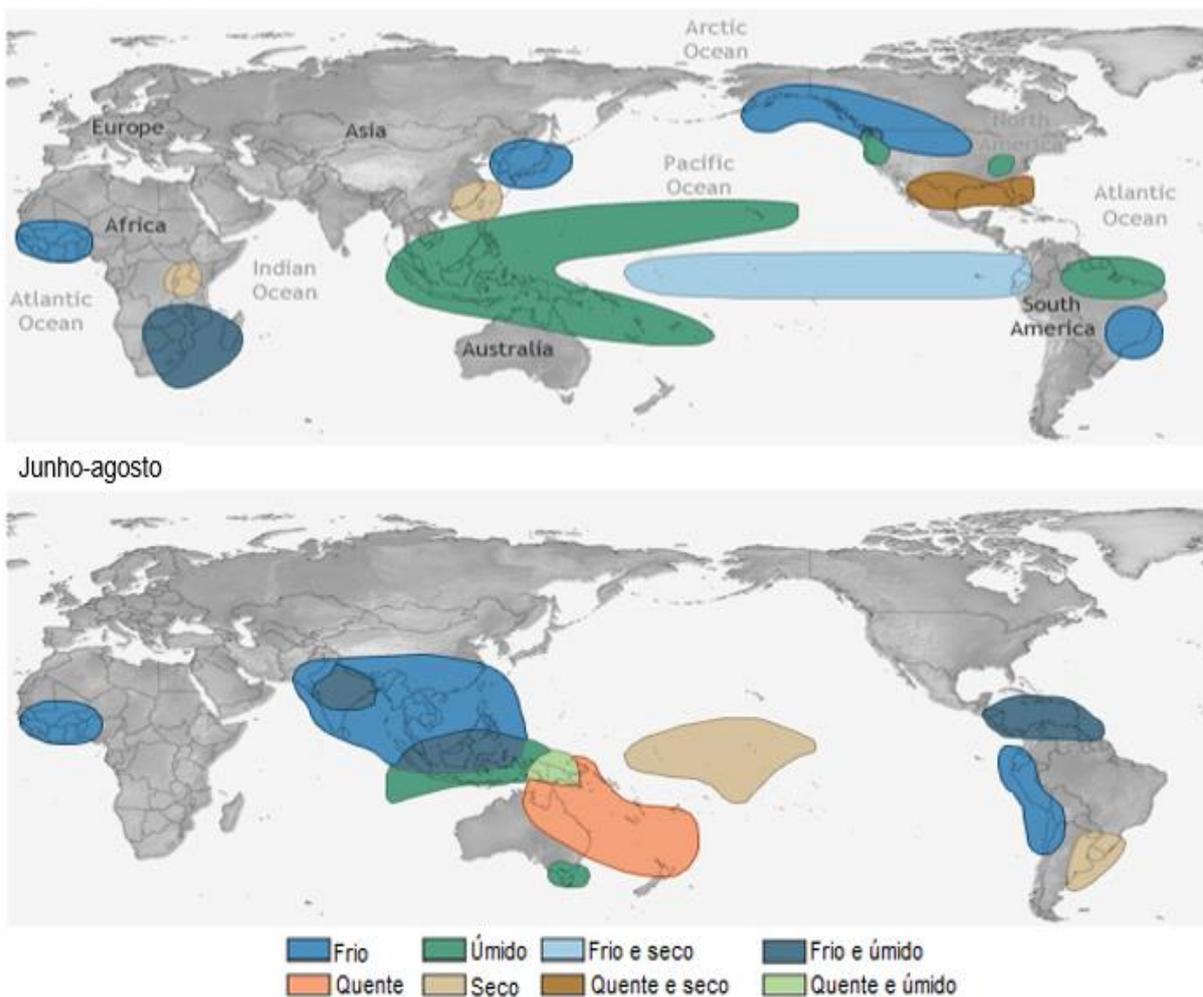


Fonte: Adaptado de NOAA (2016)

No estado de La Niña é observado condições inversas ao El Niño (Figura 4), o fortalecimento dos ventos alísios em todo o Pacífico tropical acarreta um resfriamento acima da média ($< 4^{\circ}\text{C}$) das águas oceânicas nesta região, enquanto as águas mais quentes na Indonésia intensificam a ocorrência de chuvas em função da menor pressão superficial (Figura 6). Em suma, a fase Neutra, corresponde aos processos convectivos, ventos, temperaturas e chuvas próximas de suas médias de longo prazo (NOAA, 2016).

A origem e transição entre as fases quente e fria do ENOS é alvo de diversas teorias, Li *et al.* (2015), citam vários autores, como Schopf e Suarez (1988), Neelin (1991), Jin (1997), Ren e Jin (2013), que apresentaram diferentes hipóteses para esclarecer as mudanças do estado El Niño para La Niña, ou vice-versa. Segundo Capotondi *et al.* (2015), as variações nos eventos de ENOS, podem ser classificadas a partir da TSM e da Pressão atmosférica ao Nível do Mar (PNM) (LI *et al.*, 2015).

Figura 6 – Impactos climáticos globais ocasionados pela fase fria La Niña
dezembro-fevereiro



Fonte: Adaptado de NOAA (2016)

Entre as hipóteses mais recentes, Lin e Qian (2019), sugerem que a troca entre as condições de El Niño e La Niña pode ser ocasionada pela ressurgência de águas frias e profundas ao longo do Pacífico ocidental, central e leste, para repor as águas arrastadas pelos ventos alísios decorrentes do aumento da PNM. Este processo geofísico oscila direção Leste-Oeste, até que sejam restabelecidas as condições neutras da TSM.

Conforme Pereira, Neves e Vecchia (2017), o ciclo nodal lunar de 18,6 anos pode ser considerado um dos fatores externos responsáveis por desencadear as marés oceânicas nodais, transportando mais calor da região tropical para latitudes maiores, estando possivelmente associado ao fenômeno ENOS.

2.1.3.1 Classificação das fases do ENOS

A classificação das fases quente e fria do ENOS pode ser realizada a partir do Índice Oceânico Niño (ION), principal indicador da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (*National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA*) no monitoramento do ENOS.

O ION é quantificado na zona denominada Niño 3.4 (entre 5° N -5° S e 120° - 170° W), localizada no Pacífico tropical leste-central. A partir do limiar de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ obtido pela média de três meses de anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), realiza-se a identificação dos períodos quentes e frios, classificando-os em: Fraco ($\pm 0,5$ a $0,9^{\circ}\text{C}$), Moderado ($\pm 1,0$ a $1,4^{\circ}\text{C}$), Forte ($\pm 1,5$ a $1,9^{\circ}\text{C}$) e Muito Forte ($\geq 2,0^{\circ}\text{C}$).

Na Figura 7 e Tabela 1, são apresentadas as médias históricas dos valores do índice ION durante o período de janeiro de 1990 a janeiro de 2021, bem como a intensidade das fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS, respectivamente (NULL, 2020).

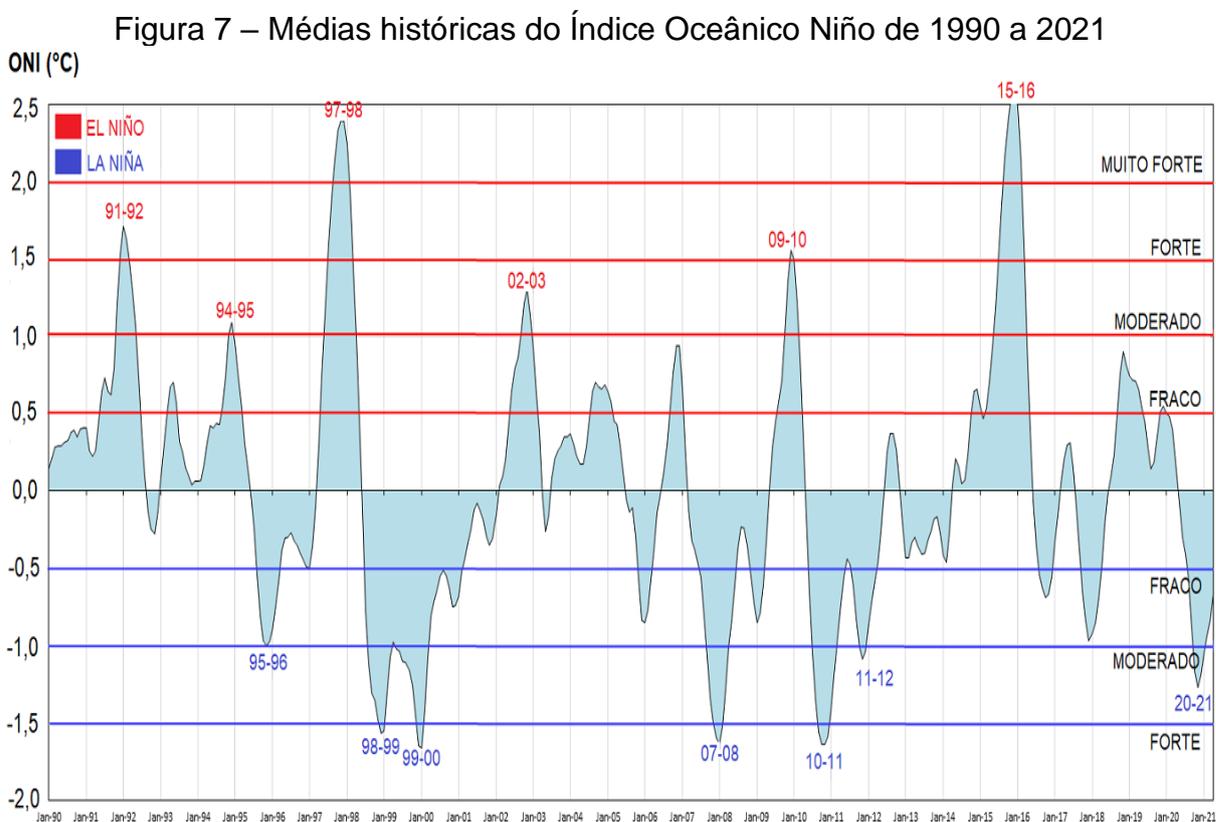


Tabela 1 – Classificação dos eventos do ENOS baseado nos valores do ION

El Niño				La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Muito forte	Fraco	Moderado	Forte
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84	2020-21	1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		

Fonte: Adaptado de Null (2021)

2.1.3.2 Impactos climáticos e pluviométricos

Desde a década de 90, diversos estudos buscaram investigar o impacto da ocorrência do ENOS no comportamento dos processos hidrológicos, sendo a precipitação uma das variáveis de maior suscetibilidade aos eventos de El Niño e La Niña. De acordo com Berlato e Fontana (2003), os impactos do ENOS afetam diretamente os regimes de precipitação em diferentes áreas do planeta e diversas regiões do Brasil.

Durante a fase de El Niño, no decorrer da primavera-verão (dezembro a fevereiro), as regiões norte e nordeste do Brasil passam por um período predominante de secas, enquanto durante o outono-inverno (junho a agosto), o clima esquenta nas regiões sudeste e nordeste do país, propiciando a ocorrência de chuvas intensas. Já na fase de La Niña, as condições de estiagens e de chuvas acima da média apresentam-se de forma inversa para os mesmos períodos analisados (ALMEIDA, 2014).

A variabilidade interanual e os índices máximos da chuva foram amplamente estudados durante os períodos de oscilação do ENOS, constatando o prolongamento do período chuvoso no Sudeste, durante os períodos de El Niño em 1982-1983 e 1997-1998 (MINUZZI *et al.*, 2006), além do aumento da umidade na Amazônia e secas extremas no Nordeste durante eventos de La Niña (MARENGO *et al.*, 2013).

Em pesquisas mais recentes, Bueno *et al.* (2020), analisaram a precipitação e temperatura da região de Guarapuava, sul do Brasil, onde identificaram maiores índices de chuva nos inícios da primavera e verão em ambas as fases do ENOS; e Moreira *et al.* (2018), pesquisaram sobre a influência dos fenômenos El Niño e La Niña na dinâmica da região amazônica, constatando mudanças significativas nas chuvas máximas diárias e condições de umidade na vegetação, que ocasionaram prejuízos nos serviços ecossistêmicos.

Na Bacia do Paraná, a diminuição das chuvas na região alta da bacia acarretou uma crise hídrica agravada pelo evento La Niña, iniciado em 2020, e pelo assíduo desmatamento que diminuiu os canais de umidade da Amazônia (rios voadores) que ajudam a alimentar as chuvas da região centro-sul do país (AZEVEDO, 2021).

2.1.4 Desastres naturais e eventos extremos

Dentro do contexto climático, o conceito de “extremo” pode ser associado aos valores de ocorrência das variáveis em um evento meteorológico, e/ou a quantificação da magnitude dos impactos do evento, ou seja, da magnitude dos desastres naturais (JAHN, 2015). Em outras palavras, os desastres naturais se tratam de consequências de um evento natural extremo, agravadas ou não pela ação antrópica, que atingem o meio terrestre, trazendo danos à sociedade e ao meio ambiente (BRASIL, 2012; GUHA-SAPIR *et al.*, 2012; MELO, 2017). No Quadro 1, apresenta-se a classificação dos principais desastres naturais hidrometeorológicos.

Quadro 1 – Classificação de desastres naturais hidrometeorológicos

Desastres naturais hidrometeorológicos		
Hidrológicos	Meteorológicos	Climatológicos
Inundações ^{1:2} Movimentações de massa (Com água) ¹ Enxurradas ² e Alagamentos ²	Tempestades ^{1:2} Ciclones ² Frentes Frias/Zona de Convergência ²	Secas ^{1:2} Temperaturas extremas ¹ Incêndios ^{1:2}

Fonte: Guha-Sapir *et al.* (2012)¹; BRASIL (2012)² - Organizado pelo autor

De acordo com Ritchie (2004), os desastres naturais matam em média 60.000 pessoas ao redor do mundo, sendo as secas e inundações os eventos mais fatais ao longo da história. Segundo Kobiyama *et al.* (2006), no Brasil, a maioria dos desastres

naturais ocorre devido a dinâmica externa da Terra, ou seja, são ocasionados por fenômenos atmosféricos como os ciclones, anticiclones, sistemas frontais e áreas de instabilidades regionais e locais.

Segundo IPCC (2014), as variações climáticas são consideradas agravantes significativas dos eventos meteorológicos extremos, como tempestades, tornados, oscilações bruscas da temperatura, extremos de precipitação e secas severas. Conforme relatado por Ren *et al.* (2018), há décadas os eventos extremos têm sido alvo de estudos observacionais, abrangendo, principalmente, pesquisas sobre a variação da temperatura (KARL *et al.*, 1984), chuvas extremas (IWASHIMA; YAMAMOTO, 1993) e secas regionais (PENMAN, 1948).

As investigações das chuvas extremas visa analisar a irregularidade espacial e temporal dos eventos de precipitação intensos, para prever potenciais prejuízos, como erosão do solo, inundações, transporte de massas e problemas voltados à segurança de reservatórios e áreas urbanas (OLIVEIRA, 2019).

De acordo com Yaduvanshi e Sinha (2018), nos últimos anos, devido às condições atípicas da atmosfera, a taxa de ocorrência de eventos extremos de chuva aumentou significativamente. Conforme Thomas e Prasannakumar (2016), os períodos de concentração das chuvas podem ser utilizados para, tanto a investigação de tendências pluviométricas, como a identificação de padrões de secas meteorológicas.

As secas podem ser consideradas formas persistentes das estiagens, que se desenvolvem quando as condições de diferentes variáveis hidrometeorológicas atingem condições mais secas que a média normal (KIM; JEHANZAIB, 2020). De acordo com Dai (2011), o risco de secas se ampliou substancialmente ao redor de todo o planeta, desde a década de 70, em decorrência do aumento da evapotranspiração e da redução da precipitação global.

Os eventos de secas podem ser classificados em 4 categorias (KIM; JEHANZAIB, 2020; WILHITE; GLANTZ, 1985):

- a) seca meteorológica: caracterizada pela escassez pluviométrica e aumento das temperaturas médias, por um período prolongado de duração;
- b) seca agrícola: originada pela seca meteorológica, determinada a partir dos impactos agrícolas provenientes do déficit hídrico do solo;
- c) seca hidrológica: representada pela redução expressiva da disponibilidade hídrica (superficial e/ou subterrânea) em reservatórios naturais ou superficiais;

- d) seca socioeconômica: associada aos impactos resultantes do déficit hídrico na sociedade, como exemplo, problemas no abastecimento público e racionamento de energia elétrica.

Todos os tipos de seca são originados a partir da seca meteorológica, que se destaca como o principal tipo investigado atualmente. Segundo o Instituto Nacional de Gestão de Calamidades (INGC) (2003), este tipo de seca pode ser considerado existente, quando em uma região específica a ocorrência de chuva permanece abaixo do limiar de 70% a 75% do valor normal durante um intervalo de tempo prolongado (maior que três meses) (FERNANDES *et al.*, 2009).

2.1.5 Principais índices de seca

Segundo Dai (2011), a seca pode ser monitorada por meio de índices que verificam o desvio das condições locais normais, permitindo uma melhor compreensão dos impactos da seca, bem como de sua amplitude de ocorrência, por meio de diferentes variáveis meteorológicas, como precipitação, temperatura, evapotranspiração e umidade (BRITO *et al.*, 2018; FERNANDES *et al.*, 2009).

A partir do resumo de indicadores de seca apresentado por Fernandes *et al.* (2009), Junqueira (2019) realizou a classificação dos principais índices de determinação de seca utilizados na literatura, conforme Tabela 2. De acordo com Fernandes *et al.* (2009), geralmente os índices de seca são aplicados de forma conjunta ou paralela a outros indicadores pluviométricos, visto que nenhum índice aplicado de forma isolada é suficientemente adequado para todos os cenários.

Dentre os métodos apresentados, o Índice de Porcentagem Normal (IPN) descrito por Willeke, Hosking e Wallis (1994), é largamente utilizado devido a sua simplicidade matemática, podendo ser aplicado para uma única região ou estação, empregando-se apenas dados de precipitação em escalas semanais, mensais, sazonais, anuais e decenais.

Contudo, tal método leva em consideração a precipitação normal como a média de pelo menos 30 anos, o que implica que, em análises de escalas mensais ou sazonais, o IPN não é capaz de refletir tendências climáticas de forma isolada (FERNANDES *et al.*, 2009). De forma geral, segundo Hayes (2006), o IPN tem sido considerado bastante eficaz quando aplicado a apenas uma região.

Tabela 2 – Principais índices de determinação de seca

Índice	Símbolo	Parâmetros de entrada	Tipo de seca	Referência
Índice de Severidade de Seca de Palmer	PDSI	Precipitação, evapotranspiração e capacidade de campo do solo	Meteorológica	Palmer (1965)
Índice de Anomalia de Chuva	RAI	Precipitação	Meteorológica	Rooy (1965)
Índice de Severidade de Herbst	HSI	Precipitação	Meteorológica	Herbst, Bredenkamp e Barker (1966)
Método dos Decis	MD	Precipitação	Meteorológica	Gibbs (1967)
Índice de umidade de cultura	CMI	Precipitação, temperatura e umidade do solo	Agrícola	Palmer (1968)
Índice de seca Bhalme&Mooley	BMDI	Precipitação	Meteorológica	Bhalme e Mooley (1980)
Índice de Abastecimento de Água em Superfície	SWSI	Precipitação, quantidade de neve, escoamento e runoff	Hidrológica	Shafer (1982)
Índice de desvio de chuva de Lamb	LRDI	Precipitação	Meteorológica	Lamb, Pepler e Hastenrath (1986)
Índice de precipitação padronizado	SPI	Precipitação	Meteorológica	McKee, Doesken e Kleist (1993)
Índice de Seca Efetiva	EDI	Precipitação, temperatura e umidade do solo	Agrícola	Byun e Wilhite (1999)
Índice de Severidade de Seca de Palmer autocalibrado	scPDSI	Precipitação e evapotranspiração	Meteorológica	Wells, Goddard e Hayes (2004)
Índice de Seca de Reconhecimento	RDI	Precipitação e evapotranspiração	Meteorológica	Tsakiris e Vangelis (2005)
Índice de Escoamento Padronizado	SSFI	Escoamento	Hidrológica	Modarres (2007)
Índice de Precipitação-Evapotranspiração Padronizado	SPEI	Precipitação e evapotranspiração	Meteorológica	Vicente-Serrano, Beguería e López-Moreno (2010)
Índice de Porcentagem Normal	IPN	Precipitação	Meteorológica	Willeke, Hosking e Wallis (1994)

Fonte: Adaptado de Junqueira (2019) e Fernandes *et al.* (2009) – Organizado pelo autor.

SALEHNIA *et al.* (2017), utilizou o índice IPN de forma integrada a outros indicadores para caracterizar a seca meteorológica em uma bacia do Irã, obtendo resultados compatíveis para todos os índices comparados. No Brasil, o IPN tem sido empregado para classificar intensidades de secas desde escalas sazonais e anuais

(LIMA, 2016), até escalas mensais (TEIXEIRA *et al.*, 2013), apresentando-se útil na detecção de eventos extremos e na análise de impactos na agricultura (GOIS, 2005).

2.2 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Yassuda (1993), definiu a bacia hidrográfica como o palco unitário de interação das águas com os meios físico, biótico, social, econômico e cultural. Um elemento sistêmico, que pode ser discretizado em várias sub-bacias interligadas pelo sistema hidrológico, possibilitando o estudo das variáveis hidrológicas em diferentes escalas geográficas (VILLELA; MATTOS, 1975).

Por muito tempo as pesquisas hidrológicas se concentraram nos processos locais de microescala, com resultados significativos apenas em poucas seções da bacia (COLLISCHONN, 2001). À medida que a hidrologia foi se desenvolvendo, problemas com relação às escalas cada vez maiores foram surgindo, como a busca pela determinação de funções que permitiam a transferência de variáveis e parâmetros entre diferentes escalas de observações (BECKER; NEMEC, 1987; MENDIONDO; TUCCI, 1997).

Com o intuito de aprimorar os estudos sobre eventos extremos o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos – NRC (1988), sugeriu a substituição da escala temporal pela espacial, por meio de métodos de regionalização. Segundo Tucci (2002), a regionalização hidrológica compreende um conjunto de métodos explorativos que possibilitam a estimação de variáveis hidrológicas em locais com carência de dados ou inexistência de monitoramento, com base na transferência de dados em regiões consideradas homogêneas. Ademais, a regionalização possibilita, também, a análise da variância espacial de parâmetros e quantis de um certo modelo distributivo (FERNANDES, 2005).

Além de variáveis hidrológicas (vazão, precipitação e evapotranspiração), outros dados podem ser regionalizados, como indicadores, funções de distribuição de probabilidades, curvas de permanência, descargas máximas anuais, e parâmetros característicos de bacias (TUCCI, 2009; WOLFF, 2013). De acordo com Pagliero *et al.* (2019), a partir do conhecimento de fatores característicos da bacia, diversos modelos de regionalização têm sido propostos na literatura, como modelos de regressão lineares e não lineares, ponderadas e sequenciais. Além destes modelos, Pagliero *et al.* (2019) salientam também o uso de conjuntos de abordagens baseados

na similaridade hidrológica, como técnicas de aglomerados, transferência de parâmetros entre clusters (DROGUE; KHEDIRI, 2016), e técnicas de interpolação espacial (WOLFF; DUARTE; MINGOTI, 2014).

Dentre as metodologias de uso corrente na Hidrologia Estatística, Naghettini e Pinto (2007), destacam o método de regionalização de cheias *Index-Flood* (cheia-índice), introduzido por Dalrymple (1960) e desenvolvido por NERC (1975). Segundo Naghettini e Pinto (2007, p. 457), o método *Index-Flood* visa “[...] adimensionalizar quaisquer dados obtidos em pontos distintos de uma região [...] homogênea, com a finalidade de utilizá-los como um conjunto amostral único.” Deste modo, tal metodologia não se restringe apenas ao estudo de cheias, tendo sua aplicação disseminada em estudos de qualquer tipo de variável (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Vale ressaltar, que embora a regionalização hidrológica seja descrita como uma técnica válida para compreender o comportamento hidrológico espacial (NAGHETTINI; PINTO, 2007; LU, 2016), com a vantagem de diminuir os efeitos dos erros amostrais locais (FERNANDES, 2005), os métodos regionais visam apenas uma estimativa mais adequada dos dados diante das incertezas existentes. Tal estimativa não deve ser confundida com a substituição das informações, uma vez que a aplicabilidade e precisão dos métodos de regionalização estão sujeitos à disponibilidade e à qualidade dos dados hidrológicos, para que não se obtenha resultados tendenciosos (TUCCI, 2002; FERNANDES, 2005).

2.2.1 Regiões homogêneas

De acordo com GOMES *et al.* (2016), a identificação de regiões homogêneas fornece uma caracterização hidrológica fundamental no processo de regionalização, possibilitando a representação da similaridade hidrológica em qualquer escala da bacia. Na análise de frequência regional de variáveis aleatórias, esta etapa é considerada a mais complexa e sujeita a subjetividades (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Segundo Wolff (2013), a maioria dos métodos de definição e delimitação de regiões homogêneas, baseia-se no comportamento hidrológico das bacias, em função da similaridade de suas propriedades climáticas, físicas e hidrológicas. Em outras palavras, nas características locais da bacia. Tais características trata-se de atributos previamente conhecidos a partir de amostras pontuais como latitude, longitude,

altitude e outras propriedades que podem exercer influência nos valores da variável observada (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Com vistas a diminuir a subjetividade de tais métodos, Hosking e Wallis (1997), sugeriram a utilização das estatísticas locais (medidas de dispersão e assimetria) dos postos hidrométricos, como uma medida adicional na delimitação de regiões homogêneas, com o intuito de confrontar os resultados obtidos pela pré análise das características locais.

Conforme Bork (2018), uma das técnicas mais utilizadas no processo de delimitação de regiões homogêneas é a análise de agrupamento de indivíduos, na qual os postos de observação são agrupados com base em suas características e/ou estatísticas locais, utilizando-se uma medida de similaridade. Os principais métodos de agrupamento utilizados para a delimitação preliminar de regiões homogêneas, foram apresentados por Naghettini e Pinto (2007), conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Métodos de agrupamento para pré-delimitação de regiões homogêneas

Método	Descrição	Referências básicas
Conveniência Geográfica	Agrupamento subjetivo e/ou conveniente dos postos de observação, contíguos em áreas administrativas ou zonas definidas segundo limites arbitrários	NERC (1975); Institution of Engineers Australia (1987)
Agrupamento Subjetivo	Agrupamento dos postos de observação com base na similaridade de características locais, tais como classificação climática, relevo ou isoietas anuais.	Schaefer (1990); Pinto e Naghettini (1999)
Agrupamento Objetivo	Agrupamento dos postos de observação em um ou mais conjuntos de modo que uma dada estatística não exceda um valor limiar previamente selecionado	Wiltshire (1986); Wiltshire (1986); Pearson (1991)
Análise de Aglomerados (Cluster Analysis)	Método usual de análise estatística multivariada, no qual associa-se a cada posto um vetor de dados contendo as características e/ou estatísticas locais. Em seguida os postos são agrupados e reagrupados de forma que seja possível identificar a maior ou menor similaridade entre seus vetores de dados.	Tryon (1939); Burn (1989); Guttman (1993)

Fonte: Naghettini e Pinto (2007) – Organizado pelo autor

Naghettini e Pinto (2007) citaram ainda os métodos: Análise de resíduos de regressão (TASKER, 1982), Análise de componentes principais (NATHAN; MCMAHON, 1990), Análise fatorial (WHITE, 1975), Correlação canônica, Análise discriminante (WAYLEN; WOO, 1984) e Análise de formas das funções densidades de probabilidade (GINGRAS; ADAMOWSKI, 1993).

De acordo com Elesbon *et al.* (2015), as análises estatísticas multivariadas são técnicas utilizadas para otimizar estudos de regionalização hidrológica, diminuindo o

tempo de tratamento de dados e as incertezas dos resultados obtidos. A Análise de Aglomerados (ou Análise de Clusters), apesar de ainda ser sujeita a subjetividades é o método mais prático a ser empregado, sendo considerado um método preferencial por Hosking e Wallis (1997).

2.2.2 Análise de Aglomerados

A Análise de aglomerados, também conhecida como Análise de *Cluster*, é um método de estatística multivariada muito aplicado na delimitação de regiões homogêneas. Segundo Naghettini e Pinto (2007), a Análise de Aglomerados é largamente utilizada como método de regionalização em estudos hidrológicos e climáticos, e foi empregada pela primeira vez por Tryon (1939). Neste método, um vetor de dados das características ou estatísticas das estações é relacionado a cada posto de observação para realizar agrupamentos, baseados na distância de similaridade ou dissimilaridade de cada vetor (VERSIANI; CARNEIRO, 2001).

Conforme Naghettini e Pinto (1997), a medida mais utilizada é a distância Euclidiana generalizada, que corresponde à distância geométrica de um espaço de p dimensões, entre dois indivíduos i e j , cuja expressão é:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (Z_{ik} - Z_{jk})^2} \quad (2.1)$$

Diversos estudos hidrológicos optaram pela aplicação da Análise de Aglomerados na identificação de regiões homogêneas, com diferentes métodos e algoritmos de agrupamento, dentre eles se destacam o método das *k-means*, o método de Ward (WARD, 1963) e o algoritmo hierárquico (RASHEED *et al.*, 2019). Irwin (2015), cita diversos autores que utilizaram a Análise de Aglomerados para delinear regiões homogêneas de precipitação, como Rao e Srinivas (2006), Satyanarayana e Srinivas (2008; 2011), Srinivas (2013) e Asong *et al.* (2015).

Conforme Zalik e Zalik (2011), a aplicação da Análise de Aglomerados pode ser realizada por meio de algoritmos hierárquicos e não-hierárquicos, também denominados de particionais. Um dos métodos de Análise de Aglomerados mais empregados é o método não-hierárquico das K-médias (*K-means clustering*),

desenvolvido por Hartigan (1975), que faz uso do algoritmo de agrupamento particional *k-means* desenvolvido por MacQueen (1967).

O algoritmo *k-means* mede a similaridade com base na distância entre os elementos e o valor médio central dos atributos locais de cada *cluster* (NAGHETTINI; PINTO, 2007), produzindo K *clusters* com membros aleatórios, os quais são movidos iterativamente de um *cluster* para outro, visando minimizar a variabilidade *intra-cluster* e maximizar a variabilidade entre os *clusters*.

De acordo com Hosking e Wallis (1997), quando aplicado a delimitação de regiões homogêneas, o método das k-médias requer a determinação preliminar do número de clusters a ser considerado, visando o equilíbrio entre regiões muito extensas e demasiadamente pequenas, assim como a quantidade de postos de observações, sendo considerado como valor ideal uma média de 20 postos em cada região.

Com base nas recomendações de Hosking e Wallis (1997), após a definição preliminar de regiões homogêneas e o confronto com as estatísticas locais de cada posto, caso necessário, deve-se realizar ajustes nos clusters para que os resultados sejam coerentes geograficamente. Tais ajustes consistem na transferência de postos de observação para outras regiões, na remoção de um ou mais postos, na subdivisão de regiões, na combinação de uma região com outra ou na redefinição das regiões (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.2.3 Método dos Momentos-L

As variáveis hidrológicas são associadas a uma certa probabilidade de ocorrência, cujo comportamento pode ser descrito por um modelo de distribuição. Segundo Wolff (2013), o Método dos Momentos-L (MML), introduzido por Hosking (1986), tem sido utilizado na quantificação dos parâmetros de distribuições de probabilidades, para auxiliar a análise de consistência de dados em estudos hidrológicos.

De acordo com Versiani e Carneiro (2001), os momentos estatísticos convencionais, em específico a assimetria e curtose, geralmente são empregados para a verificação do ajuste de uma amostra de dados aleatória a uma certa função de distribuição. Porém, tais estatísticas muitas vezes não são capazes de produzir boas estimativas dos valores populacionais, principalmente em amostras pequenas.

Como alternativa, os momentos-L, quantidades inferidas dos Momentos Ponderados por Probabilidades (MPP's) de Greenwood *et al.* (1979), são considerados mais robustos do que os momentos convencionais por estarem menos sujeitos a flutuações amostrais, produzindo estimadores de parâmetros equivalentes aos produzidos pelo método da Máxima Verossimilhança (MVS), sendo ainda mais precisos no caso de amostras pequenas, além de demandarem um menor esforço computacional (NAGHETTINI, PINTO, 2007).

A partir das medidas de momentos-L, Hosking e Wallis (1997), propuseram um conjunto de procedimentos e estatísticas auxiliares, baseados nas premissas do método *Index-Flood* (vide Dalrymple, 1960), visando diminuir as subjetividades presentes na análise regional de consistência de dados, preenchimento de falhas das estações pluviométricas e delimitação de regiões homogêneas. Tais procedimentos foram minuciosamente detalhados por Naghettini e Pinto (2007).

Os momentos-L são medidas de localização, escala e forma de uma distribuição de probabilidade, deduzidos a partir de combinações lineares de ordem estatística, com a finalidade de associar a realidade física de um conjunto amostral a concepção abstrata de um modelo probabilístico estabelecido para uma variável aleatória (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Com base no método dos Momentos Ponderados por Probabilidades (MPP's) proposto por Greenwood *et al.* (1979), o método de estimação de parâmetros apresentado por Hosking (1986) propõem que: para uma amostra x contida em um conjunto crescente de observações N , sendo r e s números reais, as estimativas não-enviesadas (mais eficientes) dos MPP's α_s e β_r são expressas por:

$$a_s = \hat{\alpha}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\binom{N-i}{s}}{\binom{N-1}{s}} x_i \quad (2.2)$$

$$b_r = \hat{\beta}_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\binom{N-i}{r}}{\binom{N-1}{r}} x_i \quad (2.3)$$

Onde a_s e b_r são as estimativas amostrais de α_s e β_r , x_i são os valores da amostra classificados em ordem crescente e N é o tamanho da amostra. Visto que, os MPP's α_s e β_r e suas respectivas estimativas amostrais a_s e b_r , relacionam-se entre si pelas expressões:

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^s \binom{s}{i} (-1)^i \beta_i \text{ ou } \beta_r = \sum_{i=1}^r \binom{r}{i} (-1)^i \alpha_i \quad (2.4)$$

E que as combinações lineares de α_s e β_r referentes aos momentos-L de ordem r (λ_r) são determinadas por:

$$\lambda_r = (-1)^{r-1} \sum_{k=0}^{r-1} p_{r-1,k} \alpha_k = \sum_{k=0}^{r-1} p_{r-1,k} \beta_k \quad (2.5)$$

onde:

$$p_{r-1,k} = (-1)^{r-k-1} \binom{r-1}{k} \binom{r+k-1}{k} \quad (2.6)$$

Logo, a aplicação da Equação 2.4 para os quatro primeiros momentos-L (λ_r), substituídos os MPP's α_s e β_r pelas respectivas estimativas amostrais a_s e b_r , resultam nos momentos-L amostrais denotados por l_r e expressos pelas Equações 2.7 a 2.10:

$$l_1 = a_0 = b_0 \quad (2.7)$$

$$l_2 = a_0 - 2a_1 = 2b_1 - b_0 \quad (2.8)$$

$$l_3 = a_0 - 6a_1 + 6a_2 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad (2.9)$$

$$l_4 = a_0 - 12a_1 + 30a_2 - 20a_3 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \quad (2.10)$$

A partir da obtenção dos momentos-L amostrais (l_r), pode-se determinar os quocientes de momentos-L t , t_3 e t_4 , equivalentes aos coeficientes de variação (τ), assimetria (τ_3) e curtose (τ_4), substituindo-se λ_r por suas estimativas l_r nas seguintes expressões:

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.11)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (2.12)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (2.13)$$

O método MML de estimação de parâmetros consiste em igualar os momentos-L populacionais aos momentos-L amostrais. Deste modo, uma Amostra Aleatória Simples (AAS), retirada de uma população de uma variável aleatória, constituída por

N observações (y) e distribuída conforme $f_y(y; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ de k , uma vez que $[\lambda_1, \lambda_2, \tau_j]$ e $[l_1, l_2, t_j]$ representam, respectivamente, os momentos-L (e seus quocientes) populacionais e amostrais. O sistema de equações fundamental do método dos momentos-L é expresso pelas Equações 2.14 e 2.15:

$$\lambda_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = l_i \text{ com } i = 1, 2 \quad (2.14)$$

$$\tau_j(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = t_j \text{ com } j = 3, 4, \dots, k - 2 \quad (2.15)$$

As soluções $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_k$ desse sistema de k equações e k incógnitas serão as estimativas dos parâmetros θ_j pelo método MML. A Tabela 3, apresenta as denotações e termos utilizados para as estatísticas calculadas com os momentos populacionais teóricos e os momentos-L amostrais.

Tabela 3 – Denotações das estatísticas dos momentos teóricos e dos momentos-L

Medidas convencionais	Momentos teóricos	Momentos amostrais	Medidas de Momentos-L	Momentos-L teóricos	Momentos-L amostrais
Média	μ	\bar{x}	Localização-L	λ_1	l_1
Desvio Padrão	σ	S	Escala-L	λ_2	l_2
CV	CV	cV	CV-L	τ	t
Assimetria	γ	g	Assimetria-L	τ_3	t_3
Curtose	κ	k	Curtose-L	τ_4	t_4

Fonte: Adaptado de Hellies (2015)

2.2.3.1 Teste de homogeneidade regional

O Teste de homogeneidade regional é constituído de duas medidas estatísticas, a Medida de Discordância (Dj) e a Medida de Heterogeneidade (H). A Medida de Discordância (Dj) foi sugerida por Hosking e Wallis (1997) como subsídio para a etapa de análise de consistência dos dados. Tal estatística, visa detectar os postos de observação discordantes de uma região, a partir da variação dos quocientes de momentos-L em um espaço tridimensional.

Formalmente, os quocientes de momentos-L, CV-L (t), Assimetria-L (t_3) e Curtose-L (t_4), de um dado local j , compõem um vetor (3x1) representado por um ponto no espaço, dado por:

$$u_j = [t^j t_3^j t_4^j]^T \quad (2.16)$$

Onde: T = Matriz transposta. A média grupal dos quocientes de momentos-L para todos os postos observados, pode ser descrita pela média aritmética simples de u_j :

$$\bar{u} = \frac{\sum_{j=1}^N u_j}{N} [t^R t_3^R t_4^R]^T \quad (2.17)$$

Onde: N = quantidade de postos de observação da região R . Assim, a matriz de covariância amostral S e a medida de discordância D_j , para a região j , são dadas pelas equações:

$$S = (N - 1)^{-1} \sum_{i=1}^N (u_j - \bar{u})(u_j - \bar{u})^T \quad (2.18)$$

$$D_j = \frac{N}{3(N - 1)} (u_j - \bar{u})^T S^{-1} (u_j - \bar{u}) \quad (2.19)$$

Segundo Hosking e Wallis (1997), em regiões que possuem menos de 5 postos de observação a estatística D_j não é informativa, sendo mais aconselhável seu uso para $N \geq 7$. Os valores críticos para D_j são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores críticos da medida de discordância (D_j)

Nº de postos da região	Dj crítico
5	1,333
6	1,648
7	1,917
8	2,140
9	2,329
10	2,491
11	2,632
12	2,757
13	2,869
14	2,971
≥ 15	3

Fonte: Naghettini e Pinto (2007)

Após a identificação preliminar de regiões homogêneas realizada pelas características locais dos postos de observações, Hosking e Wallis (1997), recomendam o uso da Medida de Heterogeneidade (H), baseada nas estatísticas-L locais, para a confirmação da delimitação da região. Tal medida foi criada com o intuito de verificar se a dispersão entre os quocientes de momentos-L amostrais, em um dado conjunto de postos de observação, é maior do que a variabilidade esperada em uma

região homogênea, uma vez que hipoteticamente todos os postos dispõem dos mesmos momentos populacionais (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Assim, a Medida de Heterogeneidade (H) compara a variação dos momentos-L amostrais com momentos-L simulados para uma região homogênea, por meio de uma distribuição de probabilidades atribuída a população, adotando-se como medida de dispersão o CV-L (t). Em suma, tal comparação se dá pelo quociente da diferença relativa entre a dispersão observada e a média das simulações, e o desvio padrão das simulações. Para tal, o desvio padrão ponderado (V) dos CV-L's das amostras observadas se dá pela expressão:

$$V = \left[\frac{\sum_{j=1}^N n_j (t^j - t^R)^2}{\sum_{j=1}^N n_j} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

Para a simulação da região homogênea, Hosking e Wallis (1997), recomendam o uso da distribuição Kappa de quatro parâmetros, capaz de representar variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas, cujas função densidade de probabilidade, acumulada e de quantis, são respectivamente definidas por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[i - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k-1}} [F(x)]^{1-h} \quad (2.21)$$

$$F(x) = \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\}^{\frac{1}{h}} \quad (2.22)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\frac{1 - F^h}{h} \right)^k \right] \quad (2.23)$$

Onde, ξ refere-se ao parâmetro de posição, α ao parâmetro de escala e os parâmetros k e h à forma. Tais parâmetros são estimados de modo a reproduzir os quocientes de momentos-L regionais $\{1, t^R, t_3^R, t_4^R\}$.

Em seguida, são simuladas N_{SIM} regiões homogêneas (sem correlação cruzada e/ou serial), compostas por N amostras individuais, com n_i valores da variável normalizada. Calculam-se ainda, as estatísticas $V_j (j = 1, 2, \dots, N_{SIM})$ para todas as regiões homogêneas simuladas, por meio da Equação 2.20. Hosking e Wallis (1997), sugerem que se façam 500 simulações N_{SIM} . Logo, a dispersão média esperada para

a região homogênea pode ser obtida a partir da média aritmética das estatísticas V_j , estimadas para cada simulação, dada pela expressão:

$$\mu_V = \frac{\sum_{j=1}^{N_{SIM}} V_j}{N_{SIM}} \quad (2.24)$$

Assim, a medida de heterogeneidade H estabelece a comparação entre as dispersões observada e simulada, da seguinte forma:

$$H = \frac{(V - \mu_V)}{\sigma_V} \quad (2.25)$$

Onde:

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_{SIM}} (V_j - \mu_V)^2}{N_{SIM} - 1}} \quad (2.26)$$

Sendo, V_j o desvio padrão ponderado amostral dos dados observados na suposta região homogênea, μ_V a média aritmética das estatísticas V_j calculada para cada simulação, e σ_V o desvio padrão entre os N_{SIM} valores da medida de dispersão V_j .

Por fim, conforme o teste de significância proposto por Hosking e Wallis (1997), pode-se classificar a região como “aceitavelmente homogênea” se $H < 1$, “possivelmente heterogênea”, se $1 \leq H < 2$, e “definitivamente heterogênea”, caso $H \geq 2$.

Hosking e Wallis (1997), ressaltam que, embora a medida de heterogeneidade seja aplicada como um teste de significância da hipótese nula de que a região é homogênea, em algumas ocasiões as razões de natureza física devem ter precedência sobre a natureza estatística, visto que a rigorosa interpretação da medida de heterogeneidade, só seria integralmente válida, caso a função Kappa representasse verdadeiramente a distribuição regional.

2.2.3.2 Aplicações na análise hidrológica regional

A metodologia proposta por Hosking e Wallis (1997), tem sido utilizada globalmente na análise de variáveis hidrológicas, por vezes, integrada a outras

metodologias de regionalização, com a finalidade de complementação ou comparação entre métodos. Embora a regionalização hidrológica seja aplicada largamente na variável vazão, no tocante a este trabalho, destacam-se os estudos nos quais a variável a ser regionalizada refere-se às chuvas médias ou máximas de um dado local.

Dad e Benabdesselam (2018), regionalizaram as chuvas intensas no Nordeste da Argélia, utilizando-se apenas as estatísticas aplicadas aos momentos-L da metodologia sugerida por Hosking e Wallis (1997). Com relação a regionalização de chuvas com abordagens integradas de técnicas de agrupamento e o MML, Badreldin e Ping (2012), fizeram o uso integrado de técnicas de Clusters e os Momentos-L para a análise regional da chuva na bacia de Luanhe na China. Noutro exemplo, Rasheed *et al.* (2019), executaram uma abordagem de delineamento de regiões pluviometricamente homogêneas no sudeste de Queensland, Austrália, utilizando o agrupamento das k-médias e os momentos-L.

Outro tipo de abordagem complementar é a união da metodologia de regionalização ao conceito da teoria das variáveis regionalizadas. Hellies (2015) caracterizou o regime de chuvas extremas na ilha de Sardenha próxima a península italiana aplicando as estatísticas do MML e métodos geoestatísticos de interpolação.

No Brasil, destacam-se os trabalhos de regionalização hidrológica de Basso (2019), para o estado de Rio Grande do Sul; Versiani e Carneiro (2001), para a Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais; Weschenfelder *et al.* (2015) para o litoral do Rio Grande do Sul; Wolff (2013) para o estado de São Paulo; Batista (2013), para a região Sudeste do Brasil e Bello (2018) para estado de Minas Gerais.

2.3 GEOESTATÍSTICA APLICADA A VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

Conforme Landim (2006), a geoestatística teve origem a partir de uma técnica empírica aplicada a geologia mineira para estimação de reservas minerais. Tal técnica foi desenvolvida por Krige (1951) e mais tarde formalizada por Matheron (1962), através da teoria das variáveis regionalizadas.

Em síntese, a teoria de Matheron (1962), estabelece como variável regionalizada o conjunto de valores reais de uma certa variável nos diversos pontos (x_i) de um espaço amostral, que constituem uma função aleatória. Em outras palavras, são variáveis cujos valores estão associados a posição que ocupam no espaço. Nesse contexto, Landim (2006; 2010), definiu a geoestatística como uma vertente da

estatística aplicada, que visa o entendimento da variabilidade espacial de uma certa variável, por meio de uma função de correlação.

Embora tenha se originado a partir de problemas de mineração, grande parte das geociências têm utilizado a geoestatística para o estudo e interpretação do comportamento espacial de fenômenos naturais, como a geologia, a geofísica, a geotecnia, a climatologia e a hidrologia (FANSHAW; DIGGLE, 2012; LANDIN, 2010).

2.3.1 Fundamentos de geoestatística

Segundo Journel e Huijbregts (1978), os valores locais de uma variável regionalizada obedecem a uma função de probabilidade de ocorrência e distribuem-se no espaço de forma estruturada, permitindo a análise global por meio de uma função espacial. Assim como a estatística clássica, a geoestatística investiga determinados parâmetros da função densidade de probabilidade (FDP), com a finalidade de realizar inferências sobre a variável regionalizada. Conforme Sturaro (2015), a geoestatística linear faz uso dos momentos da função casual (esperança matemática e variância), com base na hipótese de estacionaridade espacial, assumindo-se que todas as amostras analisadas integram a mesma população.

De acordo com Salgueiro (2005), a estacionaridade espacial é cumprida quando os momentos estatísticos da variável aleatória são iguais para qualquer distância, devendo tal estacionaridade ser de segunda ordem, para que a variância dos valores avaliados seja finita. Assim, a covariância $C(h)$ de uma variável regionalizada é dada pela Equação 2.27.

$$C(h) = E\{[Z(x+h) - m][Z(x) - m]\} \quad (2.27)$$

Onde, h equivale a distância entre dois pontos x_1 e x_2 , e m é a esperança matemática da variável observada $Z(x)$.

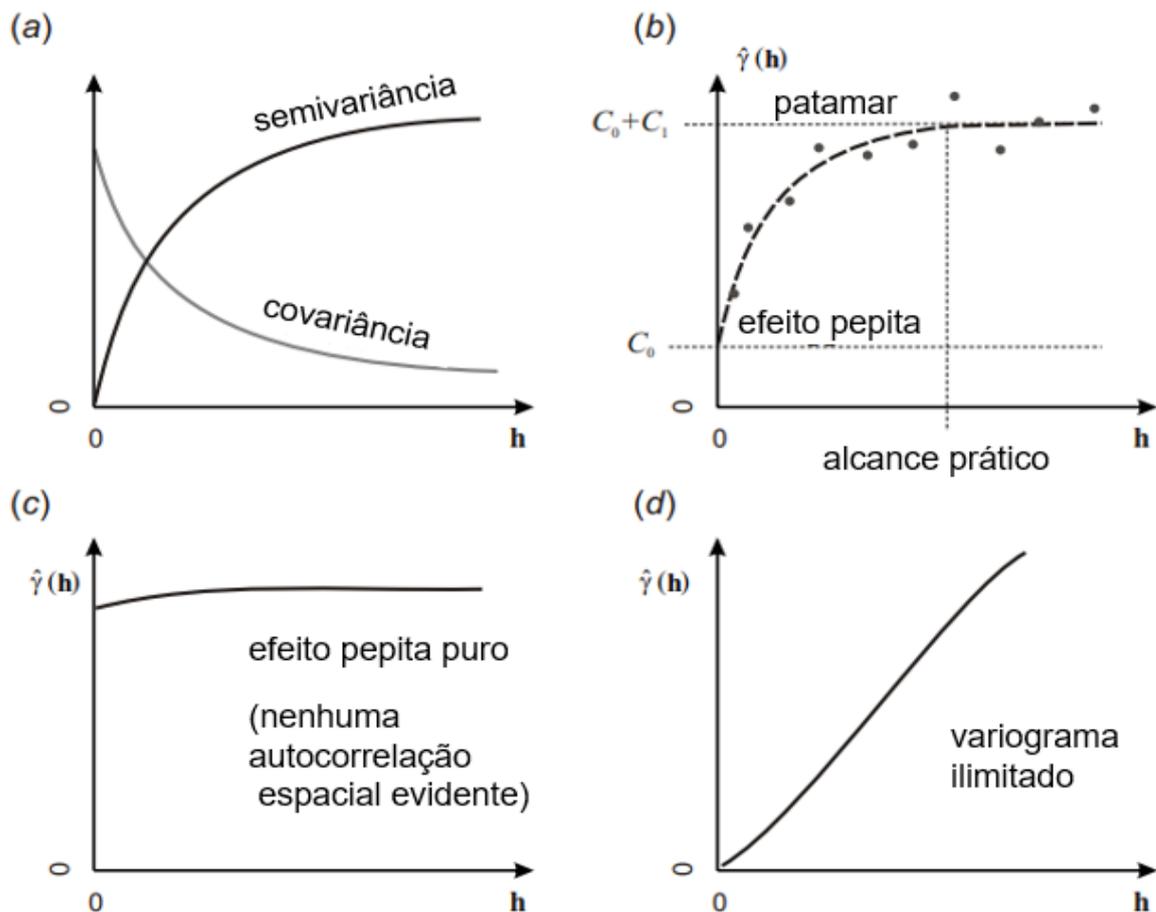
Em casos de fenômenos que apresentam alta capacidade de dispersão e variância infinita, a geoestatística assume a hipótese intrínseca, onde os 2 primeiros momentos dependem apenas da distância entre os valores das variáveis analisadas. Logo, em condições estacionárias, quando o valor médio esperado é constante ou equivale a zero, a dependência espacial é verificada por meio da função semivariograma (CLARK, 1979; MAKARA *et al.*, 2020), expressa pela Equação 2.28.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (2.28)$$

Onde, $N(h)$ refere-se ao número de pares experimentais de observações $Z(X_i)$ e $Z(X_i + h)$ distantes entre si a uma medida regular h .

Segundo Sturaro (2015), o semivariograma constitui-se no gráfico das semivariâncias das diferenças dos valores experimentais situados a intervalos regulares, por meio do qual pode-se verificar a zona de influência de uma amostra da variável regionalizada e a variação do seu comportamento espacial nas diferentes direções do terreno (LANDIM, 1998).

Figura 8 – Conceitos básicos do semivariograma



(a) Diferença entre semivariância e covariância; (b) Identificação do patamar e do efeito pepita; (c) Semivariograma sem correlação espacial; (d) Variograma ilimitado.
Fonte: Adaptado de Hengl (2009)

Após a construção do semivariograma experimental (Figura 8), obtido a partir das observações de campo, é realizado o ajuste de um modelo teórico ao gráfico das semivariâncias, para a verificação da dependência espacial dos dados amostrados.

Conforme Figura 9, o semivariograma apresenta 4 parâmetros: o alcance a , equivalente a variância dos dados; o patamar C , dado como o ponto de estabilização da dependência espacial, resultante de $C_0 + C_1$, equivalente a variância espacial; o efeito pepita C_0 , correspondente ao erro, ou incerteza, do semivariograma para pequena escala; e a contribuição C_1 , referente a informação fornecida pelos pares de pontos de observação (ALMEIDA, 2014).

O modelo teórico a ser ajustado ao semivariograma experimental, dependerá de como $\gamma(h)$ se comportará em relação a h (SALGUEIRO, 2005). Segundo Mello e Silva (2013), para variáveis climáticas os modelos mais empregados são os modelos com patamares: exponencial, esférico e gaussiano, dados pelas respectivas equações:

Modelo exponencial

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right) \right] \right\} \quad \text{para } h > 0 \quad (2.29)$$

Modelo esférico

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{para } 0 \leq h \leq A_0 \quad (2.30)$$

Logo,

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \quad \text{para } h \geq a \quad (2.31)$$

Modelo gaussiano

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h^2}{a} \right) \right] \right\} \quad \text{para } 0 < h < d \quad (2.32)$$

Nos quais, d é a distância máxima para qual o semivariograma foi determinado, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C$ é o patamar e a o alcance do semivariograma.

Segundo Sturaro (2015), algumas características estruturais dos semivariogramas devem ser levadas em consideração na etapa de modelamento variográfico, dentre elas, o suporte, a zona de influência, as regionalizações superpostas, a anisotropia, a continuidade espacial e a correionalização. O detalhamento de cada característica estrutural é encontrado em Huijbregts (1975).

2.3.2 Krigagem

A Krigagem ou *Kriging*, trata-se de um método de interpolação linear desenvolvido por Krige (1951), utilizado na geoestatística para a estimativa de variáveis distribuídas no espaço/tempo em locais não amostrados (LANDIM, 2010). De acordo com Macedo *et al.* (2014), tal método presume que a variação espacial de um dado fenômeno é estatisticamente homogênea em uma determinada região. Posto isto, a quantificação da variação espacial pode ser realizada por meio de um semivariograma de dispersão, dado pela Equação 2.28, que possibilita a identificação dos pesos a serem atribuídos às amostras para uma certa estimativa, os quais variam conforme o arranjo geográfico (LANDIM, 2010).

Conforme Salgueiro (2005), o princípio da krigagem trata-se da estimação de valores em qualquer ponto contido na área de estudo, por meio da dependência espacial entre os pontos vizinhos, com variância mínima e sem a presença de tendenciosidade.

Segundo Landim (2010), a krigagem pode ser utilizada como algoritmo estimador, que além de fornecer os valores estimados, se diferencia dos demais algoritmos por permitir a obtenção do “erro” associado as estimativas. Dentre os tipos de algoritmos existentes, destacam-se a krigagem simples, a krigagem universal e a krigagem ordinária, sendo esta última o preditor mais usual (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). De acordo com Lima *et al.* (2020) o interpolador da krigagem ordinária pode ser definido pela seguinte Equação 2.33.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(X_i) \quad , \quad \text{com} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (2.33)$$

Onde, $Z^*(x_0)$ é o valor estimado para qualquer local x_0 , N é a quantidade de valores medidos $Z(X_i)$ e λ_i são os pesos associados a cada um deles.

2.3.3 Sistemas de Informações Geográficas

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta de manipulação e análise de dados espaciais, tem se tornado cada vez mais frequente no campo da hidrologia e de outras ciências naturais. Segundo Bolfe (2011), a

tentativa de fundamentação teórica dos SIGs ocorreu na década de 40, considerada como o início da computação moderna. Porém, foi apenas em 1964, no Canadá, que houve o desenvolvimento do primeiro SIG e posteriormente o “revolucionamento quantitativo” da Geografia.

A integração de dados capazes de traduzir o comportamento espacial da bacia hidrográfica em um único sistema, foi apontada por Wolff (2013), como principal fator responsável pela importância da utilização de SIGs na tomada de decisões e planejamento de estudos hidrológicos.

A partir do georreferenciamento de dados obtidos em estações de observação e técnicas de interpolação, os SIGs realizam o mapeamento das informações coletadas, traduzindo o comportamento das variáveis hidrológicas em diferentes escalas espaciais e temporais (WOLFF, 2013). Desta forma, o emprego de SIGs possibilita a otimização da análise e interpretação de processos hidrológicos, necessárias na gestão dos recursos hídricos, viabilizando a aplicação da geoestatística na hidrologia.

2.3.4 Aplicações na espacialização da chuva

Segundo Salgueiro (2005), na hidrologia a primeira aplicação de métodos geoestatísticos foi realizada por Delhomme em 1976. Desde então, a geoestatística tem sido utilizada em diversos estudos de avaliação dos recursos hídricos, baseados na estimação de parâmetros em águas subterrâneas (VICENTE, *et al.*, 2018), e na espacialização da chuva (HU *et al.*, 2019).

A estimativa espacial da chuva é apontada por Hu *et al.* (2019), como a base para a compreensão científica das mudanças regionais e globais nos processos hidrológicos, de fundamental importância para o desenvolvimento da meteorologia, monitoramento e previsão hidrológica, necessário para lidar com desastres naturais e otimizar a gestão dos recursos hídricos.

Visando obter áreas de padrões semelhantes de precipitação na Bacia do Rio Paraná, Malfatti *et al.* (2018), utilizaram técnicas de agrupamento, e métodos geoestatísticos de interpolação de dados para inferir valores em locais não amostrados. A interpolação dos dados possibilitou um melhor detalhamento que a técnica de *clusters*, obtendo-se oito regiões com comportamento distintos.

Muthusamy *et al.* (2017), fizeram uso da geoestatística para a estimar a precipitação média de uma bacia urbana no Reino Unido, a partir de oito estações pluviométricas, para fornecer informações sobre a incerteza associada às estimativas de chuva. Dois fatores principais foram identificados, a variabilidade espacial da precipitação e os erros de medição, tendo maiores efeitos em intervalos pequenos de média temporal, devido a menor correlação espacial.

Berndt e Haberlandt (2018), investigaram a influência da resolução temporal e a densidade da rede hidrométrica no norte da Alemanha, na interpolação espacial da chuva e outras variáveis climáticas, comparando técnicas de interpolação simples e geoestatísticas. Em todas as variáveis analisadas, a geoestatística se mostrou mais eficiente que as técnicas convencionais. A resolução temporal mostrou-se mais influente que a densidade das estações.

No Brasil, uma metodologia geoestatística espaço-temporal foi aplicada por Medeiros *et al.* (2019), aos dados de precipitação mensal no estado da Paraíba. Os resultados mostraram uma intensa variabilidade espacial e temporal, desde extremas condições de escassez a excesso de chuva.

A partir do mapeamento da pluviosidade em diferentes períodos temporais, a geoestatística é capaz de traduzir o comportamento da chuva, permitindo a identificação de períodos atípicos, bem como a influência de padrões climáticos, como o ENOS, na dependência e variabilidade espacial e temporal da precipitação, possibilitando assim, uma melhor tomada de decisão dos gestores de recursos hídricos.

3 REGIÃO ALTO RIO PARANÁ

Este capítulo trata sobre a descrição física e climática na região Alto Rio Paraná (ARP) e os principais aspectos territoriais de suas 14 unidades hídricas, distribuídas nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo, compreendendo cerca de 30% do território brasileiro da bacia hidrográfica do rio Paraná, denominado de Região Hidrográfica Paraná (RH Paraná). Como cada unidade federativa utiliza nomenclaturas diferentes para se referir às sub-bacias, as unidades hídricas serão apresentadas no presente estudo como Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UEPGRHs), numeradas sentido Centro-oeste (Goiás e Mato Grosso do Sul) e Sudeste (Minas Gerais e São Paulo).

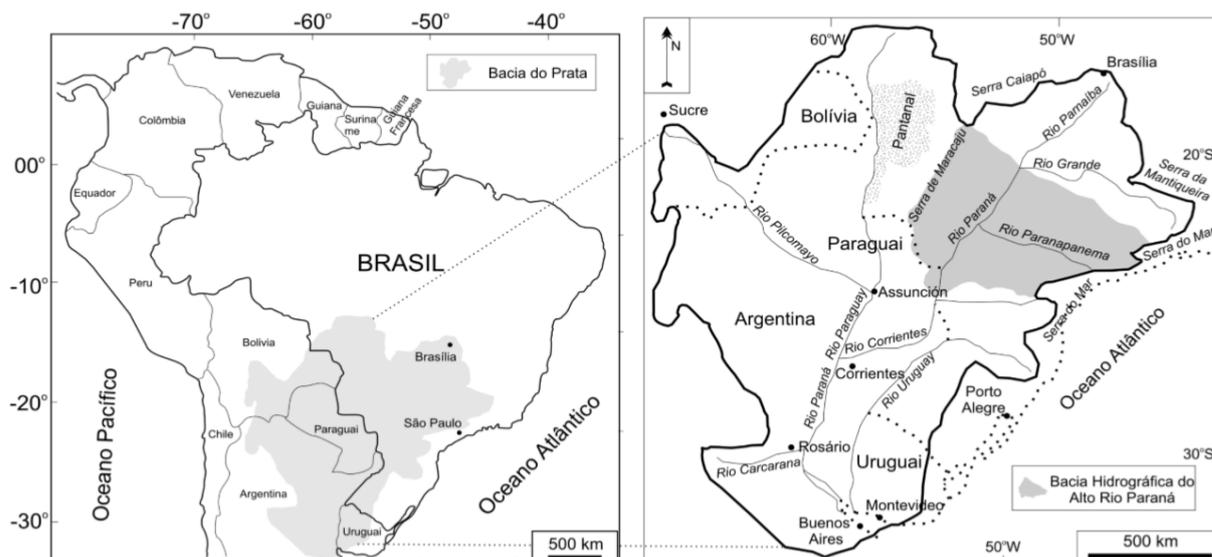
O cenário de escassez hídrica estabelecido sobre as UEPGRHs adjacentes à cabeceira e leito superior do rio Paraná, ameaça, além do meio ambiente, os diversos usos dos recursos hídricos em escala nacional e internacional, devido a importância dos setores agropecuário e hidrelétrico da região ARP. À vista das diferentes óticas administrativas e políticas que se pleiteiam sobre as águas transfronteiriças, foi abordado inicialmente um panorama geral da área de estudo, no qual são destacadas a abrangência do rio Paraná e a conjuntura econômica e ambiental da RH Paraná.

3.1 PANORAMA GERAL

Em conjunto com os rios Paraguai, La Plata, Pilcomayo e Uruguai, o rio Paraná constitui a Bacia do Rio Prata (BRP), segunda maior bacia da América do Sul, que abrange os países da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai, compreendendo cerca de 3.249.000 km² (SALLUN *et al.*, 2007). Dentre os tributários do rio La Plata, principal formador da BRP (Figura 9), o rio Paraná apresenta o maior sistema hídrico.

Devido à grande extensão do rio Paraná, seu sistema foi dividido em amplas regiões hidrográficas, classificadas de acordo com o desenvolvimento de seu curso principal. Stevaux (2000), propôs a subdivisão do rio Paraná em 4 regiões hidrográficas: o Alto Paraná, que se estende desde sua nascente até a barragem de Itaipu; o Médio Paraná, formado pelo Rio Paraguai até a confluência com o Rio Paraná próximo a Corrientes (Argentina); o Baixo Paraná, que corresponde a uma ampla planície aluvial até ao sul de Rosario (Argentina); e o Delta, localizado entre a confluência do Rio Carcarana com o Rio Paraná e a desembocadura no Prata.

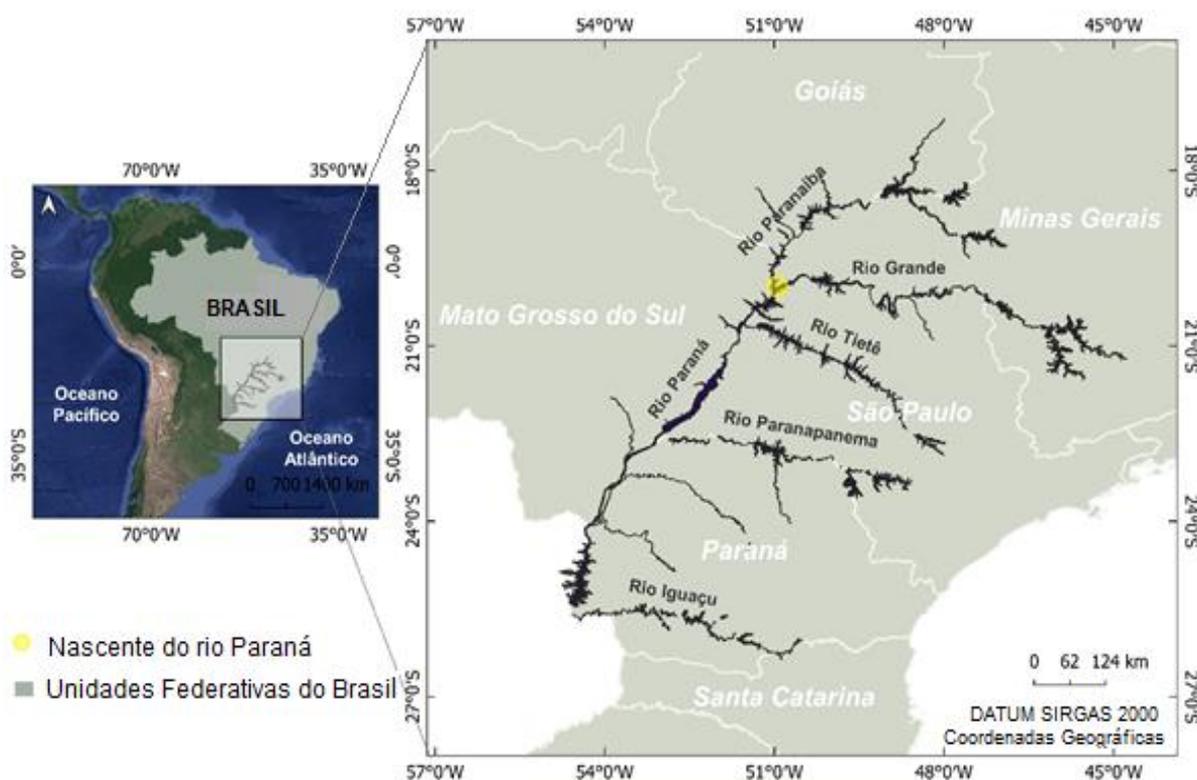
Figura 9 – Localização da Bacia do Rio da Prata



Fonte: Sallun, Suguio e Stevaux (2007 - Adaptado de Tucci e Clarke, 1998)

Conforme Figura 10, a partir da confluência dos rios Paranaíba e Grande, localizada a 1.980 m de altitude, o rio Paraná separa os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, percorrendo 1.405 km em solo brasileiro e 4.605 km de sua nascente até a foz no estuário do rio La Plata (ANA, 2015; RENÓ *et al.*, 2009).

Figura 10 – Nascente do rio Paraná e principais afluentes

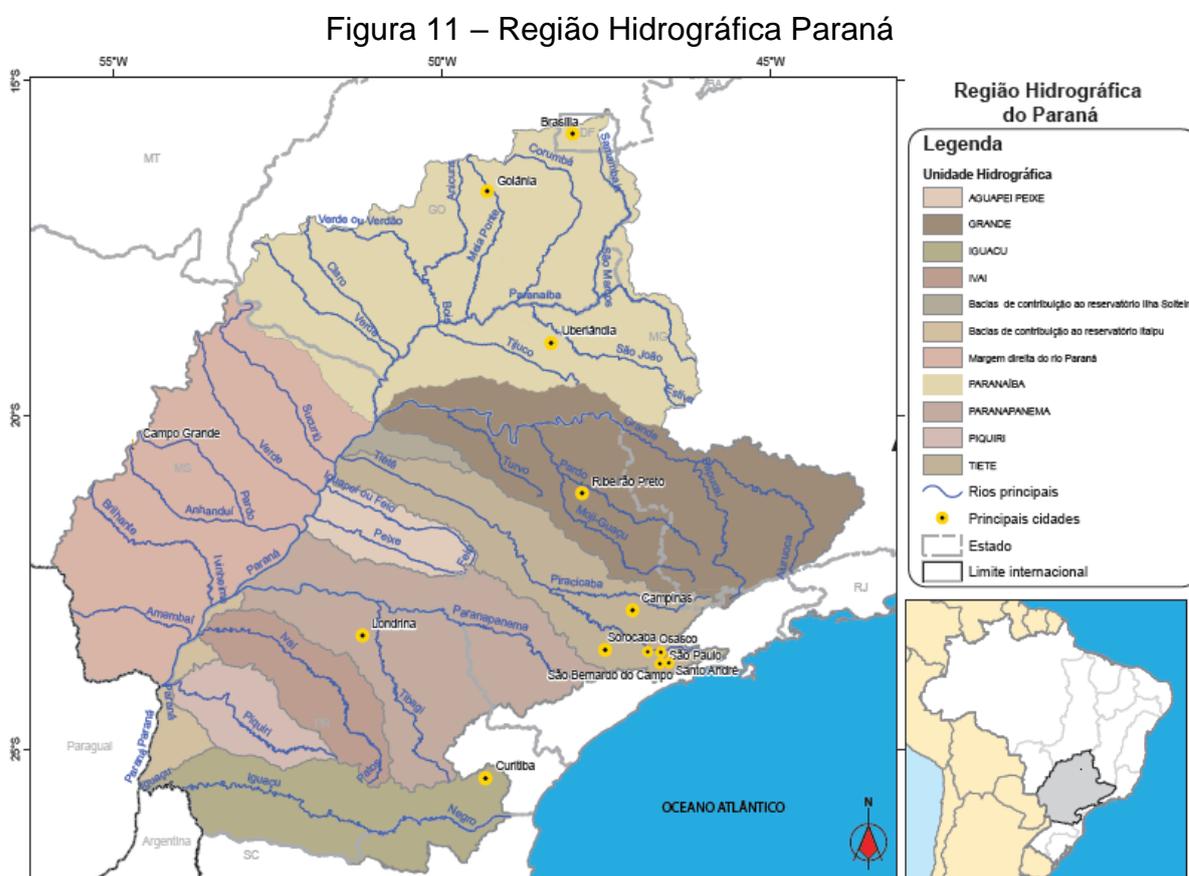


Fonte: ANA (2014) – Editado pelo autor.

Além dos rios Paranaíba e Grande, o Rio Paraná têm como tributários principais os rios Tietê, Paranapanema e Iguazu, que compõem uma ampla área de planalto de vital importância para a produção de energia hidrelétrica na Argentina, Brasil e Paraguai (FUJITA, 2014).

3.1.1 Região Hidrográfica Paraná

Segundo ANA (2015), a RH Paraná abrange 60% do sistema hídrico do rio Paraná e cerca de 10% de todo o território nacional (879.873 km²), além de 7 unidades federativas: São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal, dividindo-se em 11 unidades hidrográficas (Figura 11). Segundo IBGE (2010), na RH Paraná localizam-se 1.507 municípios e cerca de 61,3 milhões de habitantes, dos quais aproximadamente 93% representam a população urbana. Nesta região encontram-se as maiores demandas por recursos hídricos do Brasil, dividindo-se em usos de irrigação, industrial e urbano, tornando-a RH Paraná região de maior desenvolvimento econômico do país (ANA, 2015).



Fonte: ANA (2015).

Segundo ANA (2015), de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as variáveis hidrológicas na RH Paraná apresentam valores expressivos (Tabela 5), como a precipitação média anual, equivalente a 87% da média nacional, a vazão de retirada de aproximadamente 31% da demanda brasileira e o volume máximo de reservação per capita superior ao volume do país.

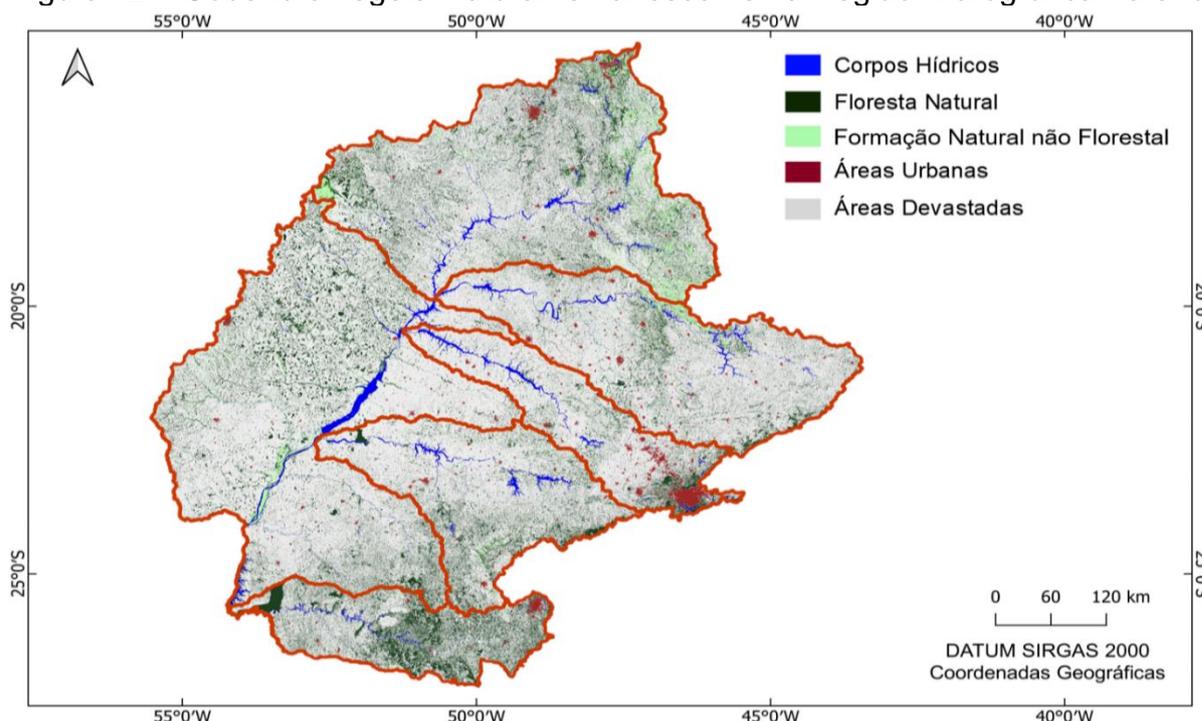
Tabela 5 – Dados hidrológicos da Região Hidrográfica Paraná

Dados do INMET	RH Paraná	Média Nacional
Precipitação média anual	1.543 mm	1.761 mm
Disponibilidade hídrica superficial	5.956 m ³ /s	91.071 m ³ /s
Vazão média	11.831 m ³ /s	179.516 m ³ /s
Vazão de retirada	736 m ³ /s	2.374 m ³ /s
Vazão específica	13 l/s/km ²	-
Volume máximo de reservação	4.047 m ³ /hab.	3.607 m ³ /hab.

Fonte: ANA (2015) – Organizado pelo autor

Conforme apresentado na Figura 12, desde o final da década de 90, as intensas atividades antrópicas aumentaram consideravelmente a dimensão das áreas desmatadas na RH Paraná (PNRH/CRHP, 2006). Em 2018, apenas 20,22% da área da RH Paraná correspondia a sua cobertura remanescente (MAPBIOMAS, 2019).

Figura 12 – Cobertura vegetal natural remanescente na Região Hidrográfica Paraná



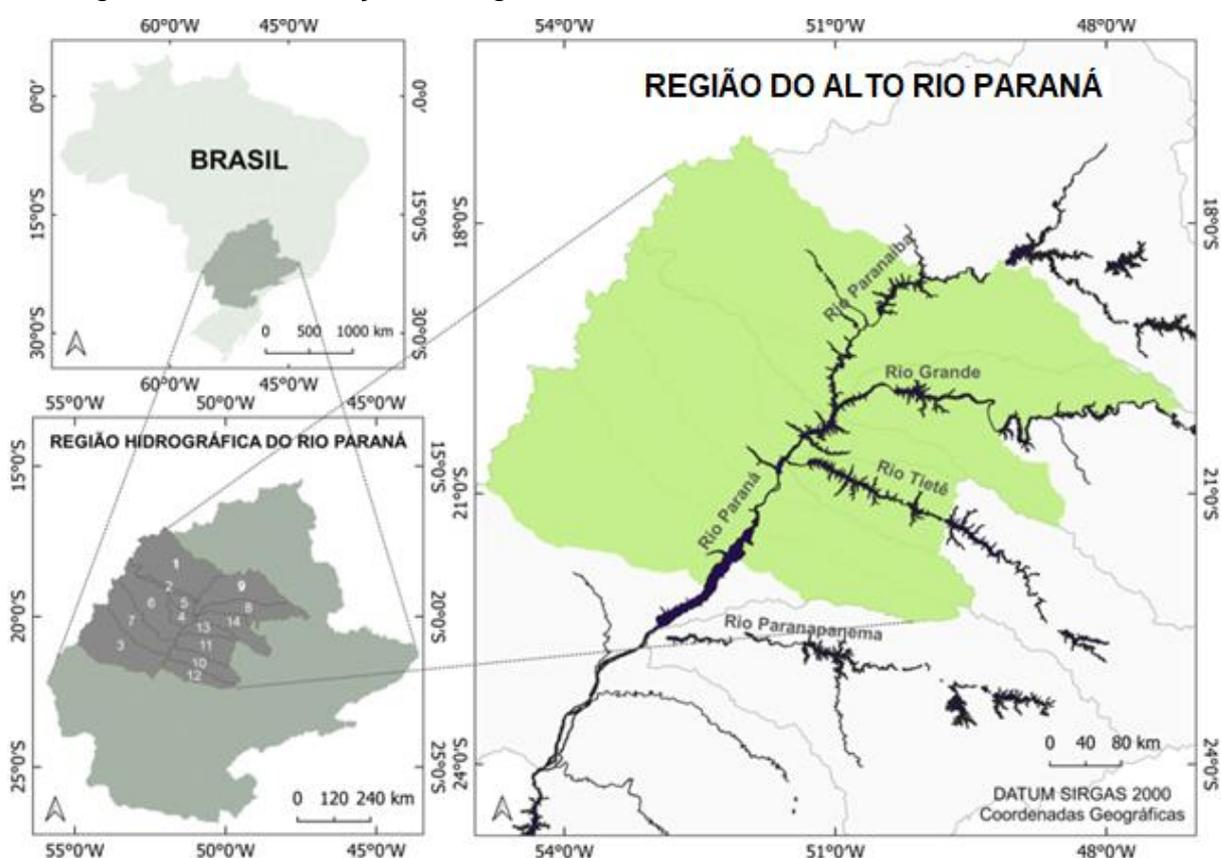
Fonte: FGV (1998).

Segundo ITAIPU (2020), a RH Paraná apresentava originalmente 5 tipos de cobertura vegetal: Cerrado, Mata Atlântica, Mata de Araucária, Floresta Estacional Decídua e Floresta Estacional Semidecídua. Porém, o uso do solo na região passou por grandes modificações no decurso dos ciclos econômicos do País, ocasionando a devastação de grandes áreas da região.

3.2 DESCRIÇÃO FÍSICO-TERRITORIAL

A região Alto Rio Paraná situa-se entre os extremos definidos pelas coordenadas geográficas: (22° 27' 25" S; 55° 09' W) e (16° 55' 24" S; 47° 11' 21" W), e abrange 14 unidades hídras dos estados de Goiás (1), Mato Grosso do Sul (6), Minas Gerais (2) e São Paulo (5), compreendendo uma área de 254.802 km² (30% do território da RH Paraná). Na Figura 13 são numeradas as UEPGRHs abrangidas pela região Alto Rio Paraná.

Figura 13 – Localização da região Alto Rio Paraná e sub-bacias constituintes



1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

Fonte: ANA (2014) – Editado pelo autor

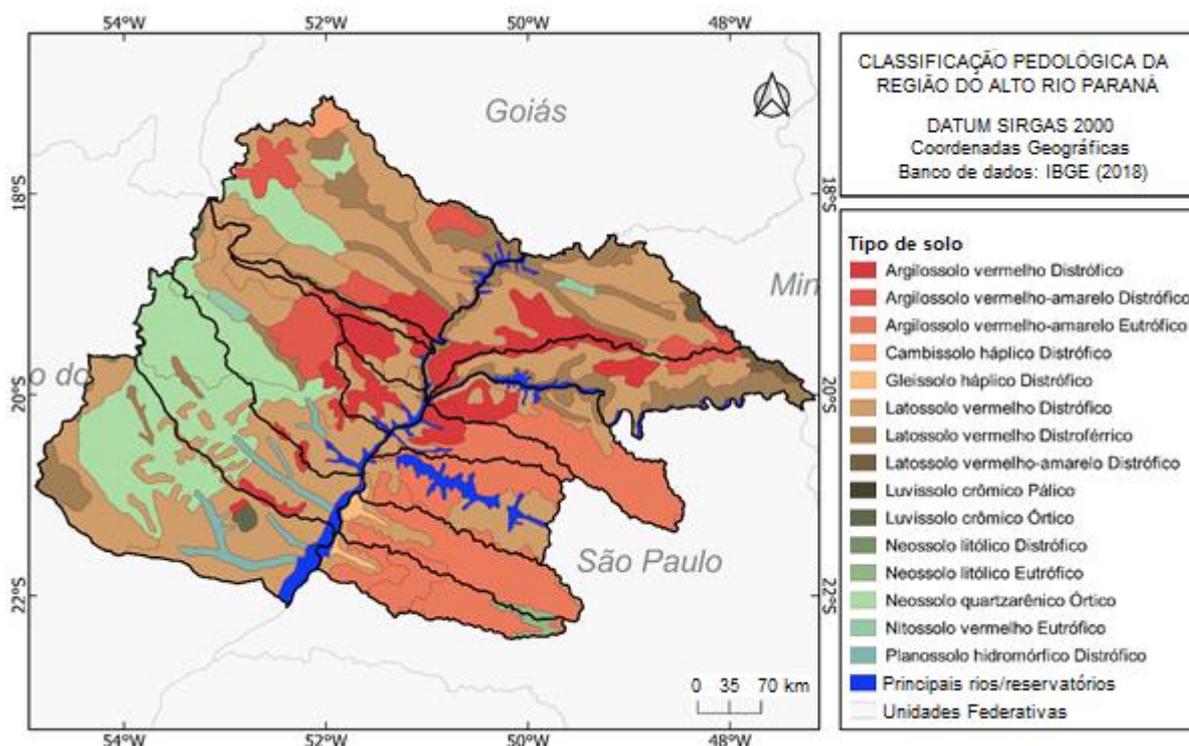
3.2.1 Geomorfologia

De acordo com Silva (2015), a região do Alto Rio Paraná está inserida em uma região correspondente a Formação Serra Geral e caracteriza-se por um seguimento de regiões morfoestruturais, que incluem o Planalto Atlântico, a Depressão Periférica, as Costas Basálticas e o Planalto Ocidental (PNRH, 2006).

3.2.2 Pedologia

Na Figura 14, apresenta-se a distribuição dos tipos de solo das UEPGRHs da região Alto Rio Paraná, de acordo com a classificação pedológica do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

Figura 14 – Classificação pedológica da região Alto Rio Paraná



Fonte: IBGE (2018) – Editado pelo autor

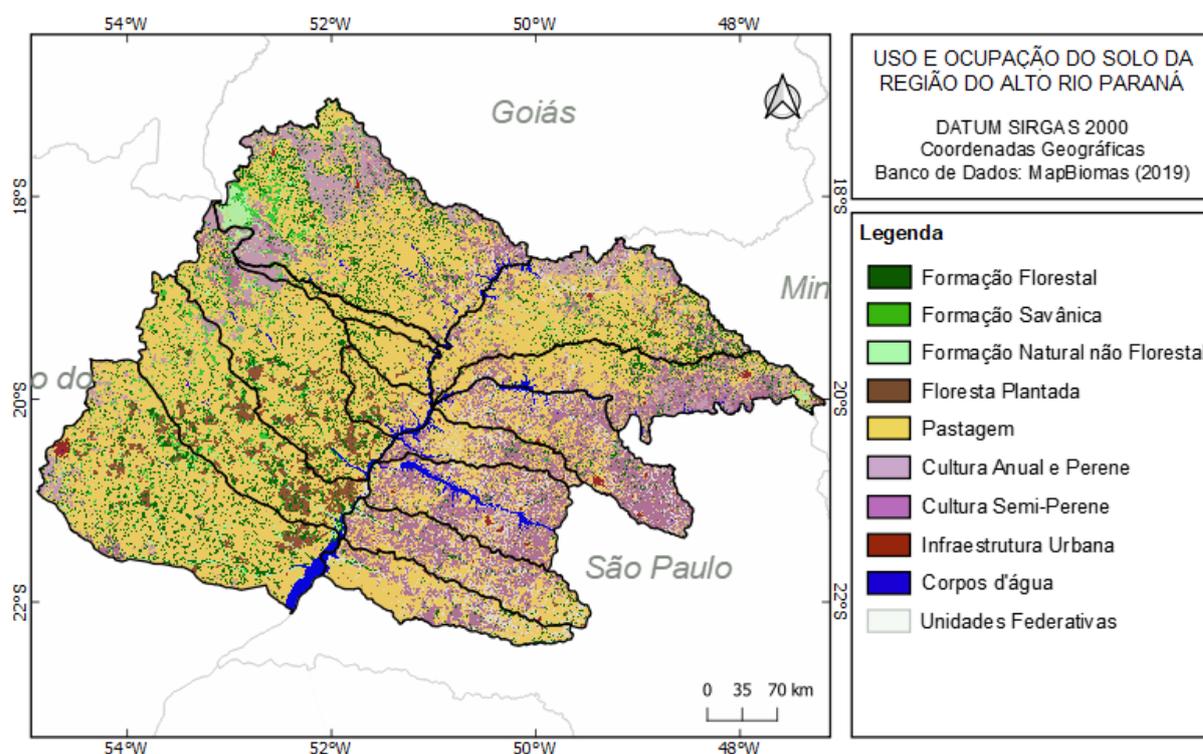
Segundo EMBRAPA (2018), a pedologia da região Alto Rio Paraná é caracterizada principalmente pela predominância do Latossolo Vermelho Distrófico, ao longo dos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, embora no Mato Grosso do Sul haja uma significativa ocorrência de Neossolo Quartzarênico Órtico nas regiões sudoeste e noroeste da parcela do estado. No estado de São Paulo, o solo

predominante é o Argilossolo Vermelho-amarelo Eutrófico, com presença de Latossolo Vermelho Distrófico nas regiões centrais próximas aos rios Paraná e Tietê.

3.2.3 Uso e cobertura do solo

De acordo com MapBiomas (2019), o uso e cobertura do solo na região Alto Rio Paraná pode ser classificado em formação florestal, formação savânica, formação natural não florestal, floresta plantada, pastagem, culturas anual, perene e semi-perene, infraestrutura urbana e corpos d'água, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Classificação do uso e cobertura do solo na região Alto Rio Paraná



Fonte: MapBiomas (2019) – Editado pelo autor

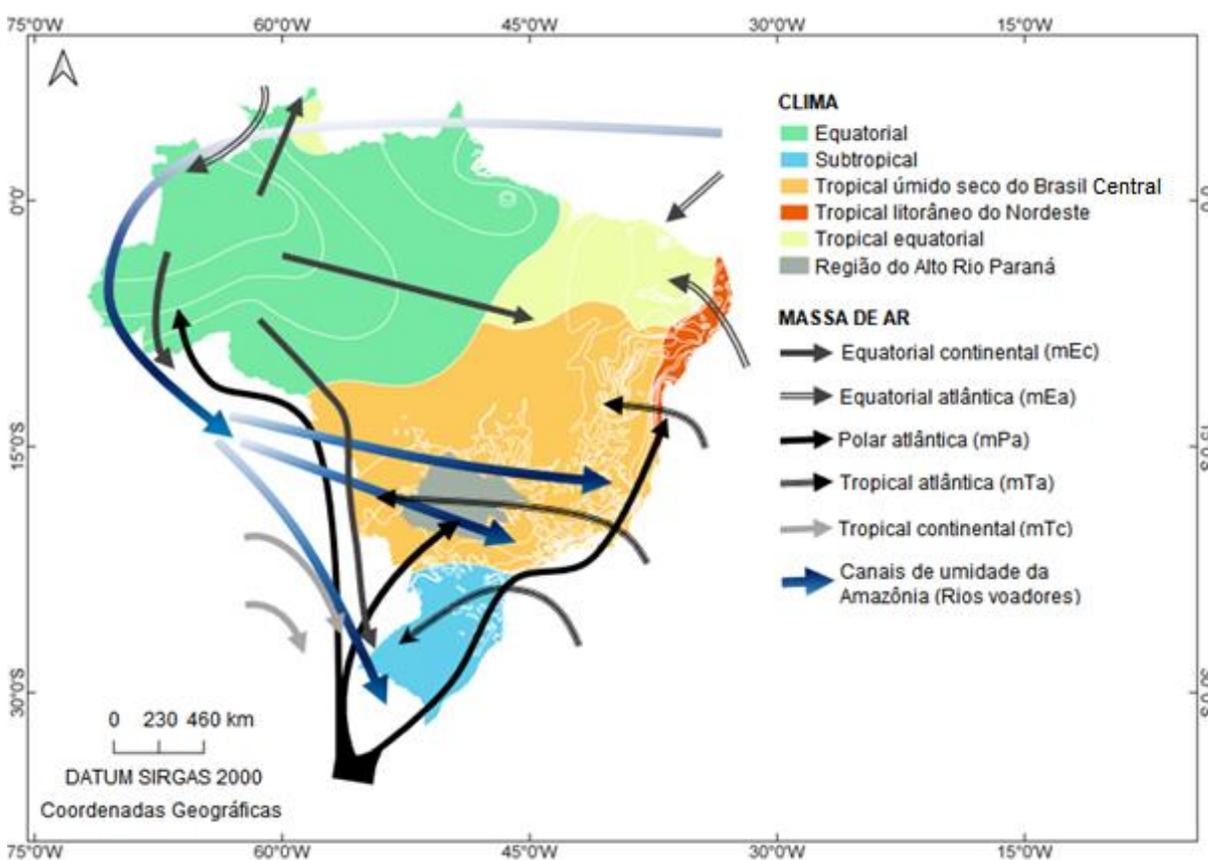
As classes formação florestal e formação savânica são compostas pelos biomas cerrado e mata atlântica, que correspondem as florestas naturais. Por sua vez, a floresta plantada engloba as espécies arbóreas para fins comerciais, como eucalipto, pinus e araucária. A formação natural não florestal integra desde áreas úmidas e formações campestres, até afloramentos rochosos sem cobertura de solo. Já as classes pastagem, cultura anual e perene, e cultura semi-perene (cana-de-açúcar) caracterizam a agropecuária, sendo as duas últimas correspondentes a agricultura. Por fim as classes infraestrutura urbana e corpos d'água representam

áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, e rios, lagos, reservatórios e outros corpos hídricos, respectivamente (MAPBIOMAS, 2019).

3.2.4 Clima e sistemas atmosféricos atuantes

Na Figura 16, são apresentados os principais domínios e sistemas atmosféricos do Brasil, assim como a trajetória dos canais de umidade da Amazônia, chamados de rios voadores, provenientes da evaporação do Oceano Atlântico na região equatorial. Conforme Figura 16, a região Alto Rio Paraná está inserida no Clima tropical úmido seco do Brasil Central, com temperatura média de 22° C (PNRH/DBR, 2005), tendo como principais sistemas atuantes, as massas de ar Tropical Atlântica (mTa), Polar Atlântica (mPa) e os rios voadores da Amazônia.

Figura 16 – Domínios climáticos do Brasil e principais subtipos



Fonte: Adaptado de Azevedo (2021) e Mendonça *et al.* (2007).

Segundo Kobiyama *et al.* (2006), a Massa Tropical Atlântica, trata-se de uma massa quente e seca na camada superior, originada sobre os oceanos Atlântico e Pacífico e associada aos anticiclones do Atlântico e Pacífico Sul, seus impactos

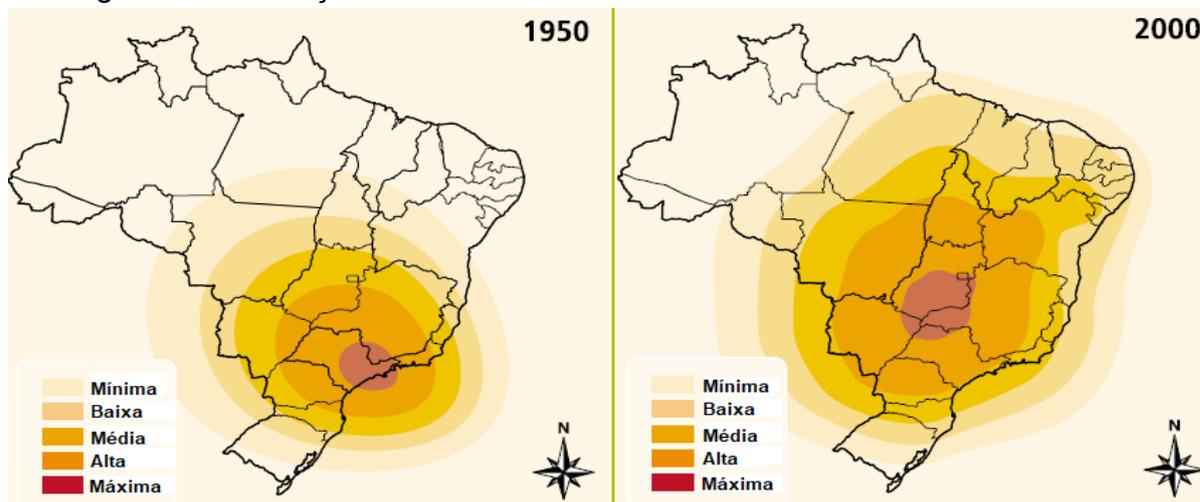
atingem a região Alto Rio Paraná, tanto no verão, quanto no inverno, agindo principalmente na redução da umidade relativa do ar. Com relação a Massa Polar Atlântica, a mesma apresenta características fria e úmida, associada aos anticiclones migratórios provenientes do Oceano Atlântico, que atinge a região sudeste do país, principalmente no inverno, provocando chuvas e diminuição na temperatura.

Já os rios voadores originam-se da evaporação do Oceano Atlântico transportada pelos ventos em direção à Amazônia, gerando altos índices de chuva. A partir da evapotranspiração do solo e vegetação da Amazônia, formam-se nuvens direcionadas para o Oeste, que colidem com a Cordilheira dos Andes e se redirecionam para o Sudeste, ocasionando chuvas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil (AZEVEDO, 2021). Segundo ANA (2019), no sudeste do Mato Grosso do Sul (margem esquerda do rio Paraná), o período úmido variou entre chuvoso a muito chuvoso, enquanto no estado de São Paulo (bacias dos rios Tietê e Grande) foram observadas as maiores secas de todo o registro histórico.

3.2.5 Potencial hidráulico-energético

Desde o ano de 1950 até 2000, a concentração dos empreendimentos hidrelétricos brasileiros sofreu grande dispersão, acentuando-se principalmente sobre os estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás (Figura 17), especialmente sobre a área de confluência dos rios Paranaíba e Grande, e início da extensão da calha do rio Paraná (ANEEL, 2005).

Figura 17 - Evolução das usinas hidrelétricas no Brasil durante 1950 a 2000



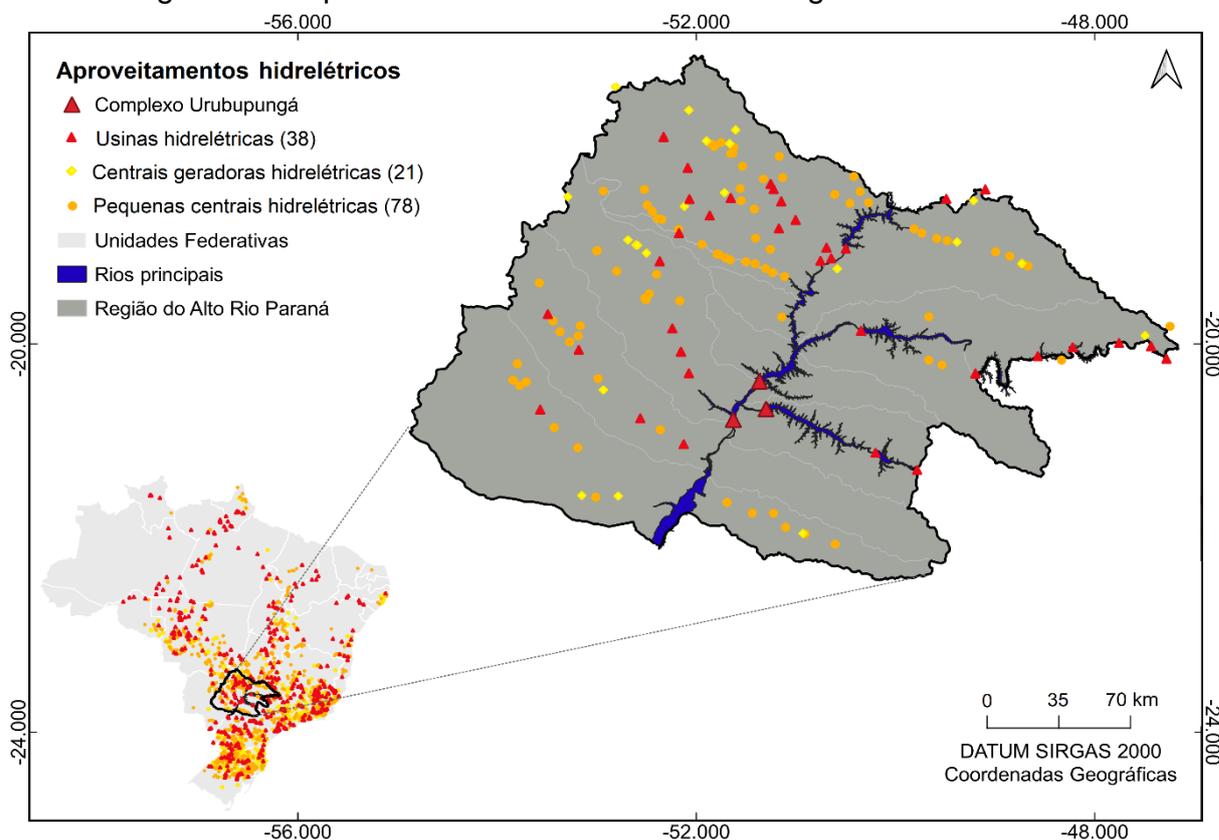
Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2005)

Após os anos 2000, a alta concentração de empreendimentos hidrelétricos se intensificou na Região Hidrográfica Paraná (RH Paraná), que em conjunto com as Regiões Tocantins-Araguaia e São Francisco, representam 88% do volume útil dos 160 reservatórios que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN) de geração de energia elétrica, refletindo no maior aproveitamento de seu potencial hidrelétrico (cerca de 68,4%) equivalente a 41.560 MW (ANA, 2019).

Os reservatórios da RH Paraná, maior potencial de armazenamento do SIN, sofreram grandes impactos em seus níveis de armazenamento, devido às extremas condições hidrológicas dos últimos anos (ANA, 2019), sobretudo na região Alto Rio Paraná, onde identificou-se um cenário de secas de intensidade grave a excepcional, conforme constatado pelo Monitor de Secas (ANA, 2021b).

A região Alto Rio Paraná, abriga diversos aproveitamentos hidrelétricos (Figura 18), incluindo Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e Usinas Hidrelétricas (UHE), além do Complexo Hidrelétrico Urubupungá, maior centro gerador de energia elétrica do estado de São Paulo, composto pelas usinas de Ilha Solteira, Jupuí e Três Irmãos (MELO, 2017).

Figura 18 – Aproveitamentos hidrelétricos na região Alto Rio Paraná



Fonte: ANA (2014); ANEEL (2021) – Editado pelo autor.

3.3 DISCRETIZAÇÃO HIDROGRÁFICA E ASPECTOS REGIONAIS

Conforme ANA (2014), as sub-bacias de gestão (UEPGRHs) são estabelecidas a partir de aspectos geopolíticos, que por vezes se sobrepõe ao critério estritamente geográfico da bacia hidrográfica, visando auxiliar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos. Juntas as 14 UEPGRHs da região Alto Rio Paraná englobam 289 municípios e uma população de aproximadamente de 5.358.974 habitantes (ANA, 2019; PERH/MS, 2010; SEADE, 2018), considerando para as unidades hídricas de Mato Grosso do Sul, a população publicada pelo censo demográfico de 2010 apresentada no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH).

A discretização hidrográfica da região Alto Rio Paraná é apresentada utilizando-se as terminologias específicas de cada unidade federativa para citar as unidades hídricas que compõem a região de estudo, associando-as às UEPGRHs correspondentes.

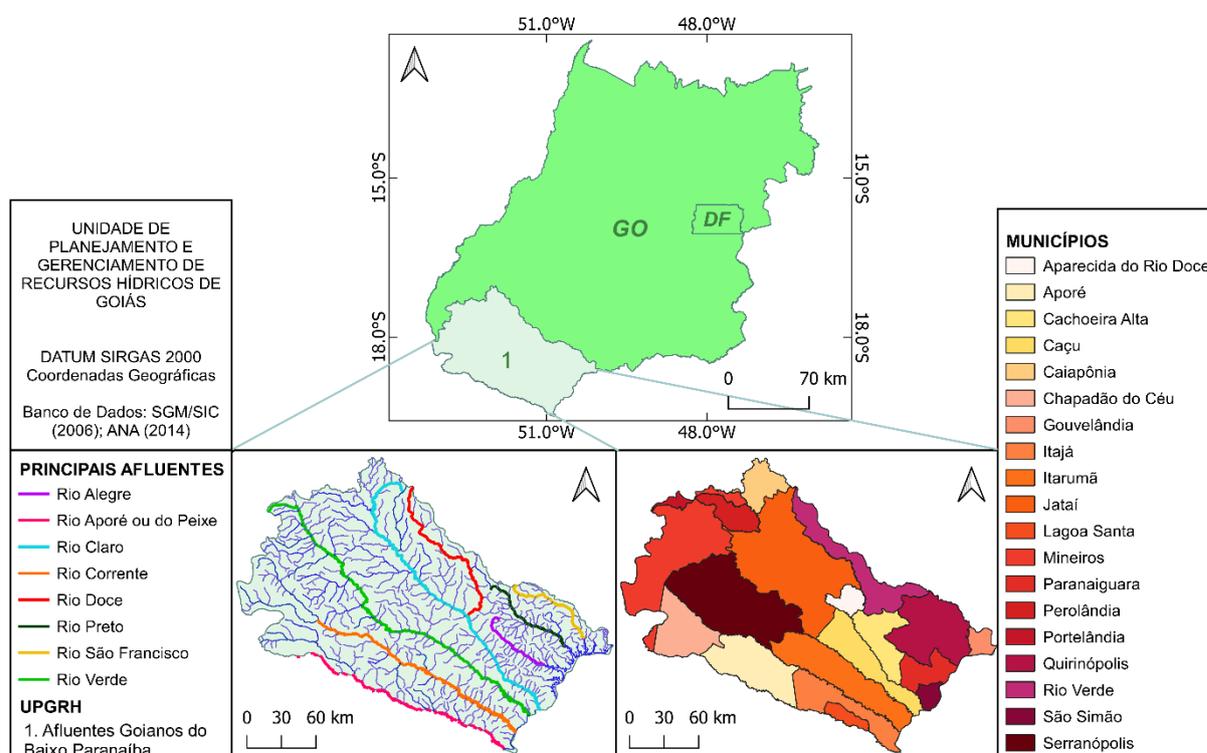
3.3.1 Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos de Goiás

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás (PERH/GO, 2015), o estado divide-se em 11 unidades hidrográficas, denominadas Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (UPGRHs), com vistas a direcionar a gestão e o delineamento dos recursos hídricos. A parcela da região Alto Rio Paraná (ARP) correspondente a unidade federativa de Goiás aborda a região sudoeste do estado, especificamente os Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba (AGBP), que fazem fronteira com os estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

3.3.1.1 UPGRH Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba (AGBP)

Na Figura 19 é apresentada a localização da UPGRH-AGBP correspondente a UEPGRH 1 da região Alto Rio Paraná e seus principais afluentes e municípios abrangidos. No Quadro 3 são descritas as características físicas, ambientais e socioeconômicas da unidade hídrica 1.

Figura 19 – Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos de Goiás



Fonte: ANA (2014); SGM/SIC (2006) – Editado pelo autor.

Quadro 3 – Caracterização da UPGRH Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba

CARACTERIZAÇÃO DA UPGRH AFLUENTES GOIANOS DO BAIXO PARANAÍBA			
População ANA (2019) **	303.330 hab.	Área ANA (2019) **	43.814 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PERH/GO (2015)		Q95% = 378 m ³ /s	Q95% = 8,70 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos PERH/GO (2015)	Aquidauana, Bauru e Serra Geral		
Principais afluentes SEMARH (2011)	A UPGRH-AGBP tem como principais afluentes: Rio São Francisco, Rio Preto, Rio Alegre, Rio Claro, Rio Verde, Rio Corrente e Rio Aporé/Peixe.		
Municípios SEMARH (2011)	Aparecida do Rio Doce, Aporé, Cachoeira Alta, Caçú, Caiapônia*, Chapadão do Céu, Gouvelândia*, Itajá, Itarumã, Jataí, Lagoa Santa, Mineiros*, Paranaiguara, Perolândia, Portelândia, Quirinópolis*, Rio Verde*, São Simão, Serranópolis.		
Principais atividades econômicas PERH/GO (2015)	As principais atividades econômicas da UPGRH são: agricultura, com predominância do setor sucroalcooleiro; e a Pecuária, com a criação de aves, bovinos e suínos.		
Principais usos dos recursos hídricos SEMARH (2011)	Abastecimento público, indústria, captação e diluição de efluentes, mineração, geração de energia, transporte hidroviário, e especialmente a irrigação e outorgas para barramento.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo PERH/GO (2015); SEMARH (2011)	A vegetação dominante é a Savana e a Floresta Estacional. O desmatamento devido as atividades agropecuárias, resultaram em uma vegetação remanescente de apenas 23% da área.		
* Inserido Parcialmente; ** Atualizado em 29/05/2019			

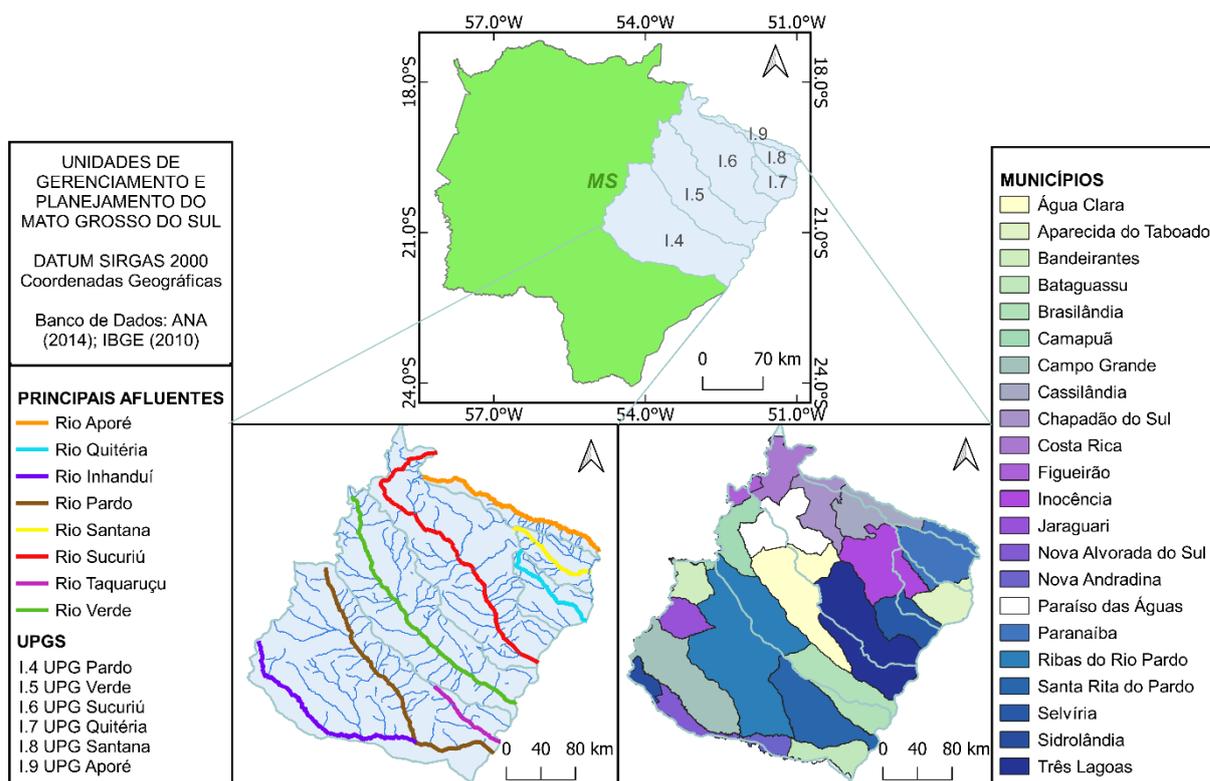
Fonte: Organizado pelo autor.

3.3.2 Unidades de Planejamento e Gerenciamento do Mato Grosso do Sul

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul – PERH/MS (2010), as unidades hídricas de gestão abrangidas pela região Alto Rio Paraná (ARP) são intituladas como Unidades de Planejamento e Gerenciamento (UPGs) e são identificadas de acordo com a região hidrográfica em que elas se estabelecem.

No caso da RH Paraná (Região I), as UPGs recebem o nome de seus tributários principais e são classificadas em ordem crescente (I.4 a I.9), em sentido norte-sul, até a cabeceira do rio Paraná. As unidades hídricas da região Alto Rio Paraná e seus principais afluentes e municípios são apresentadas na Figura 20.

Figura 20 – Unidades de Planejamento e Gerenciamento do Mato Grosso do Sul



Fonte: ANA (2014); IBGE (2010) – Editado pelo autor

3.3.2.1 UPG Aporé (I.9)

A UPG Aporé é formada pela porção sul-mato-grossense da bacia do rio Aporé, que define a linha limítrofe dos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. Esta unidade

hídrica corresponde a UEPGRH 2 da região Alto Rio Paraná. As principais características físicas, hidrológicas e socioeconômicas da unidade hídrica Aporé são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Caracterização da UPG Aporé

CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO APORÉ (I.9)			
População PERH/MS (2010)	21.466 hab.	Área MS (2016)	2.756,72 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PERH/SANTANA-APORÉ (2013)		Q95% = 102,21 m ³ /s	Q95% = 14,47 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos MS (2016)	Bauru e Serra Geral		
Principais afluentes MS (2016)	A UPG Aporé tem como principais afluentes: Córrego Malícia, córrego Ritinha, Córrego Jataí, Córrego Fundo, Ribeirão da Divisa, Córrego da Divisa, Córrego Coqueiro, Ribeirão da Cachoeira, Ribeirão da Pontinha. Ribeirão Água Amarela, Córrego Cachoeira, Ribeirão do Bagageiro.		
Municípios MS (2016)	Cassilândia*, Chapadão do Sul e Paranaíba.		
Principais atividades econômicas MS (2016)	As principais atividades econômicas da UPG são: agricultura (arroz, soja, milho e cana-de açúcar); indústrias (madeira, têxtil, frigoríficos, bebidas, açúcar); pequenas hidrelétricas e carvoarias, além das atividades pecuárias.		
Principais usos dos recursos hídricos PARH/SANTANA-APORÉ (2013)	O setor agrícola é o principal responsável pela demanda de uso da água na unidade hídrica (71,9%), seguido da dessedentação animal (13%) e os setores industrial (9,7%) e de abastecimento urbano (5,4%).		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo MS (2016); PARH/SANTANA-APORE (2013)	A vegetação remanescente da UPG corresponde a apenas 18,80% da vegetação original, com predominância de Cerrado (apenas nas margens dos primeiros quilômetros do rio Aporé), vegetação ciliar e área ecológica. Destaca-se como usos principais, as atividades agropecuárias, com amplas áreas de pastagens, com exceção de seu extremo oeste onde prevalece a agricultura.		
* Inserido Parcialmente			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.2.2 UPG Pardo (I.4)

A unidade de planejamento e gestão Pardo trata-se da UEPGRH 3 da região Alto Rio Paraná, sendo a unidade de planejamento de maior contingência populacional e de maior densidade demográfica entre todas as unidades hídricas do estado do Mato Grosso do Sul, equivalente a aproximadamente 20,57 hab./km² (MATO GROSSO DO SUL, 2016).

No Quadro 5 é apresentada a caracterização geral da UPG Pardo, onde são detalhadas suas características físicas, hidrológicas e socioeconômicas, conforme dados oficiais mais recentes, divulgados por Mato Grosso do Sul (2016) e PERH/MS (2010).

Quadro 5 – Caracterização da UPG Pardo

CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO PARDO (I.4)			
População PERH/MS (2010)	810.964 hab.	Área MS (2016)	39.419,362 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PERH/MS (2010)		Q95% = 312,34 m ³ /s	Q95% = 7,92 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos MS (2016)	Bauru, Serra Geral na região noroeste		
Principais afluentes MS (2016)	Anhanduí e Anhanduízinho, Ribeirão das Botas, Ribeirão Indaiá, e Córregos Machado, Buriti, Lagoa, Imbirussu, Ceroula, Bandeira, Bálsamo, Segredo e Prosa.		
Municípios MS (2016)	Bandeirantes*, Bataguassu, Brasilândia, Camapuã, Campo Grande*, Jaraguari*, Nova Alvorada do Sul, Nova Andradina, Ribas do Rio Pardo*, Santa Rita do Pardo, Sidrolândia.		
Principais atividades econômicas MS (2016)	Pecuária: pastagem plantada (70,3% da área total); Indústrias: siderurgia, metalomecânica, alimentícia, de açúcar e álcool, confecções, frigoríficos de bovinos, aves e ovinos, fecularias, curtumes e moageira de grãos; Agricultura: predomínio de plantação de cana-de-açúcar.		
Principais usos dos recursos hídricos PERH/MS (2010)	Abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, indústria, transporte hidroviário, aquicultura e pesca.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo MS (2016)	A cobertura vegetal é caracterizada pela ocorrência de cerrado e vegetação ciliar, a qual atualmente corresponde à menos de 20% da área total da UPG. A pastagem planta e a agropecuária somam o equivalente a mais de 76% da área.		
* Inserido Parcialmente			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.2.3 UPG Quitéria (I.7)

A UPG Quitéria localiza-se a nordeste do estado de Mato Grosso do Sul e corresponde a unidade hídrica de gestão 4 da região Alto Rio Paraná. As características predominantes da região são descritas no Quadro 6.

Quadro 6 – Caracterização da UPG Quitéria

CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO QUITÉRIA (I.7)			
População PERH/MS (2010)	21.941 hab.	Área MS (2016)	5.372,096 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PERH/MS (2010)		Q95% = 62,117 m ³ /s	Q95% = 14,86 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos MS (2016)	Bauru		
Principais afluentes MS (2016)	Rio Boa Vista e Rio das Pedras.		
Municípios MS (2016)	Aparecida do Taboado*, Inocência, Paranaíba, Selvíria.		
Principais atividades econômicas PERH/MS (2010)	Pecuária (pastagem plantada), cana-de-açúcar e pequenas indústrias.		
Principais usos dos recursos hídricos PERH/MS (2010)	Irrigação, industrial, abastecimento público, aquicultura e pesca e dessedentação animal.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo SILVA <i>et al.</i> (2014)	Pastagem plantada (70,2%), cana-de açúcar, agricultura anual, vegetação secundária e reflorestamento. Cerca de 18,2% da área é ocupada pela vegetação natural, caracterizada pelo Cerrado e Floresta Estacional (0,1%).		
* Inserido Parcialmente			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.2.4 UPG Santana (I.8)

A UPG Santana trata-se da UEPGRH 5 da região Alto Rio Paraná, localizada na zona plana do rio Paranaíba, seus principais atributos encontram-se no Quadro 7.

Quadro 7 – Caracterização da UPG Santana

CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO SANTANA (I.8)			
População PERH/MS (2010)	37.906 hab.	Área MS (2016)	4.181,62 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PERH/MS (2010)		Q95% = 14,66 m ³ /s	Q95% = 5,70 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos MS (2016)	Bauru e presença de Serra Geral.		
Principais afluentes MS (2016)	Rio Santana, Rio Formoso, Córrego Fundo e Rio Ariranha.		
Municípios MS (2016)	Aparecida do Taboado e Paranaíba*.		
Principais atividades econômicas PARH/SANTANA-APORÉ (2013)	O setor agropecuário (criação de bovinos, e aves e suínos em determinados municípios); e cultivo da cana-de-açúcar, destinada a produção sucroalcooleira.		
Principais usos dos recursos hídricos PARH/SANTANA-APORÉ (2013)	Agricultura com 70% das vazões à irrigação, dessedentação animal (13%), uso industrial e abastecimento humano.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo PARH/SANTANA-APORE (2013)	Dentre os usos prevaletentes destaca-se a pastagem com mais de 80% do total da UPG, em seguida a ocorrência de cerrado e pequenas áreas destinadas a agricultura.		
* Inserido Parcialmente			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.2.5 UPG Sucuriú (I.6)

O rio Sucuriú integra a região do bolsão e destaca-se pelo seu potencial hidráulico (FERREIRA, 2016), sua bacia corresponde a unidade hídrica 6 da região Alto Rio Paraná, cujas características apresentam-se no Quadro 8.

Quadro 8 – Caracterização da UPG Sucuriú

CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO SUCURIÚ (I.6)			
População PERH/MS (2010)	131.754 hab.	Área MS (2016)	27.192,974 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PERH/MS (2010)		Q95% = 347,832 m ³ /s	Q95% = 12,06 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos FIBRACON (2018)	Bauru, Serra Geral, Cenozóico e Guarani.		
Principais afluentes FERREIRA (2016)	Rio Indaiá, Rio Indaiazinho, Rio Paraíso.		
Municípios MS (2016)	Água Clara, Cassilândia, Chapadão do Sul*, Costa Rica*, Figueirão, Inocência*, Selvíria*, Três Lagoas*.		
Principais atividades econômicas MS (2016)	O Setor agropecuário (produção de bovinos, equinos, ovinos e aves), além de áreas de agricultura mecanizada e pastagens.		
Principais usos dos recursos hídricos PERH/MS (2010)	Abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, industrial e aquicultura e pesca.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo FERREIRA (2016)	Predominância do Cerrado e uma estreita faixa de Mata Atlântica na planície do rio Paraná. Grande parte da cobertura vegetal natural deu lugar a pastagens e culturas temporárias.		
* Inserido Parcialmente			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.2.6 UPG Verde (I.5)

A UPG Verde localiza-se na região nordeste do Mato Grosso do Sul e integra a região do bolsão, correspondendo a unidade hídrica 7 da região Alto Rio Paraná. No Quadro 9 é apresentada uma caracterização geral da UPG.

Quadro 9 – Caracterização da UPG Verde

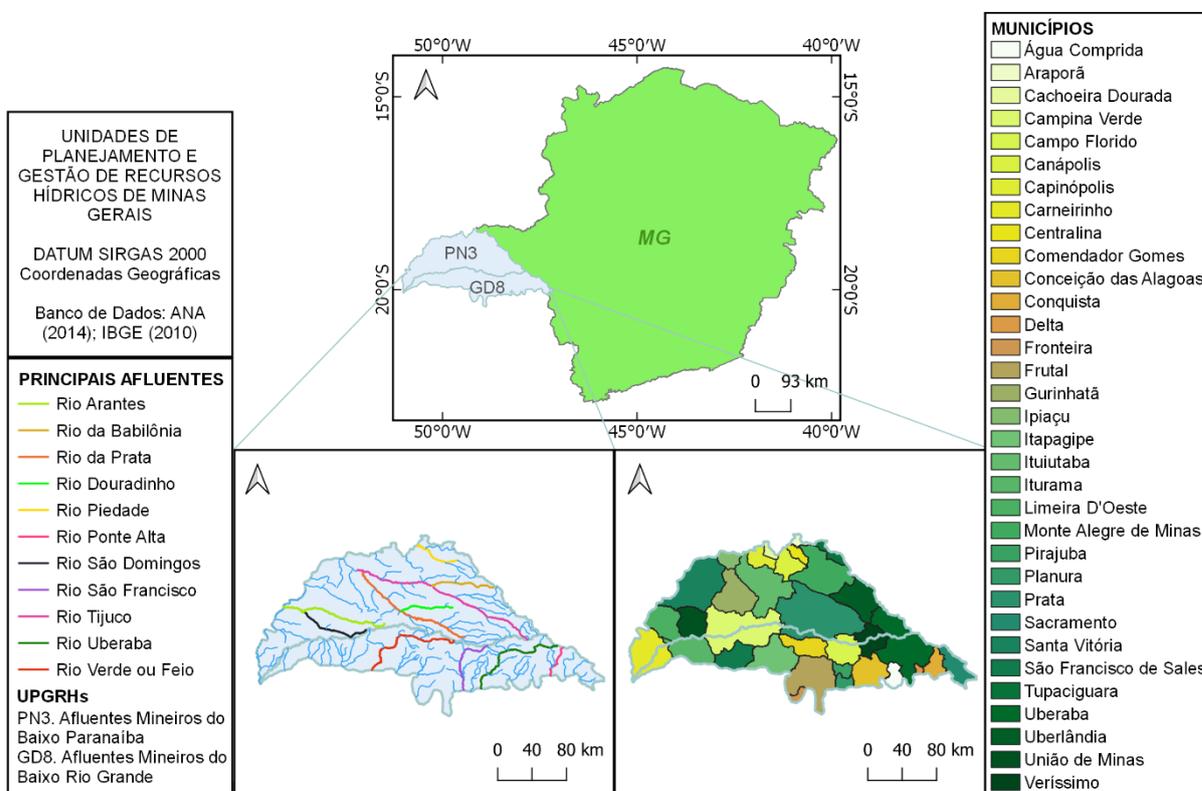
CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO VERDE (I.5)			
População PERH/MS (2010)	30.822 hab.	Área MS (2016)	24.183,9 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PERH/MS (2010)		Q95% = 198,89 m ³ /s	Q95% = 8,224 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos PERH/MS (2010)	Bauru e Serra Geral (pouca ocorrência no centro-oeste)		
Principais afluentes PERH/MS (2010)	Rio Pombo, Rio São Domingos		
Municípios MS (2016)	Água Clara*, Brasilândia*, Camapuã, Costa Rica, Figueirão, Ribas do Rio Pardo, Três Lagoas.		
Principais atividades econômicas MS (2016)	As principais atividades econômicas estão ligadas com a pecuária de corte e indústrias diversificadas como frigoríficos, laticínios, açúcar, álcool e pequenas hidrelétricas.		
Principais usos dos recursos hídricos PERH/MS (2010)	Os principais usos dos recursos hídricos da região dividem-se em dessedentação animal, aquicultura e pesca, irrigação, industrial e abastecimento público.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo SEMAC/SUPLAN (2011)	A UPG é localizada na região de Cerrado, com presença de Mata Atlântica e formações pioneiras em seu extremo sul, grande parte da cobertura vegetal natural foi devastada em função da pastagem plantada e de cultivos como a cana-de-açúcar.		
* Inserido Parcialmente			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.3 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais

Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), o estado de Minas Gerais divide-se em 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH). A região Alto Rio Paraná abrange 2 unidades hídricas de Minas Gerais, ambas localizadas na região de planejamento do Triângulo Mineiro, os Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande (GD8) e o Baixo Rio Paranaíba (PN3), conforme PERH/IGAM (2011). Tais UPGRHs são sub-bacias dos rios Paranaíba (PN) e Grande (GD), os quais separam os estados de Minas Gerais dos estados de Goiás e São Paulo. A classificação das unidades hídricas se dá conforme o desenvolvimento de seus respectivos cursos d'água principais, os quais são apresentados na Figura 21 em conjunto com os municípios abrangidos.

Figura 21 – Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais



Fonte: ANA (2014); IBGE (2010) – Editado pelo autor

As unidades hídricas de gestão Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande (GD8) e Baixo Rio Paranaíba (PN3) têm como origem a cabeceira do rio Paraná e estendem-se em direção à região central de Minas Gerais.

3.3.3.1 UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba (PN3)

A Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba está situada na porção plana da bacia do rio Paranaíba e corresponde a UEPGRH 9 da região Alto Rio Paraná. No Quadro 10 são apresentadas as principais características físicas, hidrológicas e socioeconômicas da UEPGRH 9.

Segundo o Plano de Ação de Recursos Hídricos dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (PARH-AMBP, 2013), a superfície tabular e suavemente ondulada da unidade de gestão, apresenta aptidão regular a boa para lavouras, favorecendo a mecanização agrícola e contribuindo com o intenso desmatamento da bacia hidrográfica.

Quadro 10 – Caracterização da UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba

CARACTERIZAÇÃO DA UPGRH AFLUENTES MINEIROS DO BAIXO PARANAÍBA (PN3)			
População ANA (2019) **	274.260 hab.	Área ANA (2019)	26.882 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PARH/AMBP (2013)		Q95% = 104,52 m ³ /s	Q95% = 3,87 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos PARH/AMBP (2013)	Bauru e Serra Geral.		
Principais afluentes PARH/AMBP (2013)	Rio Tijuco, Rio Arantes, Rio da Prata, Rio da Babilônia,		
Municípios PARH/AMBP (2013)	Araporã, Cachoeira Dourada, Campina Verde*, Campo Florido*, Canápolis, Capinópolis, Carneirinho*, Centralina, Gurinhatã, Ipiaçu, Ituiutaba, Iturama*, Limeira do Oeste, Monte Alegre de Minas, Prata, Santa Vitória, Tupaciguara*, Uberaba*, Uberlândia*, União de Minas, Veríssimo*.		
Principais atividades econômicas PARH/AMBP (2013)	Setor agropecuário e usinas sucroalcooleiras (cana-de-açúcar); A pecuária e rebanhos de aves e suínos também se fazem presente na região.		
Principais usos dos recursos hídricos PARH/AMBP (2013)	Irrigação (89,7% da demanda total), dessedentação animal, atividade industrial e abastecimento humano.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo PARH/AMBP (2013)	O Cerrado e Mata Atlântica representavam em 2018 apenas 16,3% da área original. Os principais responsáveis pelo desmatamento são a caça, carvão, áreas de pastagem (41%) e agricultura (39,4%).		
* Inserido Parcialmente; ** Atualizado em 30/05/2019			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.3.2 UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande (GD8)

A UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande (GD8) corresponde a unidade hídrica 8 da região Alto Rio Paraná e possui suas principais características apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 – Caracterização da UPGRH Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande

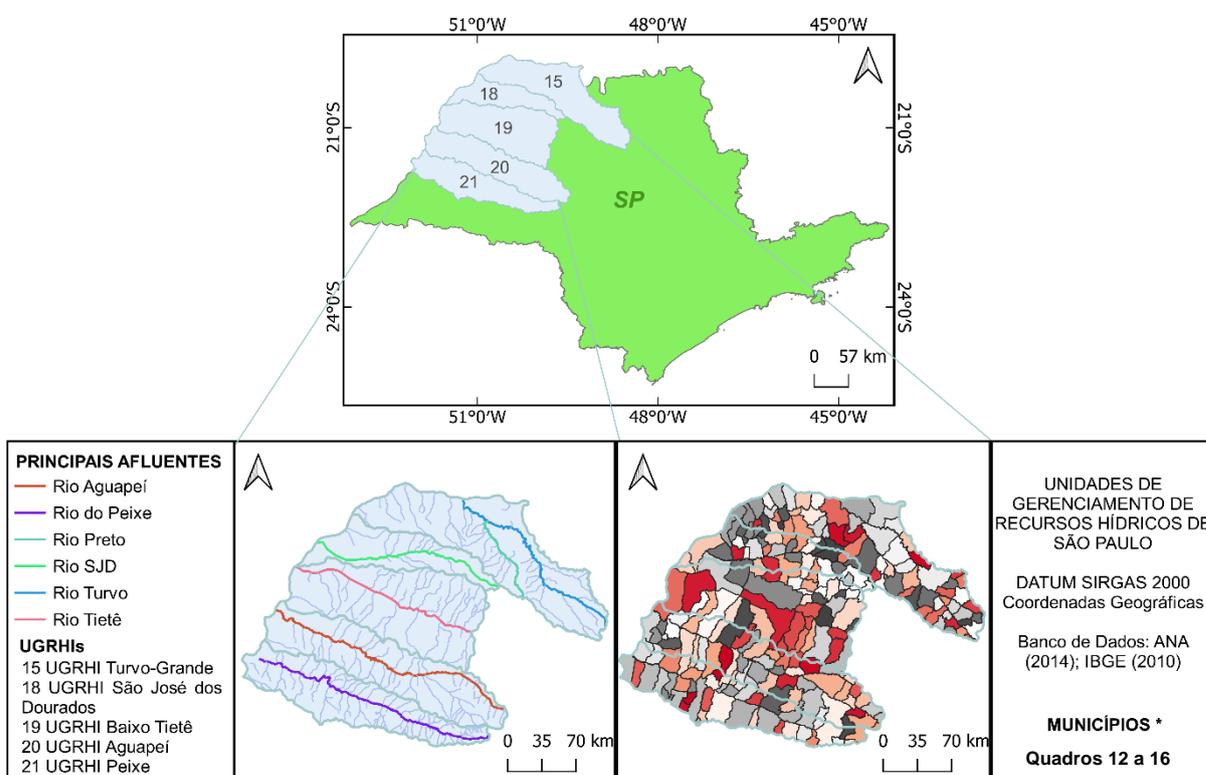
CARACTERIZAÇÃO DA UPGRH AFLUENTES MINEIROS DO BAIXO RIO GRANDE (GD8)			
População ANA (2019) **	566.868 hab.	Área ANA (2019)	18.750 km ²
Disponibilidade hídrica superficial PIRH/GRANDE (2017)		Q95% = 73,98 m ³ /s	Q95% = 3,95 l/s.km ²
Principais sistemas aquíferos PIRH/GRANDE (2017)	Bauru e Serra Geral.		
Principais afluentes PERH/IGAM (2011)	Rio Ponte Alta, Rio São Francisco, Rio Uberaba e Rio Verde.		
Municípios PERH/MG (2011)	Água Comprida; Campina Verde*; Campo Florido*; Carneirinho*; Comendador Gomes; Conceição das Alagoas; Conquista; Delta; Fronteira; Frutal; Itapagipe; Iturama*; Pirajuba; Planura; Prata; Sacramento; São Francisco de Sales; Uberaba*; Veríssimo*.		
Principais atividades econômicas PIRH/GRANDE (2017)	Setor agropecuário, setor de serviços nos centros urbanos e setor industrial com predominância de usinas sucroalcooleiras.		
Principais usos dos recursos hídricos PIRH/GRANDE (2017)	Irrigação, dessedentação animal, abastecimento industrial, abastecimento humano e mineração.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo PIRH/GRANDE (2017)	Cerrado e ocorrência de Mata Atlântica na porção sudoeste do leito do Rio Grande, correspondendo a apenas 13,8% e 12,6% da cobertura original. Dentre os usos agropecuários predominam a cana-de-açúcar, milho e soja, além da pecuária.		
* Inserido Parcialmente; ** Atualizado em 30/05/2019			

Fonte: Organizado pelo autor

3.3.4 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo

Conforme Lei nº 9.034/1994, o estado de São Paulo é dividido em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), definidas a partir de critérios ambientais, hidrológicos, socioeconômicos, políticos e institucionais (PERH/SP, 2017). A área de contribuição da região Alto Rio Paraná abrange 5 UGRHs (Figura 22), sendo elas: Turvo/Grande (UGRHI 15), São José dos Dourados (UGRHI 18), Baixo Tietê (UGRHI 19), Aguapeí (UGRHI 20) e Peixe (UGRHI 21).

Figura 22 – Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo



Fonte: ANA (2014); IBGE (2010) – Editado pelo autor

Em conjunto, as UGRHs que integram a região Alto Rio Paraná, abrangem 201 municípios inseridos total ou parcialmente nos limites das unidades hídricas. Por meio da Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), estabeleceu como atributo desejável o número de municípios próximo a 50 para cada UGRHI, além de outras diretrizes que visam a compatibilização com regiões de planejamento estaduais (COELHO *et al.*, 2005).

3.3.4.1 UGRHI Aguapeí (UGRHI 20)

Em conjunto com a UGRHI Peixe, a UGRHI Aguapeí integra a área de gestão do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP), devido suas semelhanças hidrológicas e socioambientais. Esta unidade hídrica localiza-se na porção oeste do estado de São Paulo e corresponde a UEPGRH 10 da região Alto Rio Paraná, suas principais características físicas hidrológicas e socioeconômicas são apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 – Caracterização da UGRHI Aguapeí

CARACTERIZAÇÃO DA UGRHI AGUAPEÍ (20)			
População CBH-AP (2019); SEADE (2018)	372.128 hab.	Área CBH-AP (2019)	13.196 km ²
Disponibilidade hídrica superficial GBH-TG (2019)		Q95% = 41 m ³ /s	-
Principais sistemas aquíferos CBH-AP (2019); CETESB (2010)	Bauru, Serra Geral e Guarani.		
Principais afluentes CBH-AP (2019)	Rio Aguapeí, Rio Tibiriça, Rio Iacri, Córrego Afonso XIII, Ribeirões Cainguangues e das Marrecas.		
Municípios CBH-AP (2019)	Municípios integrantes: Álvaro de Carvalho, Arco Íris, Clementina, Dracena*, Gabriel Monteiro, Garça*, Getulina, Guaimbê, Herculândia*, Iacri*, Júlio Mesquita, Lucélia*, Luiziânia, Monte Castelo, Nova Guataporanga, Nova Independência, Pacaembu*, Panorama*, Parapuã*, Paulicéia, Piacatu, Pompéia*, Queiroz, Quintana*, Rinópolis, Salmourão, Santa Mercedes, Santópolis do Aguapeí, São João do Pau D'Alho, Tupã*, Tupi Paulista, Vera Cruz*. Municípios com sede fora: Adamantina*, Alto Alegre*, Araçatuba*, Bento de Abreu*, Bilac*, Braúna*, Cafelândia*, Castilho*, Flórida Paulista*, Gália*, Guaiçara*, Guaraçai*, Guarantã*, Guararapes*, Inúbia Paulista*, Irapuru*, Junqueirópolis*, Lavínia*, Lins*, Marília*, Mirandópolis*, Murutinga do Sul*, Oriente*, Osvaldo Cruz*, Ouro Verde*, Pirajuí*, Presidente Alves*, Promissão*, Rubiácea*, Valparaíso*.		
Principais atividades econômicas CBH-AP (2019)	Nas áreas urbanas as principais atividades econômicas são os setores de serviços e comércio, já nas áreas rurais são a agricultura (lavouras de café, cana de açúcar e milho), pecuária (pastagem); cana de açúcar; extração mineral de areia e extração de argila para uso em olarias.		
Principais usos dos recursos hídricos CBH-AP (2019)	Os principais usos dos recursos hídricos são divididos em usos urbanos (abastecimento público e comércio); Usos industriais (processos produtivos e tratamentos de efluentes industriais); Usos rurais (irrigação, pecuária e aquicultura) e usos destinados ao paisagismo e lazer.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo CBH-AP (2019); IF (2009)	Vegetação natural (6,5% da área = 857 km ²): Floresta Estacional Semidecidual e Formação Arbórea/Arbustiva em região de Várzea; os usos predominantes do solo são caracterizados pela cana-de-açúcar, pastagem e lavouras locais.		
* Inserido Parcialmente.			

Fonte: Organizado pelo autor.

3.3.4.2 UGRHI Baixo Tietê (UGRHI 19)

A UGRHI Baixo Tietê (UGRHI 19) corresponde a UEPGRH 11 da região Alto Rio Paraná, e abrange apenas a área de contribuição do baixo curso do rio Tietê. As características físicas, hidrológicas e socioeconômicas principais da unidade hídrica Baixo Tietê são expressas no Quadro 13.

Quadro 13 – Caracterização da UGRHI Baixo Tietê

CARACTERIZAÇÃO DA UGRHI BAIXO TIETÊ (19)			
População CBH-BT (2019); SEADE (2018)	794.003 hab.	Área CBH-BT (2019)	15.588 km ²
Disponibilidade hídrica superficial GBH-BT (2019)		Q95% = 36 m ³ /s	-
Principais sistemas aquíferos CBH-BT (2019); CETESB (2016)	Bauru e Serra Geral.		
Principais afluentes CBH-BT (2019)	Rio Tietê, Rio Paraná, Rio Água Fria, Rio das Oficinas e Rio dos Patos, Ribeirão Santa Bárbara, Ribeirão dos Ferreiros, Ribeirão Mato Grosso, Ribeirão Lajeado, Ribeirão Baguaçu e Córrego dos Baixotes.		
Municípios CBH-BT (2019)	Alto Alegre*, Andradina, Araçatuba*, Avanhandava, Barbosa, Bento de Abreu*, Bilac*, Birigui, Braúna*, Brejo Alegre, Buritama, Castilho*, Coroados, Gastão Vidigal, Glicério, Guaraçai*, Guararapes*, Itapura, José Bonifácio*, Lavínia*, Lourdes, Macaúbal, Magda*, Mirandópolis*, Monções, Murutinga do Sul*, Nipoã, Nova Castilho, Nova Luzitânia, Penápolis, Pereira Barreto*, Planalto, Poloni*, Promissão*, Rubiácea*, Santo Antônio do Aracanguá, Sud Mennucci*, Turiúba, Ubarana*, União Paulista, Valparaíso*, Zacarias		
Principais atividades econômicas CBH-BT (2019)	Agropecuária, cana-de-açúcar, atividades agroindustriais (usinas sucroalcooleiras, frigoríficas, calçadista, frutíferas, laticínios, entre outras).		
Principais usos dos recursos hídricos CBH-BT (2019)	Irrigação, abastecimento industrial, abastecimento público e recreação.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo CBH-AP (2019); IF (2009)	Vegetação natural (5,7% da área = 874 km ²): Floresta Estacional Semidecidual e Formação Arbórea/Arbustiva em região de Várzea; os usos predominantes do solo são a cana-de-açúcar e pastagem.		
* Inserido Parcialmente.			

Fonte: Organizado pelo autor.

3.3.4.3 UGRHI Peixe (UGRHI 21)

A UGRHI 21 (Peixe) corresponde a UEPGRH 12 da região Alto Rio Paraná e está localizada na porção oeste do estado de São Paulo. Tal unidade hídrica limita-se ao Norte pela Bacia do Rio Peixe (UGRHI 20) e ao Sul pela Bacia do Rio Paranapanema (UGRHI 22). A bacia do rio Peixe compartilha o mesmo comitê de planejamento e gestão de recursos hídricos da bacia do rio Aguapeí, utilizado como

fonte principal para a caracterização física, hidrológica e socioeconômica da UEPGRH 12, apresentada no Quadro 14.

Quadro 14 – Caracterização da UGRHI Peixe

CARACTERIZAÇÃO DA UGRHI PEIXE (21)			
População CBH-AP (2019); SEADE (2018)	462.253 hab.	Área CBH-AP (2019)	10.769 km ²
Disponibilidade hídrica superficial GBH-TG (2019)		Q95% = 38 m ³ /s	-
Principais sistemas aquíferos CBH-AP (2019); CETESB (2010)	Bauru, Serra Geral e Guarani.		
Principais afluentes CBH-AP (2019)	Rio do Peixe, Rio da Garça, Ribeirão do Mandaguari, Ribeirão Taquaruçu, Ribeirão do Veado, Ribeirão das Marrecas e Córrego Alegre.		
Municípios CBH-AP (2019)	Municípios integrantes: Adamantina*, Alfredo Marcondes, Álvares Machado*, Bastos, Borá, Caiabu, Emilianópolis, Flora Rica, Flórida Paulista*, Indiana*, Inúbia Paulista*, Irapuru*, Junqueirópolis*, Lutécia*, Mariópolis, Marília*, Martinópolis*, Oriente*, Oscar Bressane, Osvaldo Cruz*, Ouro Verde*, Piquerobi*, Pracinha, Ribeirão dos Índios, Sagres, Santo Expedito. Municípios com sede fora: Caiuá*, Dracena*, Echaporã*, Garça*, Herculândia*, Iacri*, João Ramalho*, Lucélia*, Lupércio*, Ocaçu*, Pacaembu*, Panorama*, Parapuã*, Pompéia*, Presidente Bernardes*, Presidente Epitácio*, Presidente Prudente*, Presidente Venceslau*, Quatã*, Quintana*, Rancharia*, Regente Feijó*, Santo Anastácio*, Tupã*, Vera Cruz*.		
Principais atividades econômicas CBH-AP (2019)	Áreas urbanas: setores de serviços e comércio, atividades industriais alimentícias (Marília); Áreas rurais: pecuária (pastagem) e cana-de-açúcar.		
Principais usos dos recursos hídricos CBH-AP (2019)	Usos urbanos (abastecimento público e comércio); Usos industriais (processos produtivos e tratamentos de efluentes industriais); Usos rurais (irrigação, pecuária e aquicultura) e usos destinados ao paisagismo e lazer.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo CBH-AP (2019); IF (2009)	Vegetação natural (7% da área = 796 km ²): Floresta Estacional Semidecidual e Formação Arbórea/Arbustiva em região de Várzea; os usos predominantes do solo são a cana-de-açúcar e pastagem.		
* Inserido Parcialmente.			

Fonte: Organizado pelo autor.

3.3.4.4 UGRHI São José dos Dourados (UGRHI 18)

A UGRHI São José dos Dourados se situa na região Noroeste do estado de São Paulo, tendo como limítrofes a UGRHI Turvo/Grande a norte e nordeste, a UGRHI Tietê/Batalha a sudeste, e a UGRHI Baixo Tietê a sul. No sentido Oeste, a bacia tem como vizinho o estado do Mato Grosso do Sul, localizado a margem do rio Paraná (CBH-SJD, 2019).

A UGRHI São José dos Dourados refere-se à unidade 13 da região Alto Rio Paraná e comporta a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, maior usina do estado de São

Paulo e terceira maior do Brasil, cuja potência instalada equivale a 3.444 MWh (18% do potencial hidrelétrico do estado). As características da UGRHI encontram-se detalhadas no Quadro de caracterização 15.

Quadro 15 – Caracterização da UGRHI São José dos Dourados

CARACTERIZAÇÃO DA UGRHI SÃO JOSÉ DOS DOURADOS (18)			
População CBH-SJD (2019); SEADE (2018)	228.181 hab.	Área CBH-SJD (2019)	6.783 km ²
Disponibilidade hídrica superficial GBH-SJD (2019)		Q95% = 16 m ³ /s	-
Principais sistemas aquíferos CBH-SJD (2019)	Bauru e Serra Geral.		
Principais afluentes CBH-SJD (2019)	Ribeirão da Ponte Pensa, Ribeirão Coqueiro e Ribeirão Marimbondo.		
Municípios CBH-SJD (2019)	Municípios integrantes: Aparecida d'Oeste, Auriflama*, Dirce Reis, Floreal*, General Salgado*, Guzolândia*, Ilha Solteira*, Jales*, Marinópolis, Monte Aprazível*, Neves Paulista*, Nhandeara*, Nova Canaã Paulista, Palmeira d'Oeste, Pontalinda, Rubnéia, Santa Fé do Sul*, Santa Salete*, Santana da Ponte Pensa*, São Francisco, São João das Duas Pontes, São João de Iracema, Sebastianópolis do Sul, Suzanápolis, Três Fronteiras*. Municípios com sede fora: Itapura*, Pereira Barreto*, Santa Clara d'Oeste*, Sud Menuci*, Urânia*, Magda*, Estrela d'Oeste*, Fernandópolis*, Meridiano*, Valentim Gentil*, Votuporanga*, Bálsamo*, Cosmorama*, Mirassol*, Poloni*, Tanabi*.		
Principais atividades econômicas CBH-SJD (2019)	Pecuária de leite, fruticultura e piscicultura.		
Principais usos dos recursos hídricos CBH-SJD (2019)	Usos urbanos (abastecimento público e comércio); Usos industriais (processos produtivos e tratamentos de efluentes industriais); Usos rurais (irrigação, pecuária e aquicultura) e geração de energia elétrica.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo CBH-SJD (2019); SP (2009)	Vegetação natural (6,5% da área = 449 km ²): Floresta Estacional Semidecidual e Formação Arbórea/Arbustiva em região de Várzea; os usos predominantes do solo dividem-se entre a pastagem plantada e culturas frutíferas. A UGRHI não possui nenhuma Unidade de Conservação (UC) em seu território.		
* Inserido Parcialmente.			

Fonte: Organizado pelo autor.

3.3.4.5 UGRHI Turvo/Grande (UGRHI 15)

A UGRHI Turvo/Grande corresponde a UEPGRH 14 da região Alto Rio Paraná e localiza-se a noroeste do estado de São Paulo, tendo por limites o estado de Minas Gerais ao norte, a UGRHI 12 (Baixo Pardo/Grande) a leste, a UGRHI 9 (Mogi-Guaçu) a sudeste, e as UGRHIs Tietê Batalha e São José dos Dourados ao sul. Segundo CBH-TG (2019), a UGRHI Turvo/Grande possui diversos problemas ambientais de degradação dos recursos hídricos superficiais em decorrência do mau uso e ocupação

do solo. Grande parte desta degradação se dá em função das atividades agrícolas e industriais da região, detalhadas no Quadro 16 de caracterização geral, as quais são reflexos do acelerado crescimento populacional das últimas décadas no estado de São Paulo (HERNANDES *et al.*, 2006).

Quadro 16 – Caracterização da UGRHI Turvo/Grande

CARACTERIZAÇÃO DA UGRHI TURVO-GRANDE (15)			
População SEADE (2018)	1.303.098 hab.	Área ANA (2019) **	16.007 km ²
Disponibilidade hídrica superficial GBH-TG (2019)		Q95% = 39 m ³ /s	-
Principais sistemas aquíferos CBH-TG (2019)	Bauru e Serra Geral.		
Principais afluentes CBH-TG (2019)	Ribeirão Cã-Cã, Córrego Cascavel, Ribeirão Santa Rita, Ribeirão Água Vermelha, Ribeirão Pádua Diniz, Ribeirão do Marinheiro, Córrego Tomazão, Córrego Bonito, Ribeirão dos Patos, Córrego da Mandioca, Rio Preto, Rio Turvo, Rio da Cachoeirinha, Rio São Domingos e Ribeirão da Onça.		
Municípios CBH-TG (2019)	Altair*, Álvares Florence, Américo de Campos, Ariranha, Aspásia, Bálsamo*, Barretos*, Bebedouro*, Cajobi, Cândido Rodrigues*, Cardoso, Catanduva*, Catiguá, Cedral*, Colina*, Cosmorama*, Dolcinópolis, Embaúba, Estrela D'Oeste*, Fernando Prestes*, Fernandópolis*, Guapiaçu, Guarani D'Oeste, Icem*, Indaporã, Ipiranga*, Jales*, Macedônia, Meridiano*, Mesópolis, Mira Estrela, Mirassol*, Mirassolândia, Monte Alto*, Monte Aprazível*, Monte Azul Paulista*, Nova Granada, Novais, Olímpia*, Onda Verde, Orindiúva, Ouroeste, Palestina, Palmares Paulista, Paraíso, Paranapuã, Parisi, Paulo de Faria, Pedranópolis, Pindorama*, Pirangi, Pontes Gestal, Populina, Riolândia, Santa Adélia*, Santa Albertina, Santa Clara D'Oeste*, Santa Fé do Sul*, Santa Rita D'Oeste, Santa Salete*, Santana da Ponte Pensa*, São José do Rio Preto, Severínia, Tabapuã, Taiapuã, Taiuva*, Tanabi*, Turmalina, Três Fronteiras*, Uchoa, Urânia*, Valentim Gentil*, Vista Alegre do Alto, Vitória Brasil, Votuporanga*.		
Principais atividades econômicas CBH-TG (2019)	Setor primário: cana-de-açúcar (cultura predominante), pastagem para criação de bovinos, culturas perenes (laranja, café, banana, uva e seringueira); Setor secundário: segmentos de indústria e construção civil; e Setor terciário: atividades de comércio, serviços e administração pública.		
Principais usos dos recursos hídricos CBH-SJD (2019); HERNANDES <i>et al.</i> (2006)	Irrigação, demais usos rurais, abastecimento público e industrial, aquicultura, pecuária, usos comerciais e mineração.		
Cobertura Vegetal e Uso do Solo CBH-TG (2019)	A vegetação natural (Floresta Estacional Semidecidual, Formação Arbórea/Arbustiva em Região de Várzea e Savana) representa 7% de sua superfície. E os usos predominantes do solo dividem-se em cana-de-açúcar, pastagem e culturas perenes.		
* Inserido Parcialmente; ** Atualizado em 30/05/2019			

Fonte: Organizado pelo autor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo descreve a coleta, tratamento e processamento dos dados utilizados no desenvolvimento da pesquisa, bem como os métodos e ferramentas computacionais empregados na elaboração e análise dos produtos obtidos. Para evitar a duplicidade de informações as equações dos métodos detalhados na revisão de literatura foram referenciadas conforme suas respectivas unidades de enumeração.

4.1 OBTENÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

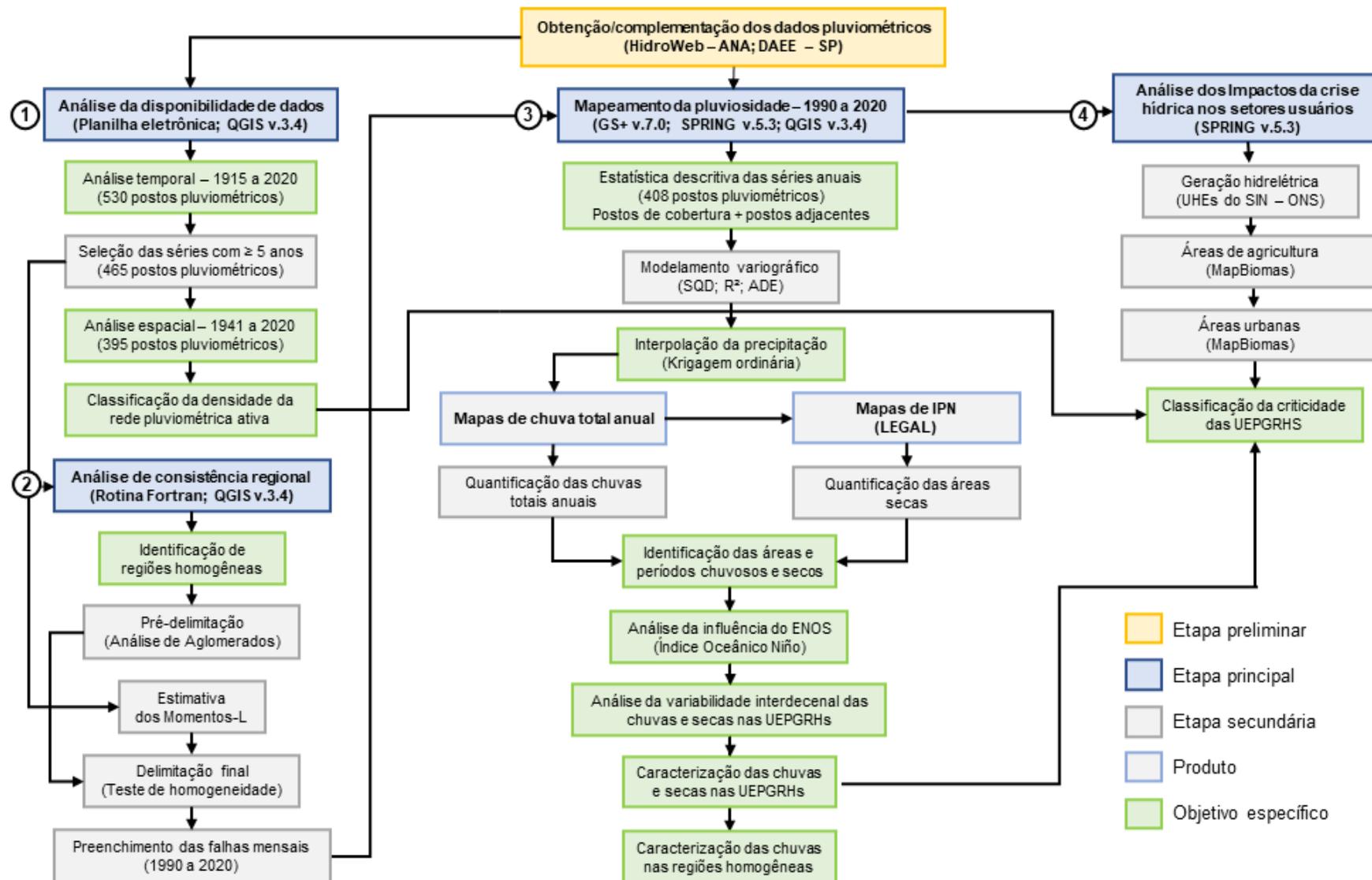
Na etapa preliminar os dados pluviométricos foram obtidos por meio da ferramenta HidroWeb v.3.1.1 (SNIRH, 2021), que concede acesso ao banco de dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A consulta e obtenção dos dados pluviométricos, bem como alguns impasses observados no portal HidroWeb, são detalhados nos Apêndices A e B, respectivamente. Os postos de observação localizados no estado de São Paulo foram verificados junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), visando a redução de falhas nas séries históricas (DAEE, 2021).

A princípio, foram identificadas todas as estações pluviométricas cadastradas no portal HidroWeb que pertencem aos municípios abrangidos pelas 14 UEPGRHs da região ARP. Posteriormente, na etapa de mapeamento da pluviosidade, foi realizada a complementação dos postos pluviométricos com estações adjacentes a região ARP (localizadas em Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo e Paraná), de modo garantir a cobertura total da área de estudo (borda de segurança) na análise espacial e interpolação dos dados.

4.2 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO

A investigação da variabilidade espaço-temporal das chuvas na região Alto Rio Paraná (ARP) uniu diferentes técnicas estatísticas e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), cujas etapas e procedimentos metodológicos são resumidos na Figura 23. Os objetivos específicos foram agrupados em 4 etapas principais, Análise da disponibilidade de dados, Análise de consistência regional, Mapeamento da pluviosidade e Avaliação dos impactos da crise hídrica nos setores usuários.

Figura 23 – Fluxograma metodológico



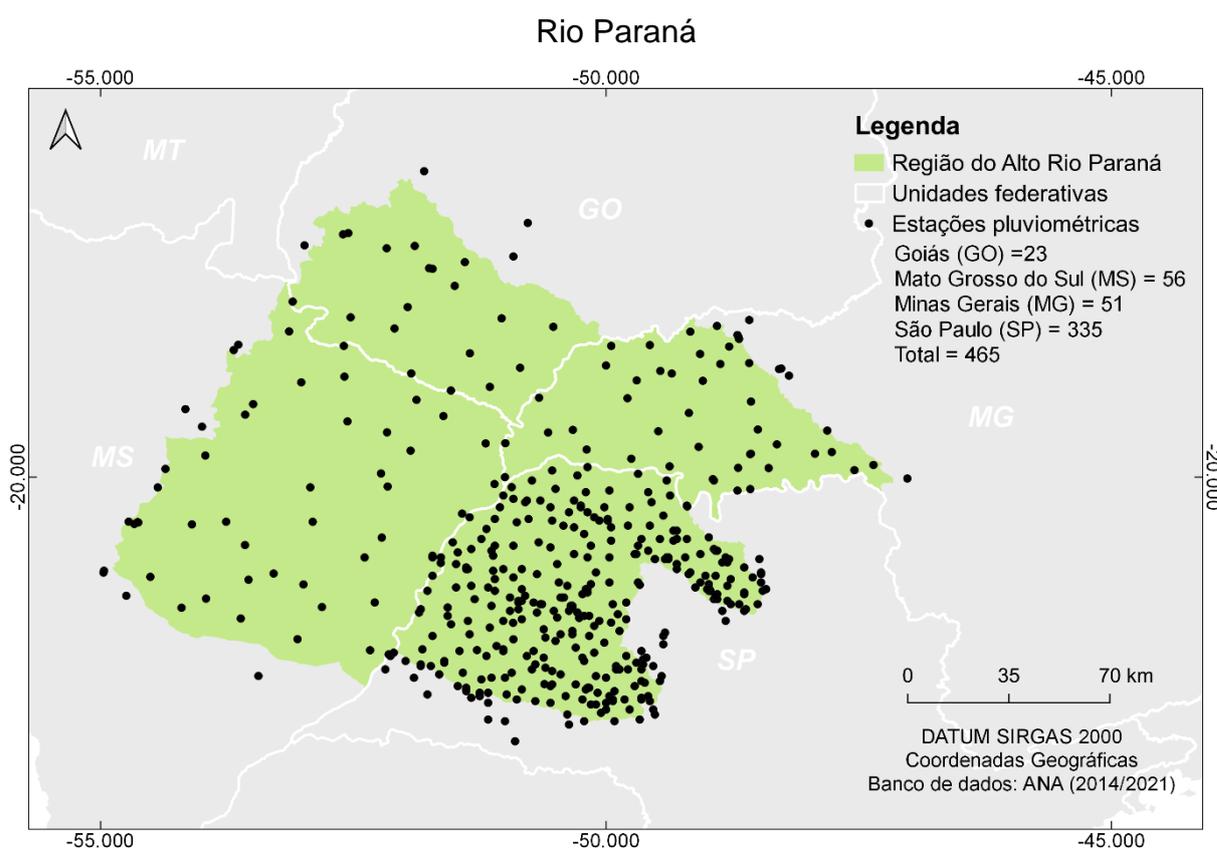
Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE DADOS

A análise da disponibilidade de dados pluviométricos na região Alto Rio Paraná foi realizada levando-se em consideração as estações de observação que continham algum registro de dado em suas séries históricas, totalizando 530 postos pluviométricos. Na análise temporal, foram verificadas a variação anual de estações com dados disponíveis entre 1915 (primeiro registro histórico) e 2020, assim como a extensão das séries históricas.

Em seguida, foram selecionadas as 465 estações com dados entre 1941 e 2020, dispostas conforme Figura 24, que possuíam séries com ≥ 5 anos de registros sem falhas, para a posterior estimativa dos Momentos-L amostrais, necessários na análise de consistência regional.

Figura 24 – Postos pluviométricos com ≥ 5 anos de dados sem falhas na região Alto Rio Paraná



Fonte: ANA (2014); SNIRH (2021) – Editado pelo autor

Na análise da disponibilidade espacial dos dados foram avaliados 395 postos pluviométricos, situados dentro dos limites administrativos da região Alto Rio Paraná (Figura 24), a fim de classificar a densidade da rede pluviométrica ativa (com dados)

de cada unidade hídrica. Para tanto foram consideradas as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Recomendação de densidade mínima de estações para rede hidrometeorológica

Unidades fisiográficas	Pluviômetro	Pluviógrafo
	km ² /estação	
Litoral / Região Costeira	900	9.000
Montanhas	250	2.500
Planícies Interioranas	575	5.750
Ondulado / Montanhoso	575	5.750
Pequenas Ilhas (< 500 km ²)	25	250.000
Áreas urbanas	-	10 a 20
Polar / Árida	10	100.000

Fonte: Adaptado de OMM (2008)

A nomenclatura das categorias utilizadas na classificação da rede pluviométrica foi baseada no Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento (IAEM) desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020), conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Classes do Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento

Classes	Intervalo		Status do Monitoramento
Insuficiente	0	0,355	Vulnerável
Pouco abrangente	0,355	0,505	
Suficiente	0,505	0,605	Não vulnerável
Abrangente	0,605	0,755	
Muito abrangente	0,756	1	

Fonte: Adaptado de CETESB (2020)

Os limites dos intervalos das classes de densidade da rede pluviométrica foram definidos com base na quantidade de estações por área, de forma a identificar as UEPGRHs com rede observacional mais críticas na região Alto Rio Paraná.

4.4 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA REGIONAL

A partir das séries de chuvas anuais extraídas das 465 estações localizadas na região Alto Rio Paraná (Figura 25), foi realizada a análise de consistência regional conforme a metodologia descrita por Hosking e Wallis (1997), visando verificar a

isenção de erros grosseiros nas séries históricas e subsidiar o preenchimento de falhas das estações.

Nesta etapa, foi realizada a identificação de regiões homogêneas de chuva, por meio da Análise de Aglomerados e do teste de homogeneidade regional do Método dos Momentos-L (MML), a partir do pacote de rotinas computacionais em linguagem Fortran desenvolvido por Hosking (2005). A interpretação dos dados foi realizada utilizando-se o *software* QGIS versão 3.4 (QGIS, 2021).

A identificação de regiões homogêneas na região Alto Rio Paraná foi efetuada a fim de identificar áreas de comportamento pluviométrico semelhante para subsidiar o preenchimento de falhas. Assim, conforme recomendações de Hosking e Wallis (1997), as regiões homogêneas foram identificadas em duas etapas: a pré-delimitação, baseada em suas características locais e a verificação da delimitação, considerando-se as estatísticas-L locais.

4.4.1 Identificação preliminar de regiões pluviométricas homogêneas

A delimitação preliminar de regiões homogêneas foi realizada por meio da Análise de Aglomerados, que realiza o agrupamento dos postos em regiões concordantes com a variabilidade espacial dos fatores que influenciam sobre o comportamento da precipitação. Assim, foram empregadas as características locais: extensão da série pluviométrica (1), latitude (1), longitude (1) e altitude (3), sendo a altitude, a característica de maior influência sobre a precipitação. Na Rotina de Hosking (2005), os agrupamentos dos postos pluviométricos são formados pelo Método de Ward (WARD, 1963) e ajustados utilizando-se o algoritmo K-médias (HARTIGAN, 1975).

Para tornar fisicamente coerente o agrupamento proveniente da Análise de Aglomerados foi realizado o reagrupamento das estações pluviométricas, segundo o critério de conveniência geográfica, antes da aplicação do teste de homogeneidade regional utilizado para verificar a delimitação das regiões homogêneas de chuva.

4.4.2 Teste de homogeneidade regional

A partir das séries de totais anuais sem falhas, foram estimados os parâmetros amostrais, localização-L (l_1) (Equação 2.7), escala-L (l_2) (Equação 2.8), assimetria-L

(t_3) (Equação 2.12), e curtose-L (t_4) (Equação 2.13), para aplicação do teste de homogeneidade regional, constituído das Medidas de Discordância (Dj) (Equação 2.19) e Heterogeneidade (H) (Equação 2.25), propostas por Hosking e Wallis (1997).

A Medida de Discordância (Dj) consiste na comparação das características/parâmetros estatísticos de um conjunto de postos (média dos quocientes de momentos-L) em uma dada região homogênea e as características/parâmetros apresentados pelas amostras individuais de cada posto (quocientes de momentos-L amostrais), de forma a identificar as amostras que apresentam características muito divergentes das grupais. Os postos discordantes foram identificados a partir dos valores críticos da Tabela 4 (item 2.2.3.1) e realocados, quando possível, para outras regiões.

Conforme Naghettini e Pinto (2007), a lógica da Medida de Heterogeneidade (H) é a comparação da dispersão entre os quocientes de momentos-L de um dado conjunto de postos, e a dispersão esperada de uma região homogênea, fazendo uso de suas estatísticas locais (CV-L, Assimetria-L e Curtose-L). Para simular a região homogênea, Hosking e Wallis (1997) sugerem a distribuição Kappa de quatro parâmetros, cuja função densidade de probabilidade é dada pela Equação 2.22.

Assim, as regiões foram classificadas por meio do teste de significância em “aceitavelmente homogênea” se $H < 1$, “possivelmente heterogênea”, se $1 \leq H < 2$, e “definitivamente heterogênea”, caso $H \geq 2$. Nos casos em que a região foi considerada heterogênea, ou seja, $H \geq 2$, foram realizados ajustes e estimado novamente a Medida de Discordância (Dj), até serem satisfeitas as condições de homogeneidade.

4.4.3 Preenchimento de falhas nas séries históricas de chuva

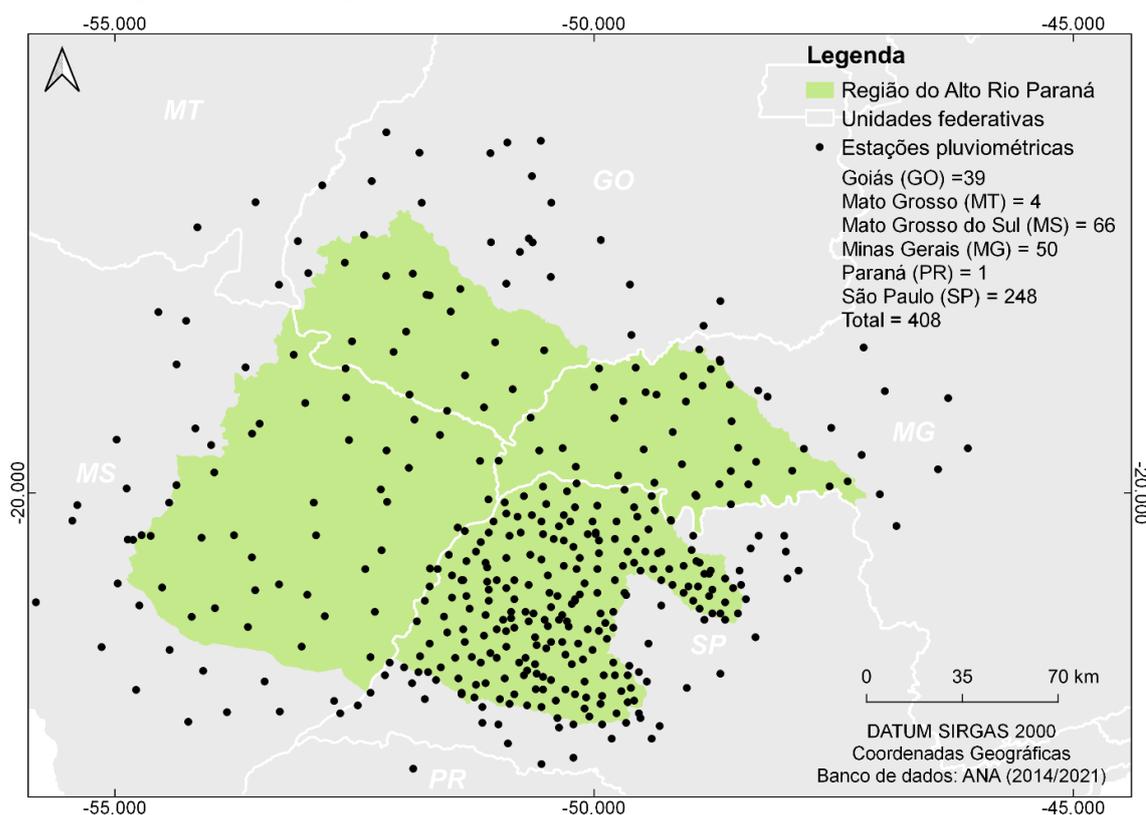
O preenchimento das falhas mensais nas séries pluviométricas com pelo menos 6 meses de registro foi realizado para 1990 a 2020, com o auxílio de planilha eletrônica, utilizando-se a média aritmética dos postos localizados nas regiões homogêneas que continham dados faltantes. Para tanto, adotou-se limite de 20 estações e desconsiderou-se os postos identificados como discordantes. Assim, todas as falhas foram preenchidas utilizando-se estações com comportamento pluviométrico semelhantes, conforme suas características e estatísticas locais.

4.5 MAPEAMENTO DA PLUVIOSIDADE

O mapeamento da pluviosidade na região Alto Rio Paraná foi realizado durante o período de 1990 a 2020, para o qual foi analisada a variabilidade espaço-temporal da precipitação por meio da espacialização das chuvas anuais e Índice de Porcentagem Normal (IPN).

Para tanto, foram consideradas as séries históricas preenchidas que continham dados durante 1990 a 2020 (341 estações), além de um incremento de 67 estações (borda de segurança), compostas por séries completas de tamanho variado, assegurando a cobertura de toda área de estudo. No total foram utilizados 408 postos pluviométricos distribuídos conforme Figura 25.

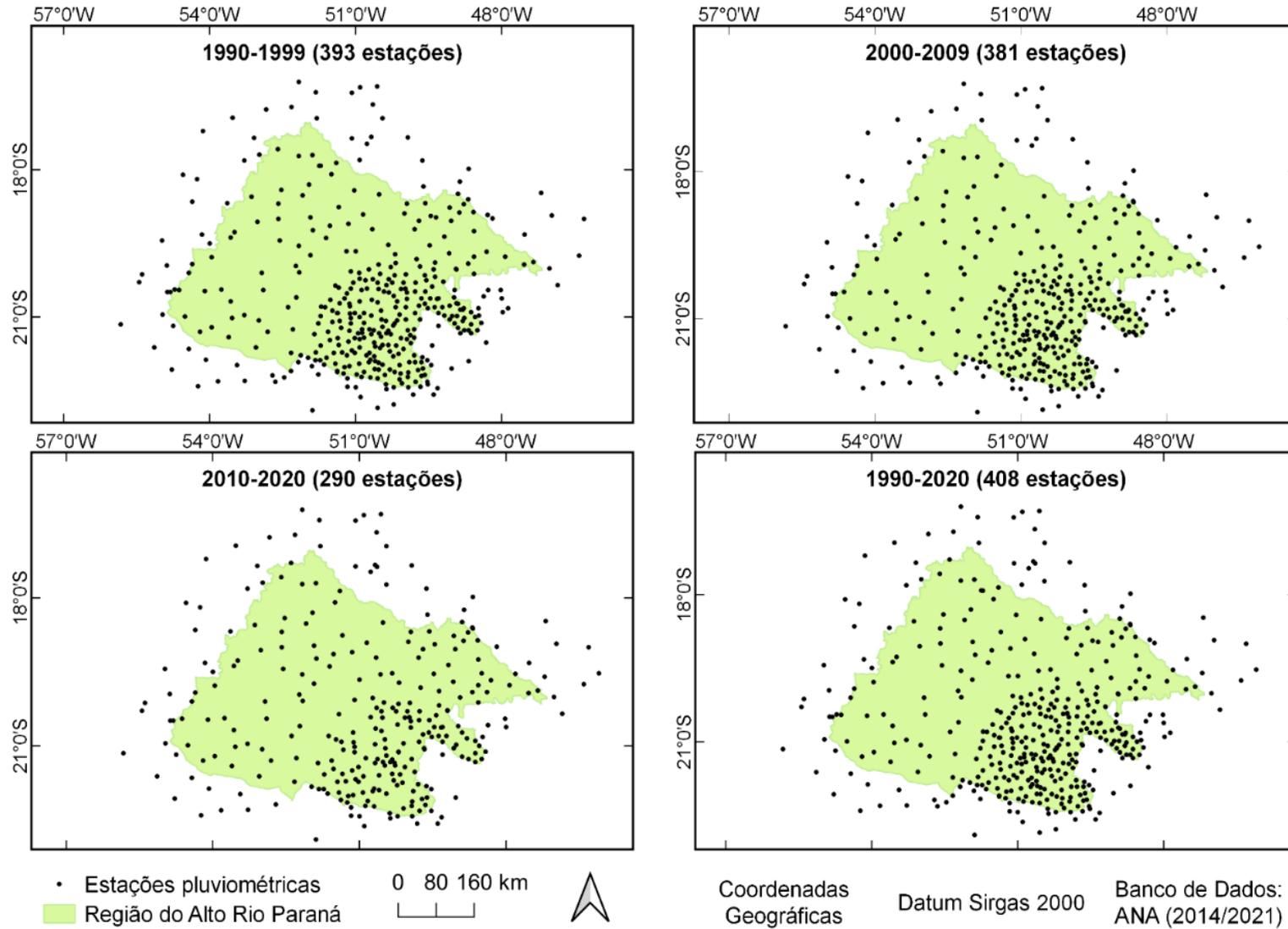
Figura 25 – Estações pluviométricas com dados entre 1990 e 2020



Fonte: ANA (2014); SNIRH (2021) – Editado pelo autor

Na Figura 26 é apresentada a distribuição das estações pluviométricas em função da disponibilidade de dados por década (1990-2020), a partir da qual pode-se verificar que a quantidade de postos com dados disponíveis vem diminuindo nas duas últimas décadas, comparado a década de 90.

Figura 26 – Disponibilidade de postos pluviométricos na região Alto Rio Paraná por década durante 1990 a 2020



Fonte: ANA (2014); SNIRH (2021) – Editado pelo autor

4.5.1 Análise estatística descritiva

A análise estatística descritiva integra o processo de análise preliminar de dados hidrológicos, que visa sintetizar as características do padrão de distribuição de uma variável, a fim de extrair da amostra os dados necessários para deduzir o comportamento populacional (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Logo, foram estimadas as estatísticas descritivas das médias pluviométricas anuais, referentes às medidas de tendência central, medidas de dispersão e medidas de assimetria e curtose, conforme sumário numérico expresso na Tabela 8.

Tabela 8 – Sumário numérico das estatísticas descritivas

Medida	Estatística Amostral	Notação	Cálculo
Tendência central	Média	\bar{x}	$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$
	Mediana	x_{md}	Valor que separa a frequência total em 2 metades
Dispersão	Desvio Padrão	S	$S = \sqrt{S^2}$
	Coefficiente de Variação	CV	$CV = \frac{S}{\bar{x}}$
Assimetria e Curtose	Coefficiente de Assimetria	g	$g = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{S^3}$
	Coefficiente de Curtose	k	$k = \frac{N^2}{(N-1)(N-2)(N-3)} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{S^4}$

Fonte: Naghettini; Pinto (2007) – Adaptado pelo autor.

4.5.2 Análise geoestatística e interpolação da Precipitação total anual

Na obtenção dos mapas pluviométricos, as séries de chuvas anuais foram importadas para o software *GeoStatistics for the Environmental Sciences - Gamma Design (GS+)* versão 7.0. (ROBERTSON, 2004), onde a dependência espacial foi analisada por meio do cálculo do semivariograma experimental (Equação 2.28), tendo como base a pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca (YAMAMOTO,

LANDIM, 2013). Assim, a relação espacial entre os dados georreferenciados foi efetuada, viabilizando a obtenção de 32 mapas de chuva da região Alto Rio Paraná.

Devido a magnitude da área de estudo e tendo em vista que o *software* empregado utiliza o sistema métrico, foi adotado o sistema de projeção Policônica e o Datum SIRGAS 2000. Na análise de modelagem variográfica foram observados os seguintes critérios de aceitação de ajuste: a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD); o maior coeficiente de determinação espacial (R^2); e o maior avaliador da dependência espacial (ADE), conforme classificação descrita na Tabela 9.

Tabela 9 – Classificação do Avaliador da Dependência espacial

ADE	Variável
$\leq 25\%$	Fracamente dependente
$> 25\%$ e $\leq 75\%$	Moderadamente dependente
$> 75\%$	Altamente dependente

Fonte: Zimback (2001)

A escolha do modelo de ajuste final foi efetuada com base nos resultados da validação cruzada (VC), técnica onde foi efetuada a substituição do valor da variável observada pelo seu valor estimado, por meio de interpolação por krigagem ordinária (Equação 2.33), obtendo-se um gráfico de correlação entre os valores estimados e observados (LANDIM, 2006). Deste modo, o modelo selecionado foi aquele que produziu as melhores estimativas dos valores observados, adotando-se um ponto de interceptação equivalente a zero e coeficiente angular igual a 1.

Identificado o melhor modelo ajustado, o cálculo dos valores de chuva em locais não amostrados na região Alto Rio Paraná foi realizado, por meio de interpolação por krigagem ordinária, utilizando o semivariograma de dispersão, técnica geoestatística que se refere a um estimador linear não enviesado, ou seja, não tendencioso (LANDIM, 2006).

Uma vez calculado os mapas de chuvas, as amostras de dados foram importadas para o *software* SPRING versão 5.3, onde foi efetuada a geração das grades retangulares em Modelo Numérico de Terreno (MNT), utilizando-se o interpolador “Média ponderada por quadrante”, e o fatiamento das classes de chuvas anuais em categoria temática. Após a classificação da precipitação em intervalos de 100 mm, foram quantificadas as áreas abrangidas em cada categoria e em cada UEPGRH para todos os anos de 1990 a 2020, bem como para a média normal (31 anos). Os mapas finais foram editados no *software* QGIS versão 3.4 (QGIS, 2021).

4.5.3 Índice de Porcentagem Normal (IPN)

A aplicação do Índice de Porcentagem Normal (IPN) foi realizada estimando-se o valor da medida do desvio da precipitação em relação ao valor normal. Tal medida é dada pela multiplicação do quociente, entre a precipitação atual de uma dada estação e a precipitação normal, por 100, conforme Equação 4.1 (LIMA, 2016).

$$P = \left(\frac{Pr_p(atual)}{Pr_p(normal)} \right) 100 \quad (4.1)$$

Onde, P é a porcentagem da precipitação normal, $Pr_p(atual)$ equivale a chuva medida em um dado local ou estação e $Pr_p(normal)$ refere-se à média pluviométrica de longo prazo do local considerado, sendo as duas últimas expressas em mm.

Em ambiente SPRING 5.3 os valores de IPN foram quantificados a partir da Equação 4.1 aplicada aos mapas de chuvas anuais, utilizando-se a ferramenta de Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). As classes do índice IPN, apresentadas na Tabela 10, foram adaptadas conforme proposto por GOIS (2005) e recomendado por Fernandes *et al.* (2009).

Tabela 10 – Classificação do Índice de Porcentagem Normal

IPN (%)	Intensidade
90 a \geq 100	Umidade extremamente alta
70 a 90	Umidade alta
50 a 70	Umidade moderada
30 a 50	Umidade baixa
10 a 30	Umidade inicial
0 a 10	Normal+
-10 a 0	Normal-
-30 a -10	Seca inicial
-50 a -30	Seca suave
-70 a -50	Seca moderada
-90 a -70	Seca severa
-100 a -90	Seca extrema

Fonte: Adaptado de Gois (2005)

A divisão do Índice IPN em 12 classes de intensidade promove um enquadramento das áreas secas/úmidas mais conservador, possibilitando uma análise mais detalhada da sensibilidade do índice à fatores externos. As medidas das classes empregadas foram calculadas no *software* SPRING versão 5.3 e os mapas finais editados no *software* QGIS versão 3.4 (QGIS, 2021).

4.5.4 Análise da influência do El Niño-Oscilação Sul

A influência do ENSO na pluviosidade da região ARP foi avaliada a partir da comparação dos valores de chuvas anuais e índice IPN e as fases La Niña e El Niño, representadas pelas médias anuais do índice Oceânico Niño – ION (NOAA, 2021), estimado a partir das médias contínuas de 3 meses de anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região Niño 3.4 durante o período de 1990 a 2020 (Tabela 11). As intensidades das fases do ENOS são exibidas na Tabela 12.

Tabela 11 – Média contínua de 3 meses de anomalia da TSM

Ano	Média contínua de 3 meses de anomalia											
	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1	1.1
1995	1	0.7	0.5	0.3	0.1	0	-0.2	-0.5	-0.8	-1	-1	-1
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1	1.3	1.6
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

Fonte: NOAA (2021)

Tabela 12 – Períodos de ocorrência e intensidade do ENOS de 1990 a 2020

Período	Evento	Intensidade
1990	Neutro	-
1991-1992	El Niño	Forte
1993	Neutro	-
1994-1995	El Niño	Moderado
1995-1996	La Niña	Moderado
1997-1998	El Niño	Muito Forte
1998-1999	La Niña	Forte
1999-2000	La Niña	Forte
2000-2001	La Niña	Fraco
2002-2003	El Niño	Moderado
2004-2005	El Niño	Fraco
2005-2006	La Niña	Fraco
2006-2007	El Niño	Fraco
2007-2008	La Niña	Forte
2008-2009	La Niña	Fraco
2009-2010	El Niño	Moderado
2010-2011	La Niña	Forte
2011-2012	La Niña	Moderado
2013	Neutro	-
2014-2015	El Niño	Fraco
2015-2016	El Niño	Muito Forte
2016-2017	La Niña	Fraco
2017-2018	La Niña	Fraco
2018-2019	El Niño	Fraco
2020-2021	La Niña	Moderado

Fonte: Adaptado de Null (2021)

4.6 ANÁLISE DOS IMPACTOS DA CRISE HÍDRICA NOS SETORES USUÁRIOS

Os impactos da escassez hídrica nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná foram analisados a partir do diagnóstico da densidade da rede observacional e dos eventos de seca nas unidades hídricas, além das características dos setores agrícola, hidroelétrico e do abastecimento urbano na região.

Os dados de uso e ocupação do solo para o levantamento das áreas agrícolas e urbanas nas UEPGRHs foram extraídos da plataforma MapBiomas – Coleção 6.0 (MAPBIOMAS, 2019) e quantificados com o auxílio do *software* SPRING versão 5.3. No setor hidrelétrico, foram consideradas as UHEs do Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme Anexo A, com dados disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2021). Todos os dados foram analisados e discutidos de forma integrada, visando a identificar as UEPGRHs mais vulneráveis à seca na região ARP.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo aborda os resultados obtidos em cada procedimento metodológico, além de discussões acerca das análises realizadas. Para um melhor entendimento sobre o desenvolvimento dos resultados e discussões, apresenta-se a seguir uma síntese dos resultados percorridos ao longo deste capítulo.

Primeiramente, é apresentada a situação da disponibilidade temporal e espacial de dados pluviométricos ao longo da região Alto Rio Paraná (ARP), com base nas séries históricas disponíveis e consistência dos postos de observação, além de uma proposta para classificação da densidade da rede ativa, a partir das recomendações da OMM (2008) e categorias utilizadas pelo IAEM (CETESB, 2020). Em seguida, são identificadas as regiões homogêneas de chuva na região ARP e suas estações pluviométricas discordantes, que devem ser evitadas no preenchimento de falhas dos postos de observação.

Posteriormente, são efetuadas as análises pertinentes ao mapeamento da pluviosidade na região ARP, baseadas nos totais de chuvas anuais e Índice de Porcentagem Normal (IPN) durante o período de 1990 a 2020. Nesta etapa são verificadas a influência do ENOS nos índices pluviométricos anuais e as médias normais para as UEPGRHs e regiões homogêneas identificadas, bem como a determinação dos períodos e áreas secas e chuvosas e suas variabilidades interanuais e decenais.

Por fim, são discutidos os impactos da crise hídrica nos setores econômicos na região Alto Rio Paraná e efetuada a classificação das UEPGRHs quanto à vulnerabilidade da rede observacional e dos setores usuários à escassez hídrica.

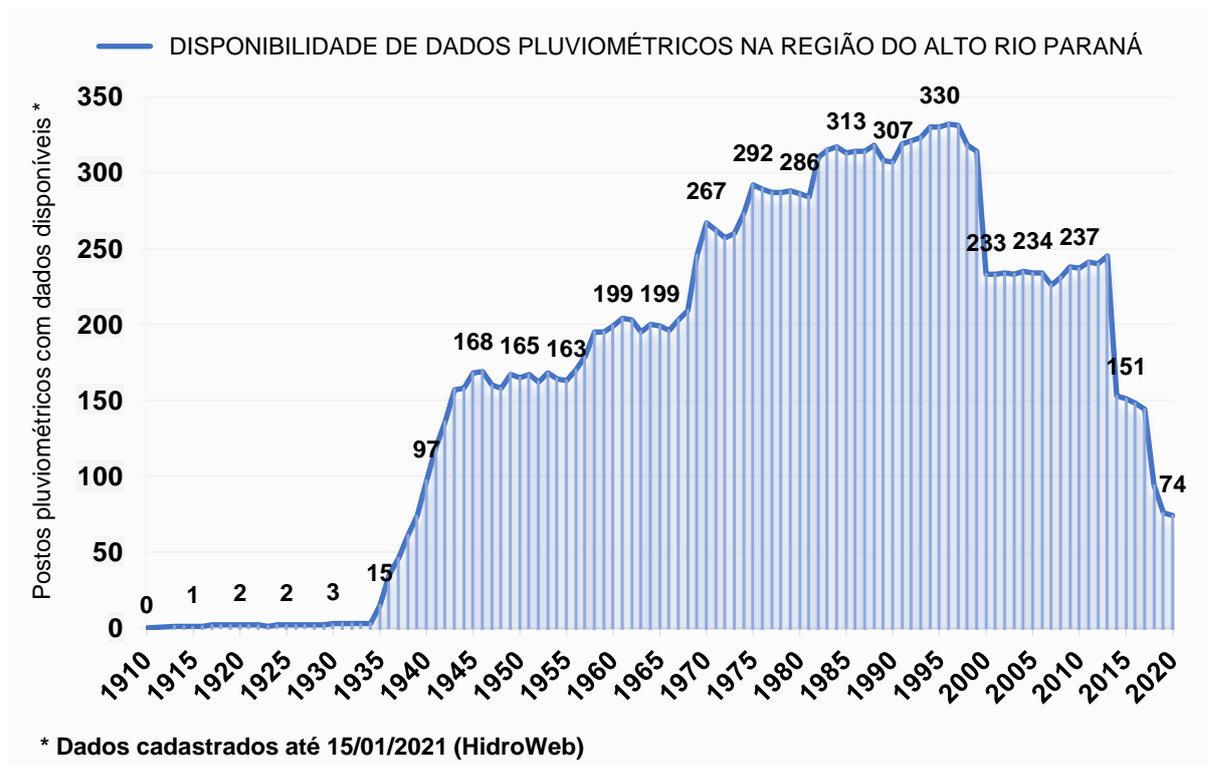
5.1 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ

Por meio da plataforma HidroWeb (SNIRH, 2021) foram identificadas 730 estações pluviométricas abrangidas pelos municípios que compõem as 14 UEPGRHs da região Alto Rio Paraná. Destas, 200 estações (27,4%) não possuíam nenhum tipo de registro e 530 estações (72,6%) continham algum dado registrado durante o período de 1915 a 2020. Segundo Silva (2021), apenas 21% do total de estações hidrometeorológicas no Brasil são de responsabilidade da ANA.

5.1.1 Disponibilidade temporal

As 530 estações pluviométricas instaladas ao longo da região Alto Rio Paraná apresentaram irregularidades na disponibilidade de informações e extensão de suas séries históricas ao longo do tempo, devido à ausência de medições por longos períodos e a grande quantidade de postos que se tornaram inoperantes no decorrer dos anos. Na Figura 27 é apresentada a quantidade de estações com informações disponíveis na região Alto Rio Paraná, desde o primeiro registro histórico até o ano de 2020.

Figura 27 – Disponibilidade de dados pluviométricos na região Alto Rio Paraná de 1910 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

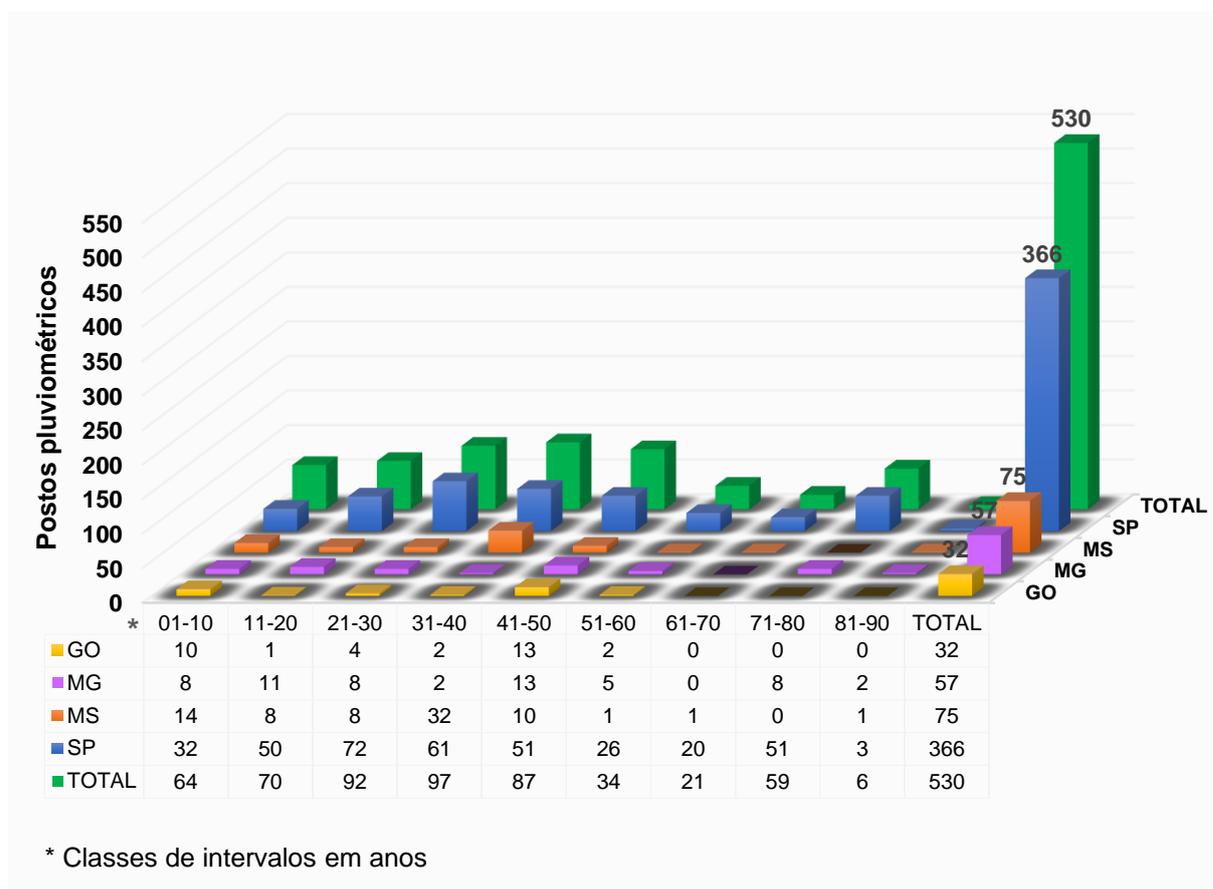
Conforme Figura 27, até meados da década de 90, a região Alto Rio Paraná apresentava em média um crescimento linear de disponibilidade de dados pluviométricos de aproximadamente 39 estações por década. No início dos anos 2000, a quantidade de postos com dados disponíveis decaiu em torno de 18,3% (97 postos) em relação ao ano de 1995, período com maior quantidade de dados

disponíveis (330 postos), sofrendo posteriormente, um decaimento equivalente a 16,22% (86 postos) em 2015 sobre 2010, totalizando 151 estações com informações.

No ano de 2020, a situação na região Alto Rio Paraná se torna ainda mais crítica com um total de 74 estações com dados disponíveis, cenário equivalente ao ano de 1939. Todavia, verificou-se que parte do decaimento da disponibilidade de informações se deve ao atraso de, muitas vezes, até 12 meses na atualização de dados no portal HidroWeb. Fato este que afeta negativamente o planejamento e a gestão das águas, uma vez que a escala temporal dos estudos de processos hidroclimáticos depende diretamente da variação climática, observada a partir das medidas de sua ocorrência.

Os tamanhos das séries históricas foram verificados por meio da elaboração do histograma exposto na Figura 28, que apresenta a quantidade de postos de observação com dados disponíveis de 1915 a 2020, por classes de extensão (anos) das séries pluviométricas de cada estado abrangido pela região Alto Rio Paraná.

Figura 28 – Histograma da extensão das séries de chuva na região Alto Rio Paraná no período de 1915 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Conforme Figura 28, verificou-se que 30,57% (162 postos) das estações apresentaram séries de curta duração (>10 a 30 anos) que, embora seja uma escala geralmente empregada em estudos hidroclimáticos, em muitos casos não consegue representar o comportamento pluviométrico da bacia hidrográfica (TUCCI, 2002). As estações com séries >30 a 50 anos apresentaram a melhor disponibilidade de informações, totalizando 184 estações (34,72%), contudo, sua maioria apresentou inconsistências nas séries históricas, diminuindo o horizonte de dados disponíveis.

À medida que o tamanho das séries de chuva aumenta, a quantidade de postos na região Alto Rio Paraná diminui, restando apenas 6 postos (1,13%) com séries históricas longas (>80 anos). Logo, a carência de postos pluviométricos com séries históricas extensas e consistentes, acaba impossibilitando a identificação/confirmação de tendências de longo prazo, sobretudo por se tratar de uma área de macroescala espacial (>10⁴ km²), conforme classificação de Becker (1992).

Com base na identificação dos postos com dados disponíveis na região Alto Rio Paraná (Figura 28), verificou-se que a maior concentração das estações pluviométricas se localiza no estado de São Paulo, que abrange 69% (366 postos) do total de estações, contra 14,15% (75 postos) do Mato Grosso do Sul, 10,75% (57 postos) de Minas Gerais e 6,01% (32 postos) de Goiás.

5.1.2 Disponibilidade espacial

Para a análise de disponibilidade espacial na região Alto Rio Paraná, foram consideradas apenas as estações que compõem a rede pluviométrica ativa, excluindo-se os postos situados fora das áreas administrativas das UEPGRHs e os postos que não atenderam aos critérios da análise de consistência regional, totalizando-se 395 estações com dados entre 1941 e 2020.

Diante da ausência de métodos para classificação de redes pluviométricas no Brasil, foi proposta uma classificação para a rede de monitoramento na região Alto Rio Paraná, com base no critério de extensão territorial, a partir da densidade mínima de postos pluviométricos recomendada pela OMM (2008) e da classificação do Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento (IAEM) desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020).

Assim, observando-se a recomendação mínima da OMM (2008) para áreas de terreno plano a ondulado/montanhoso, foram determinados intervalos de referência

baseados no número de postos pluviométricos a cada 575 km², para as classes “Insuficiente”, “Pouco Abrangente”, “Suficiente”, “Abrangente” e “Muito Abrangente”, utilizadas pelo IAEM, onde a diferença da variação de cada intervalo aumenta em função de uma constante equivalente a 0,25, conforme Tabela 13.

Os valores de densidade de estações pluviométricas na região Alto Rio Paraná, assim como a quantidade mínima de postos recomendada pela OMM para cada UEPGRH e suas classificações, são apresentadas na Tabela 14 e Figura 29, respectivamente.

Tabela 13 – Classificação da densidade da rede pluviométrica para a região Alto Rio Paraná

Intervalos		Densidade
0,000	0,249	Insuficiente
0,250	0,999	Pouco abrangente
1,000	2,499	Suficiente
2,500	4,999	Abrangente
≥ 5		Muito Abrangente

Fonte: Elaboração do próprio autor.

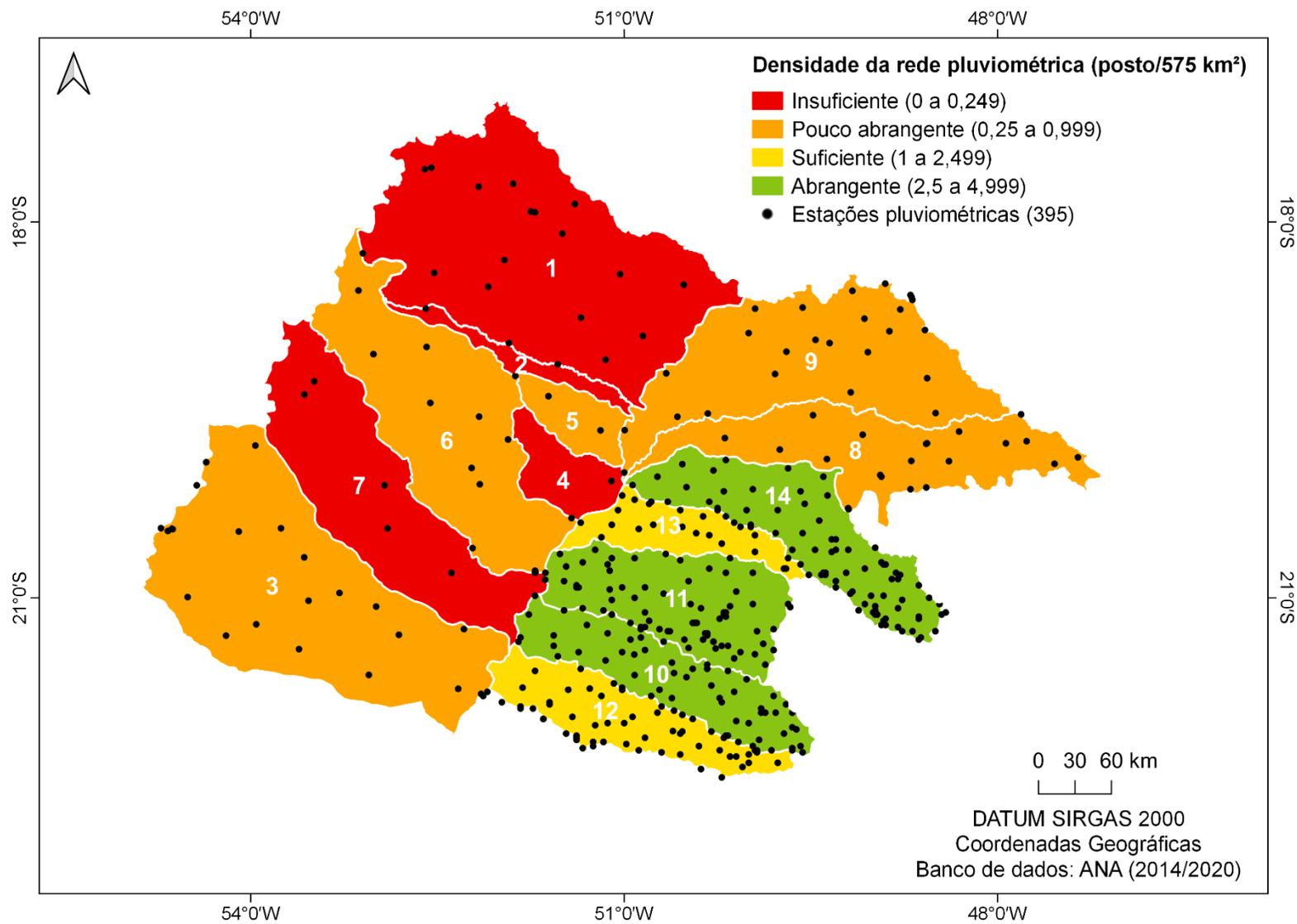
Tabela 14 – Densidade da rede pluviométrica na região Alto Rio Paraná em 2020

Estado	UEPGRH	Área (km ²)	Estação		Déficit		Densidade	
			(N°)	(N°) *	(N°)	%	(km ² /posto)	(posto/575 km ²)
GO	1	43.814	19	76	57	75	2.306	0,249
	2	2.757	1	5	4	80	2.757	0,209
	3	39.419	23	69	46	67	1.714	0,335
MS	4	5.372	1	9	8	89	5.372	0,107
	5	4.182	3	7	4	57	1.394	0,412
	6	27.193	12	47	35	74	2.266	0,254
	7	24.184	8	42	34	81	3.023	0,190
MG	8	18.75	21	33	12	36	893	0,644
	9	26.882	21	47	26	55	1.280	0,449
SP	10	13.196	64	23	0	0	206	2,789
	11	15.588	71	27	0	0	219	2,619
	12	10.769	45	19	0	0	239	2,403
	13	6.783	22	12	0	0	308	1,865
	14	16.007	84	28	0	0	191	3,017
Alto Rio Paraná		254.896	395	444	226	36	645,3	0,891

*=Recomendação Organização Meteorológica Mundial; 1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH = Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 29 – Classificação da densidade da rede pluviométrica ativa na região Alto Rio Paraná



Fonte: ANA (2014/2020) – Editado pelo autor.

Com base na Tabela 14, a região Alto Rio Paraná apresentou relação $\text{km}^2/\text{estação}$ ($645,3 \text{ km}^2/\text{posto}$) superior à recomendada ($575 \text{ km}^2/\text{posto}$), indicando uma carência de 49 postos e densidade pluviométrica “pouco abrangente”. Contudo, analisando-se o déficit de estações de forma unitária para cada UEPGRH, a demanda total de implantação aumenta para 226 postos, equivalente a um incremento de 57,2% na rede pluviométrica para suprir a necessidade de informações de usos da água.

As redes pluviométricas das UEPGRHs da região Centro-Oeste do Brasil, 1, 2, 4 e 7, foram classificadas como “insuficiente”, apresentando valores de densidade entre 2.306 e $5.372 \text{ km}^2/\text{posto}$, acima da média regional ($1.400 \text{ km}^2/\text{posto}$) divulgada por Silva (2021), enquanto as UEPGRHs 3, 5 e 6 e as unidades 8 e 9, localizadas em Minas Gerais apresentaram redes pluviométricas consideradas “pouco abrangente”, com densidade entre 893 e $2.266 \text{ km}^2/\text{posto}$ e média de déficit de estações de 57,8%.

O estado de São Paulo apresentou a melhor média de densidade pluviométrica ($218 \text{ km}^2/\text{posto}$), próxima a média apontada por Silva (2021) para a região Sudeste ($200 \text{ km}^2/\text{posto}$), com redes classificadas como “suficiente” (UEPGRH 12 e 13) e “abrangente” (UEPGRH 10, 11 e 14), tendo a UEPGRH 14 (Turvo-Grande) a melhor distribuição de dados ($191 \text{ km}^2/\text{estação}$), equivalente a 3 postos a cada 575 km^2 .

Uma vez que a maioria das unidades hídricas (9 de 14) apresentaram densidade pluviométrica inferior às quantidades mínimas recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), a classificação das redes pluviométricas das UEPGRHs se mostrou efetiva na identificação das unidades mais críticas, com redes classificadas como “insuficiente”, permitindo um melhor reconhecimento da abrangência e necessidade de dados de chuva na região Alto Rio Paraná.

Deste modo, tais dados enfatizam a importância da avaliação da rede pluviométrica, como subsídio para o planejamento e manutenção dos postos existentes, de forma a assegurar a representatividade hidroclimática de importantes áreas como o triângulo mineiro e a fronteira agrícola do Mato Grosso do Sul.

5.2 IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES PLUVIOMÉTRICAS HOMOGÊNEAS

A identificação de regiões homogêneas de chuva na região Alto Rio Paraná foi realizada a partir dos 465 postos de observação selecionados para a análise de consistência regional, com dados entre 1941 e 2020, cujos códigos e valores estimados dos momentos-L amostrais são apresentados no Apêndice C.

5.2.1 Análise de Aglomerados

Com base nas características locais dos postos de observação da região Alto Rio Paraná, foram simulados 4 agrupamentos (*clusters*) de estações, para a pré-identificação de potenciais regiões homogêneas, com 5, 8, 10 e 15 conjuntos de postos dispostos de acordo com a Figura 30.

Os resultados das simulações apresentadas (Figura 30) possibilitaram uma leitura prévia do comportamento local dos postos de observação, como a identificação de possíveis regiões homogêneas na porção oeste (Goiás e Mato Grosso do Sul) da região Alto Rio Paraná. Já na porção leste da área de estudo, em todas as simulações houve uma maior sobreposição dos agrupamentos gerados, dificultando a análise visual de regiões homogêneas, principalmente no estado de São Paulo, onde o número de estações existentes é significativamente maior que nos demais estados, tornando mais onerosos os ajustes necessários para delimitar as regiões de forma fisicamente coerente, conforme observado por Hosking e Wallis (1997).

Para a aplicação do critério de conveniência geográfica, utilizou-se como base o agrupamento 3 com 10 conjuntos de postos pluviométricos (*clusters*), cujos valores centrais das características locais e quantidade de indivíduos são apresentados na Tabela 15.

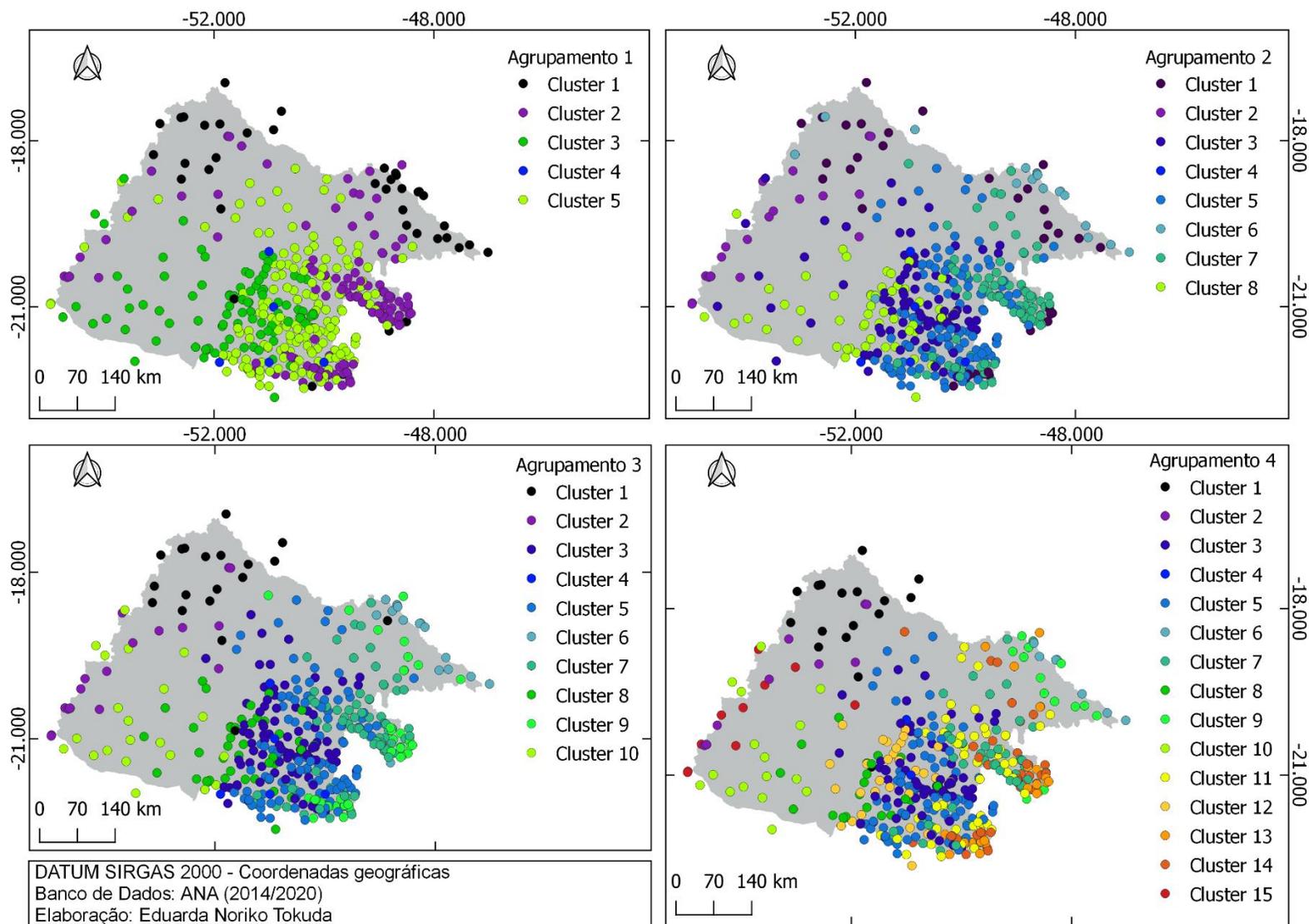
Tabela 15 – Valores centrais das características locais do agrupamento 3

Cluster	Nº postos	Altitude	Latitude	Longitude
1	19	726,13	-18,2151	-51,9143
2	22	539,19	-19,8351	-53,8218
3	94	392,41	-21,0210	-50,7194
4	5	410,16	-21,4000	-50,9633
5	115	453,60	-21,1784	-50,3392
6	16	856,50	-19,2398	-48,3038
7	89	523,50	-20,8822	-49,4433
8	42	302,90	-21,1418	-51,5205
9	42	627,30	-21,1274	-49,2179
10	21	370,71	-20,6992	-53,3429

Fonte: Elaboração do próprio autor.

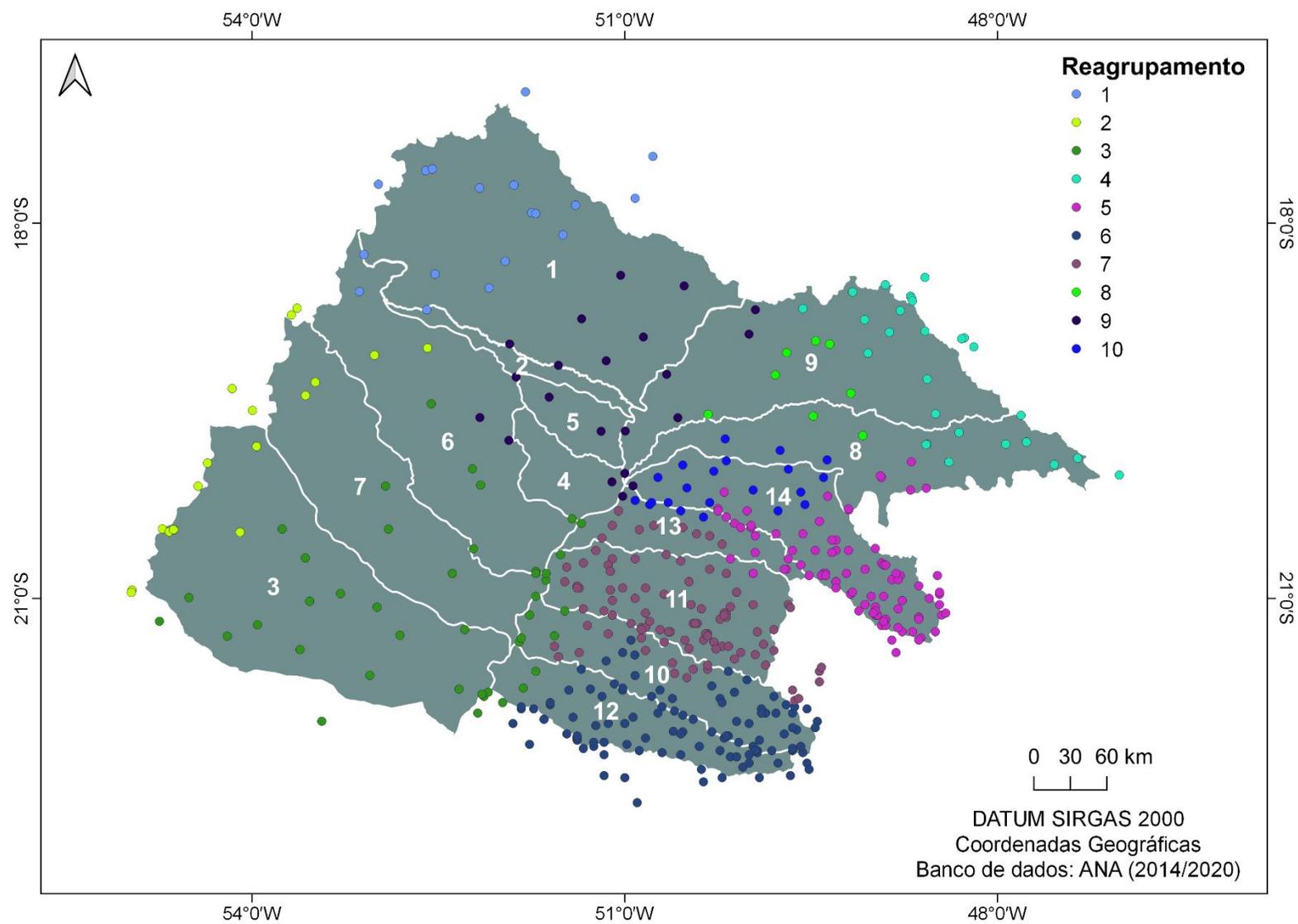
Na Figura 31 é apresentado o reagrupamento dos postos pluviométricos pertencentes à região Alto Rio Paraná, no qual os ajustes geográficos foram realizados preservando-se a máxima quantidade possível de estações originais em cada conjunto (Figura 30).

Figura 30 – Simulação de agrupamentos dos postos pluviométricos na região Alto Rio Paraná



Fonte: ANA (2014/2020) – Editado pelo autor.

Figura 31 – Aplicação do critério geográfico no reagrupamento dos postos pluviométricos na região Alto Rio Paraná



Fonte: ANA (2014/2020) – Editado pelo autor.

5.2.2 Teste de Homogeneidade

Em seguida aos ajustes geográficos, deu-se início a aplicação do teste de Homogeneidade, a partir da Medida de Discordância (Dj). Os postos identificados como discordantes, após verificação individual de erros grosseiros, foram removidos ou transferidos para regiões vizinhas, exceto aqueles que não permitiam sua realocação devido a restrição de suas localizações. Tal processo permitiu a obtenção de 9 regiões, as quais foram classificadas conforme Medida de Heterogeneidade (H). Na Tabela 16 são apresentados os parâmetros das regiões homogêneas obtidas pela distribuição Kappa e os resultados obtidos pelo teste de homogeneidade. Os indivíduos que compõem cada região são listados no Apêndice D.

Tabela 16 – Parâmetros das distribuições Kappa e Medidas de Heterogeneidade

Região	N° de postos	N° de postos excluídos	N° de postos discordantes	Parâmetros da distribuição Kappa				H
				1	t^R	t_3^R	t_4^R	
1	15	3	1	0,9909	0,1055	0,0039	-0,8557	4,00
2	17	4	0	0,9855	0,1198	-0,7310	-1,0000	2,28
3	25	1	0	0,9612	0,1514	0,1561	-0,3159	2,73
4	27	12	0	0,9939	0,1149	-0,0324	-1,0000	2,43
5	29	5	0	0,9696	0,1271	0,0960	-0,4354	0,47
6	22	1	0	1,0189	0,1136	0,1000	-1,0000	-0,11
7	86	7	6	1,0024	0,1185	0,0125	-1,0000	0,23
8	93	8	7	0,9989	0,1100	-0,0062	-1,0000	0,09
9	98	12	2	0,9939	0,1162	-0,0320	-1,0000	0,27

H = Medida de Heterogeneidade

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Dentre as 9 regiões homogêneas identificadas, 5 foram classificadas como “aceitavelmente homogênea”, com $H < 1$, e 4 regiões como “definitivamente heterogênea”, com $H > 2$. Segundo Hosking e Wallis (1997), as regiões com $H \geq 2$ que contém mais que 20 indivíduos podem ser subdivididas para a melhoria das estimativas, uma vez que regiões compostas por mais de 20 postos tornam tal medida menos representativa. A relação dos postos identificados como discordantes, em que a variação dos quocientes amostrais foi maior que o valor crítico esperado pela média grupal de cada região, é apresentada na Tabela 17. Hosking e Wallis (1997), recomendam que tais postos sejam evitados durante o preenchimento de falhas.

Tabela 17 – Estações pluviométricas discordantes das regiões homogêneas

Região	Código	Município	Latitude	Longitude
1	1852003	Chapadão do Sul	-18,6917	-52,5939
	2050010	Valentim Gentil	-20,4000	-50,1167
7	2148065	Candido Rodrigues	-21,3167	-48,6167
	2148070	Catanduva	-21,0667	-48,9833
	2148088	Pindorama	-21,1833	-48,9167
	2148122	Taiuva	-21,1167	-48,4167
	2149061	Catanduva	-21,1167	-49,0000
	2051051	Andradina	-20,9167	-51,3833
8	2149054	Cafelândia	-21,6667	-49,4333
	2149098	José Bonifácio	-21,0739	-49,6661
	2150065	Birigui	-21,3000	-50,3333
	2150074	Glicério	-21,3833	-50,2167
	2150083	Glicério	-21,3833	-50,1667
	2151036	Mirandópolis	-21,1333	-51,1000
	2249079	Marília	-22,2167	-49,9500
9	2250050	Marília	-22,2667	-50,1500

Fonte: Elaboração do próprio autor.

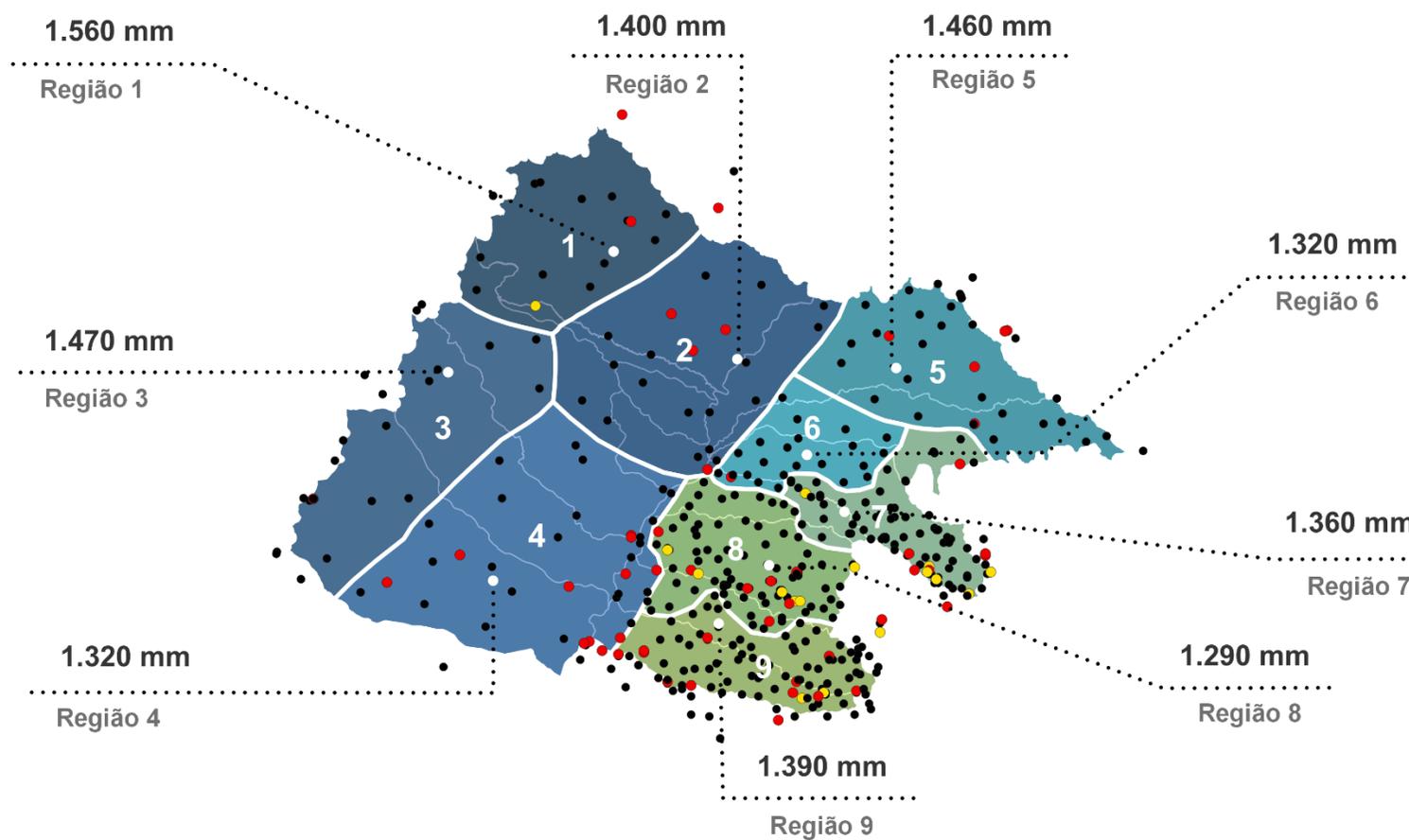
Embora as regiões 1, 2, 3 e 4 extrapolaram o limiar da medida de Heterogeneidade, pode-se considerar que elas apresentaram padrões similares de regime pluviométrico, visto que apenas 1 estação foi identificada como discordante na região 1. No total, foram removidos 53 postos (11,4%) da análise de consistência e identificados 16 postos discordantes (3,4%), dos quais 15 pertencem as regiões localizadas no estado de São Paulo (regiões 7, 8 e 9).

5.2.3 Delimitação final das regiões homogêneas

Na Figura 32, apresenta-se a delimitação final das regiões homogêneas de chuva após a aplicação do teste de homogeneidade, bem como a localização dos postos removidos e discordantes e médias anuais de 1990 a 2020 para cada região identificada. Conforme OMM (2008), o clima inclui a determinação de padrões normais, obtidos a partir de médias calculadas para períodos de pelo menos 30 anos.

A estimativa das médias totais anuais foi fundamentada a partir da análise de disponibilidade de dados, onde verificou-se que as últimas 3 décadas apresentaram uma queda exponencial na quantidade de informações disponíveis. Logo, o mesmo período (1990-2020) foi adotado para a posterior etapa de mapeamento da chuva, devido à necessidade de suprir a carência de informações pluviométricas na região.

Figura 32 – Regionalização da precipitação na região Alto Rio Paraná e médias totais anuais para o período de 1990 a 2020



Estações pluviométricas na Região do Alto Rio Paraná (465)

- Estações concordantes (396)
- Estações discordantes (16)
- Estações removidas (53)

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As regiões 4 (centro-sul), 6, 7, 8 e 9 (oeste), apresentaram uma maior similaridade no comportamento pluviométrico com médias totais anuais mais baixas, variando entre 1.290 mm (Região 8) e 1.390 mm (Região 9), com elevações médias de 390 m. Já as regiões 1, 2 (noroeste), 3 (sudoeste) e 5 (nordeste), apresentaram totais de chuva anuais de 1.400 mm (Região 2) a 1.560 mm (Região 1), com altitudes mais elevadas (média de 690 m), em conformidade com a topografia da região Alto Rio Paraná.

Em estudo realizado por Malfatti *et al.* (2018), foram identificadas 8 regiões homogêneas para toda a bacia hidrográfica do rio Paraná, das quais apenas 3 abrangiam parte da região Alto Rio Paraná, com uma concentração de postos na área analisada inferior a utilizada no presente estudo, induzindo a um agrupamento mais generalizado. A delimitação das regiões 1 e 2 identificadas na região Alto Rio Paraná, coincidiram parcialmente com a delimitação da Região 1 de Malfatti *et al.* (2018), enquanto a Região 5 enquadrou-se na Região 4 e as demais regiões 4, 6, 7, 8 e 9, integraram a Região 6, identificada como região mais seca, com menor variabilidade interanual e distribuição mais simétrica da chuva.

5.3 ANÁLISE E MAPEAMENTO DA PLUVIOSIDADE

A pluviosidade na região Alto Rio Paraná foi verificada para o período de 1990 a 2020 (31 anos) a partir de 408 estações pluviométricas, sendo 341 provenientes da análise de consistência, das quais 120 (35,2%) apresentaram falhas mensais que foram preenchidas com o apoio das regiões homogêneas, e 67 estações complementares, compostas por séries completas de tamanho variado, contíguas à área de estudo, de forma a assegurar a uniformidade dos mapas. As séries de totais anuais foram construídas para cada ano do período analisado, a fim de verificar o comportamento populacional dos dados para a posterior aplicação da geoestatística e construção dos mapas de chuva total anual e Índice de Porcentagem Normal (IPN).

5.3.1 Análise estatística descritiva dos totais pluviométricos

Na Tabela 18 é apresentada a análise estatística descritiva das chuvas totais anuais na região Alto Rio Paraná, efetuada a partir das séries disponíveis, devidamente preenchidas, para cada ano do período analisado (1990 a 2020).

Tabela 18 – Análise estatística descritiva das chuvas médias anuais na região Alto Rio Paraná

Medidas da Estatística Descritiva das chuvas totais anuais (mm)								
Ano ^(a)	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente		
			Min.	Máx.		Variação (%)	Curtose	Assimetria
1990 ⁽³⁵⁵⁾	1.303,17	1.314,60	433,08	2.366,64	222,46	17,07	3,66	0,32
1991 ⁽³⁵⁸⁾	1.365,07	1.363,26	686,16	2.225,40	250,73	18,37	0,10	0,22
1992 ⁽³⁶³⁾	1.461,29	1.422,96	702,00	2.757,36	266,00	18,20	1,92	0,84
1993 ⁽³⁷³⁾	1.331,15	1.314,48	515,04	2.003,76	217,83	16,36	1,10	-0,06
1994 ⁽³⁷⁷⁾	1.216,91	1.181,28	729,96	2.854,92	223,76	18,39	7,24	1,47
1995 ⁽³⁸³⁾	1.366,21	1.368,60	720,24	2.140,80	215,62	15,78	0,95	0,17
1996 ⁽³⁸⁷⁾	1.390,82	1.371,36	650,16	2.168,52	249,22	17,92	0,53	0,36
1997 ⁽³⁸⁷⁾	1.499,78	1.476,36	613,20	4.118,76	260,47	17,37	26,49	2,77
1998 ⁽³⁸⁷⁾	1.490,62	1.494,24	780,12	2.484,96	217,21	14,57	1,12	0,19
1999 ⁽³⁷⁴⁾	1.178,34	1.164,90	468,24	1.788,96	202,80	17,21	0,97	0,10
2000 ⁽³⁷²⁾	1.426,91	1.397,34	757,32	3.300,24	261,98	18,36	6,51	1,28
2001 ⁽²⁸⁸⁾	1.360,45	1.333,86	794,64	2.051,88	215,54	15,84	0,25	0,47
2002 ⁽²⁸⁶⁾	1.202,44	1.181,40	473,64	2.504,64	224,31	18,65	4,04	0,90
2003 ⁽²⁸⁷⁾	1.390,81	1.364,16	805,20	3.055,32	254,98	18,33	7,22	1,43
2004 ⁽²⁸⁵⁾	1.362,96	1.335,96	695,76	2.145,96	228,27	16,75	0,41	0,46
2005 ⁽²⁸⁷⁾	1.393,79	1.355,76	787,80	2.917,92	250,24	17,95	5,61	1,26
2006 ⁽²⁸⁷⁾	1.411,12	1.369,44	762,96	2.451,48	274,94	19,48	0,53	0,50
2007 ⁽²⁸⁷⁾	1.315,07	1.303,44	721,20	2.208,36	205,41	15,62	1,38	0,35
2008 ⁽²⁷⁸⁾	1.365,40	1.336,80	664,80	2.464,68	298,41	21,85	0,41	0,67
2009 ⁽²⁸⁵⁾	1.759,31	1.768,56	483,24	2.571,00	258,92	14,72	2,42	-0,54
2010 ⁽²⁸⁵⁾	1.283,10	1.260,00	324,24	2.278,92	232,57	18,13	1,73	0,14
2011 ⁽²⁸⁵⁾	1.453,54	1.442,76	433,44	3.167,04	249,72	17,18	8,54	0,88
2012 ⁽²⁸⁶⁾	1.370,06	1.364,40	369,84	2.684,88	240,08	17,52	3,66	0,44
2013 ⁽²⁸²⁾	1.390,90	1.389,72	388,80	2.396,52	260,29	18,71	1,31	-0,15
2014 ⁽²⁸⁴⁾	1.243,78	1.184,10	357,84	2.778,84	302,03	24,28	2,77	1,09
2015 ⁽¹⁹⁰⁾	1.499,25	1.496,04	568,20	2.382,84	297,53	19,85	0,57	0,25
2016 ⁽¹⁸⁷⁾	1.421,19	1.385,16	795,48	2.172,84	261,09	18,37	0,17	0,19
2017 ⁽¹⁸⁵⁾	1.512,07	1.490,16	616,44	2.348,16	263,23	17,41	1,06	0,06
2018 ⁽²²³⁾	1.315,15	1.269,36	272,40	2.966,64	334,27	25,42	2,68	0,79
2019 ⁽²¹⁶⁾	1.215,43	1.189,38	384,00	2.739,00	302,33	24,87	4,21	1,24
2020 ⁽¹²⁹⁾	1.298,51	1.283,16	564,60	2.722,44	302,19	23,27	3,67	0,92

a = Número de amostras (postos pluviométricos); Min.=Mínimo; Máx.=Máximo.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Conforme Tabela 18, o preenchimento de falhas das séries históricas e o incremento de estações pluviométricas adjacentes a área de estudo, possibilitou um aumento médio na disponibilidade de dados equivalente a 60,6 postos por ano, comparada a disponibilidade de informações das séries brutas, apresentada no item 5.1.1. Devido à ausência de medições e aos postos que se tornaram inoperantes, a disponibilidade de dados decaiu cerca de 23% (84 postos) em 2001, 34,8% (94

postos) em 2015, e 44,8% (87 postos) em 2020, com relação aos anos anteriores, apresentando o mesmo cenário de carência de informações observado anteriormente.

O valor médio da série variou entre 1.178,34 mm (1999) e 1.759,31 mm (2009), com médias próximas às registradas em áreas de clima tropical úmido seco do Brasil Central (MENDONÇA *et al.*, 2007) e à média anual da RH Paraná de 1.543 mm (ANA, 2015). Os períodos com totais abaixo de 1.300 mm foram os anos de 1999 (1.178,34 mm), 2002 (1.202,44 mm), 2019 (1.215,43 mm), 1994 (1.216,91 mm), 2014 (1.243,78 mm), 2010 (1.283,10 mm) e 2020 (1.298,51 mm), coincidindo com períodos críticos ao que concerne à questão hídrica (ANA, 2021a; MELO, 2017; ZAVATTINI, 2009).

Ainda na Tabela 18, segundo Pimentel-Gomes e Garcia (2002), 26 anos (83,87%) do período analisado apresentaram média variabilidade dos dados ($10\% < CV < 20\%$) e 5 anos (16,13%) alta variabilidade ($20\% < CV < 30\%$), indicando que a geoestatística será uma ferramenta útil para estimativa das chuvas.

Em determinados períodos foram observadas assimetrias positivas, sendo recomendada a transformação dos dados amostrais para a posterior análise geoestatística (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Porém, segundo Cressie (1991), a normalidade de dados é apenas uma característica desejável, que não restringe o emprego da geoestatística. Assim, tal transformação de dados será procedida apenas quando não for observada a confirmação da hipótese intrínseca na análise semivariográfica.

5.3.2 Análise geoestatística e mapeamento da chuva total anual

Conforme as medidas de ajuste dos semivariogramas, apresentadas na Tabela 19, verificou-se que a pluviometria na região Alto Rio Paraná apresentou dependência espacial para todo o período de 1990 a 2020. O modelo esférico foi o melhor ajuste para 14 dos 31 anos analisados, indicando um comportamento do alcance espacial intermediário/médio (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Já os modelos gaussiano e exponencial, geralmente responsáveis por alcances mais curtos e mais distantes, foram os melhores ajustes em 9 e 8 anos, respectivamente.

Todos os anos da série histórica foram ajustados utilizando-se mais que 93% dos dados, apresentando ajustes semivariográficos com coeficiente de determinação espacial (R^2) entre 0,848 e 0,992, além de alcances entre 112.800 m (1998) e 824.456 m (1995), conforme apresentado nos Apêndices E e F. Os períodos de menor alcance

(1998 e 2017) constituem eventos mais isolados, com aspecto espacial heterogêneo, ao contrário dos períodos de maior alcance observados em 1995, 1997 e 2008.

Tabela 19 – Medidas de ajuste dos semivariogramas

Ano _(a*)	Modelo	Co	Co+C	A(m)	R ²	SQR	ADE (%)	Validação cruzada		
								a	B	r
1990 ₍₃₃₀₎	gau	1,52x10 ⁴	6,50x10 ⁴	599.289	0,990	5,22x10 ⁷	76,6	171,44	0,868	0,44
1991 ₍₃₄₇₎	gau	1,92x10 ⁴	8,91x10 ⁴	478.046	0,986	1,67x10 ⁸	78,4	59,55	0,958	0,61
1992 ₍₃₅₄₎	gau	1,52x10 ⁴	1,15x10 ⁵	505.759	0,972	7,74x10 ⁸	86,8	115,04	0,920	0,63
1993 ₍₃₆₀₎	esf	1,37x10 ⁴	5,35x10 ⁴	424.000	0,982	5,16x10 ⁷	74,4	76,24	0,943	0,57
1994 ₍₃₆₉₎	gau	1,36x10 ⁴	7,94x10 ⁴	507.491	0,964	4,03x10 ⁸	82,9	69,36	0,942	0,59
1995 ₍₃₇₄₎	gau	1,62x10 ⁴	1,02x10 ⁵	824.456	0,876	3,59x10 ⁹	84,2	-8,69	1,008	0,54
1996 ₍₃₈₀₎	esf	1,26x10 ⁴	7,48x10 ⁴	415.000	0,936	4,69x10 ⁸	83,2	99,82	0,928	0,62
1997 ₍₃₇₄₎	gau	1,46x10 ⁴	9,78x10 ⁴	763.834	0,875	2,55x10 ⁹	85,1	-52,56	1,031	0,63
1998 ₍₃₇₇₎	exp	4,50x10 ³	3,98x10 ⁴	112.800	0,961	1,51x10 ⁷	88,7	374,98	0,747	0,46
1999 ₍₃₆₂₎	gau	1,81x10 ⁴	5,87x10 ⁴	677.232	0,964	1,78x10 ⁸	69,2	-120,92	1,101	0,59
2000 ₍₃₆₄₎	esf	1,72x10 ⁴	7,11x10 ⁴	533.000	0,983	1,04x10 ⁸	75,8	40,49	0,971	0,66
2001 ₍₂₈₂₎	esf	1,55x10 ⁴	5,07x10 ⁴	518.000	0,848	5,21x10 ⁸	69,4	40,51	0,970	0,60
2002 ₍₂₇₆₎	esf	9,10x10 ³	4,99x10 ⁴	408.000	0,979	5,99x10 ⁷	81,8	43,26	0,964	0,68
2003 ₍₂₈₁₎	exp	1,55x10 ⁴	7,90x10 ⁴	600.000	0,958	2,30x10 ⁸	80,4	135,83	0,902	0,59
2004 ₍₂₇₆₎	esf	9,60x10 ³	5,60x10 ⁴	524.000	0,992	2,97x10 ⁷	82,9	52,08	0,961	0,72
2005 ₍₂₇₉₎	esf	1,06x10 ⁴	6,97x10 ⁴	456.000	0,980	1,41x10 ⁸	84,8	104,58	0,925	0,65
2006 ₍₂₇₄₎	gau	1,67x10 ⁴	9,20x10 ⁴	471.118	0,969	3,93x10 ⁸	81,9	-3,14	1,001	0,80
2007 ₍₂₆₇₎	esf	1,29x10 ⁴	4,04x10 ⁴	377.000	0,980	2,15x10 ⁷	68,1	25,33	0,981	0,55
2008 ₍₂₇₀₎	esf	1,70x10 ³	1,41x10 ⁵	747.000	0,981	9,46x10 ⁸	98,8	92,59	0,932	0,78
2009 ₍₂₇₁₎	exp	1,77x10 ⁴	6,08x10 ⁴	450.000	0,937	1,41x10 ⁸	70,9	180,99	0,898	0,48
2010 ₍₂₇₂₎	exp	6,50x10 ³	6,22x10 ⁴	594.000	0,974	1,08x10 ⁸	89,5	137,57	0,893	0,60
2011 ₍₂₆₈₎	esf	1,24x10 ⁴	4,85x10 ⁴	471.000	0,962	1,03x10 ⁸	74,4	132,39	0,909	0,55
2012 ₍₂₇₂₎	exp	1,02x10 ⁴	4,75x10 ⁴	408.000	0,950	8,38x10 ⁷	78,5	10,90	0,991	0,63
2013 ₍₂₇₀₎	exp	7,60x10 ³	6,30x10 ⁴	339.000	0,977	7,72x10 ⁷	87,9	156,78	0,887	0,64
2014 ₍₂₆₉₎	gau	1,09x10 ⁴	1,45x10 ⁵	651.251	0,975	1,07x10 ⁹	92,5	-1,94	1,00	0,81
2015 ₍₁₇₇₎	esf	2,26x10 ⁴	9,24x10 ⁴	600.000	0,960	4,48x10 ⁸	75,5	93,33	0,936	0,65
2016 ₍₁₇₄₎	esf	2,00x10 ⁴	6,40x10 ⁴	489.000	0,930	3,21x10 ⁸	68,8	67,53	0,952	0,64
2017 ₍₁₇₄₎	exp	1,13x10 ⁴	4,74x10 ⁴	197.700	0,88	8,90x10 ⁷	76,2	120,81	0,920	0,57
2018 ₍₂₁₃₎	esf	1,21x10 ⁴	1,11x10 ⁵	596.000	0,963	8,36x10 ⁸	89,1	150,85	0,885	0,69
2019 ₍₂₀₆₎	esf	2,57x10 ⁴	8,79x10 ⁴	553.000	0,955	3,68x10 ⁸	70,8	93,42	0,921	0,56
2020 ₍₁₂₀₎	exp	1,23x10 ⁴	6,98x10 ⁴	423.000	0,900	4,46x10 ⁸	82,4	27,62	0,977	0,65

a*=número de postos utilizados (todos os períodos foram processados com > 30 pares no primeiro lag); esf=esférico; exp=exponencial; gau=gaussiano; Co=efeito pepita; C=variância; Co+C=patamar; A=alcance; R²=coeficiente de determinação espacial; SQR=soma dos quadrados dos desvios; ADE=avaliador da dependência espacial; a=y intercept; B=Coefficiente de regressão; r=coeficiente de correlação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em estudo realizado por Caram (2007), a análise geoestatística das chuvas anuais no estado de Minas Gerais apresentou melhores ajustes utilizando-se o modelo esférico, com alcances variando entre 189.600 m e 1.040.000 m. Para o

estado de São Paulo, Carvalho, Assad e Pinto (2012), apontaram o modelo esférico como melhor ajuste para a interpolação da precipitação anual e alcance de 45.000 m, considerando a média de 1957 a 1997.

Na identificação de regiões pluviométricas homogêneas para a bacia hidrográfica do rio Paraná, Malfatti *et al.* (2018), aplicou a krigagem ordinária para estimar dados de chuva durante o período de 1980 a 2010, obtendo boa acurácia para os modelos teóricos esférico e gaussiano, além de menores valores de erros e maior dependência espacial para o modelo exponencial. A região central, área onde insere-se a região Alto Rio Paraná, apresentou maiores valores de erro médio padrão em função da menor disponibilidade de dados pluviométricos.

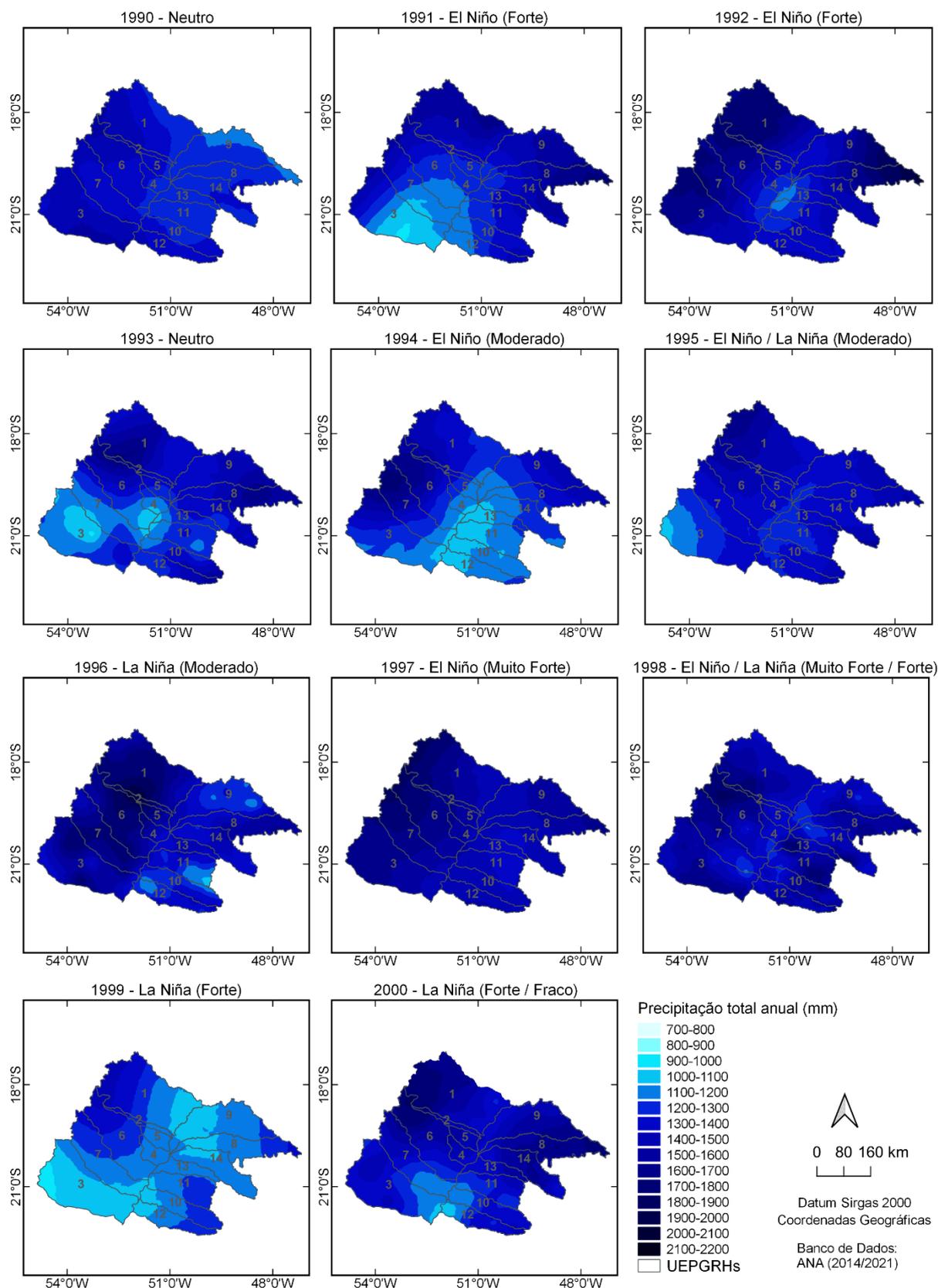
Conforme Tabela 19, o Avaliador de Dependência Espacial (ADE) indicou, segundo classificação de Zimback (2001), alta dependência espacial (>75%) em 23 dos 31 anos analisados e uma moderada dependência espacial nos outros 8 anos (>25% e $\leq 75\%$), enquanto a Validação Cruzada (VC) apresentou coeficiente de correlação (r) entre 0,44 e 0,81. Segundo Debastiani *et al.* (2018), a validação cruzada tem como finalidade atestar que os modelos determinados não estão integralmente incorretos e não constatar o modelo mais correto, sendo recomendado o confronto entre os valores reais e estimados para uma melhor verificação (LANDIM, 2006).

Em síntese, os parâmetros dos ajustes semivariográficos, expostos na Tabela 16, indicaram que as estimativas realizadas por krigagem ordinária atendem aos princípios da geoestatística e resultaram em apreciáveis mapas de distribuição das chuvas totais anuais na região Alto Rio Paraná. Tais mapas são apresentados nas Figuras 33, 34 e 35, para os 31 anos de análise e média de longo prazo (1990 a 2020), conjuntamente com a indicação das fases de ocorrência do ENOS e suas respectivas intensidades classificadas conforme o grau do Índice Oceânico Niño (ION).

Conforme mapas apresentados, considerando todo o período de análise (1990 a 2020) as chuvas anuais variaram entre 700 mm e 2.200 mm ao longo dos anos, apresentando maiores volumes de precipitação na região norte do Alto Rio Paraná, especificamente à oeste das UEPGRHs 1 e 2 e leste da UEPGRH 8, com maior regularidade que nas demais regiões, além de áreas de menor pluviosidade, por vezes, sobre o curso do rio Paraná (divisa entre o estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul).

Na Tabela 20 e Figura 36 são apresentadas a quantificação das áreas (km²) e seus respectivos percentuais de cada intervalo de chuva total anual em cada ano do período analisado e média normal (1990 a 2020).

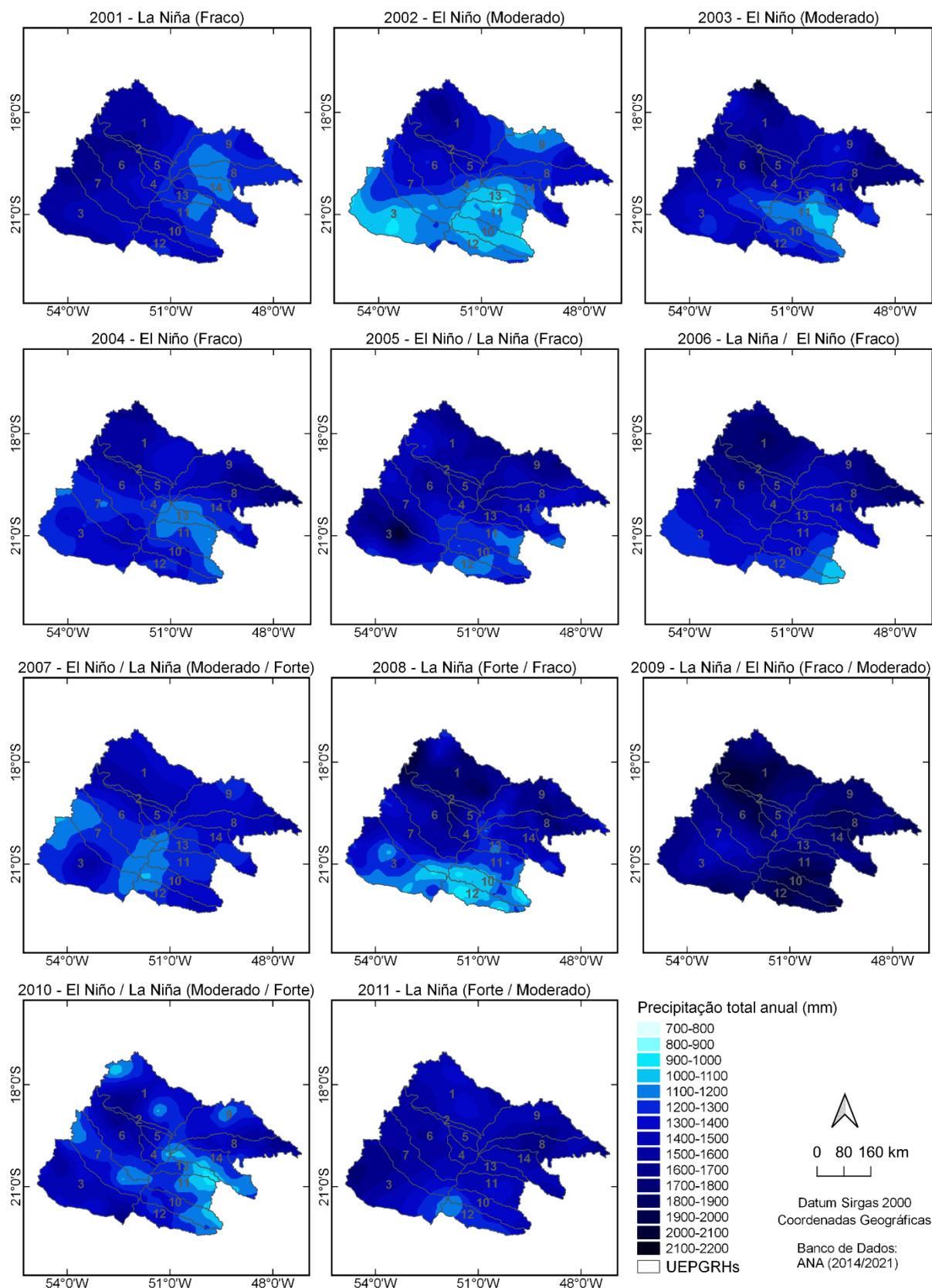
Figura 33 – Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2000



1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

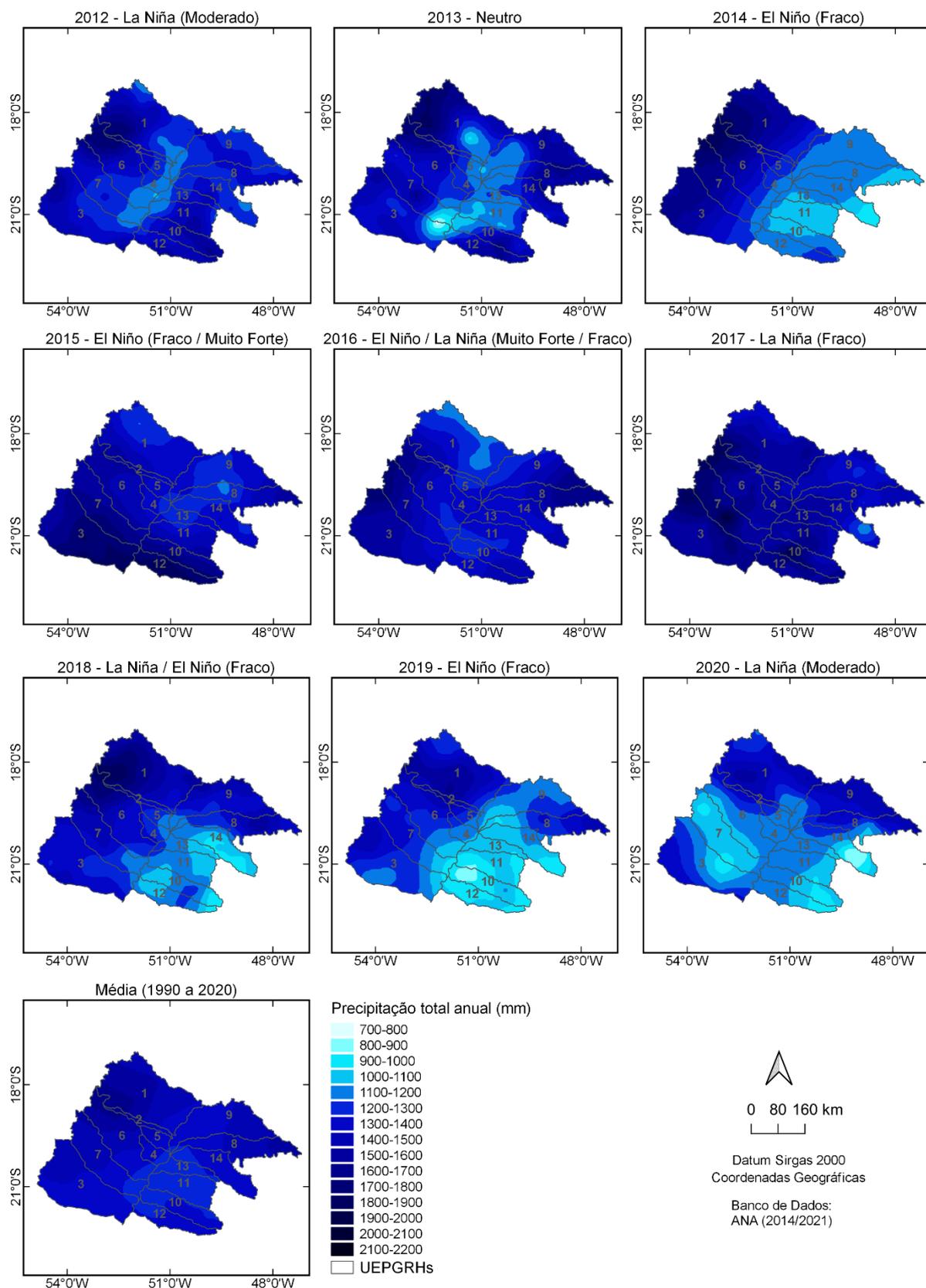
Figura 34 – Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 2001 a 2011



1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 35 – Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 2012 a 2020



1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

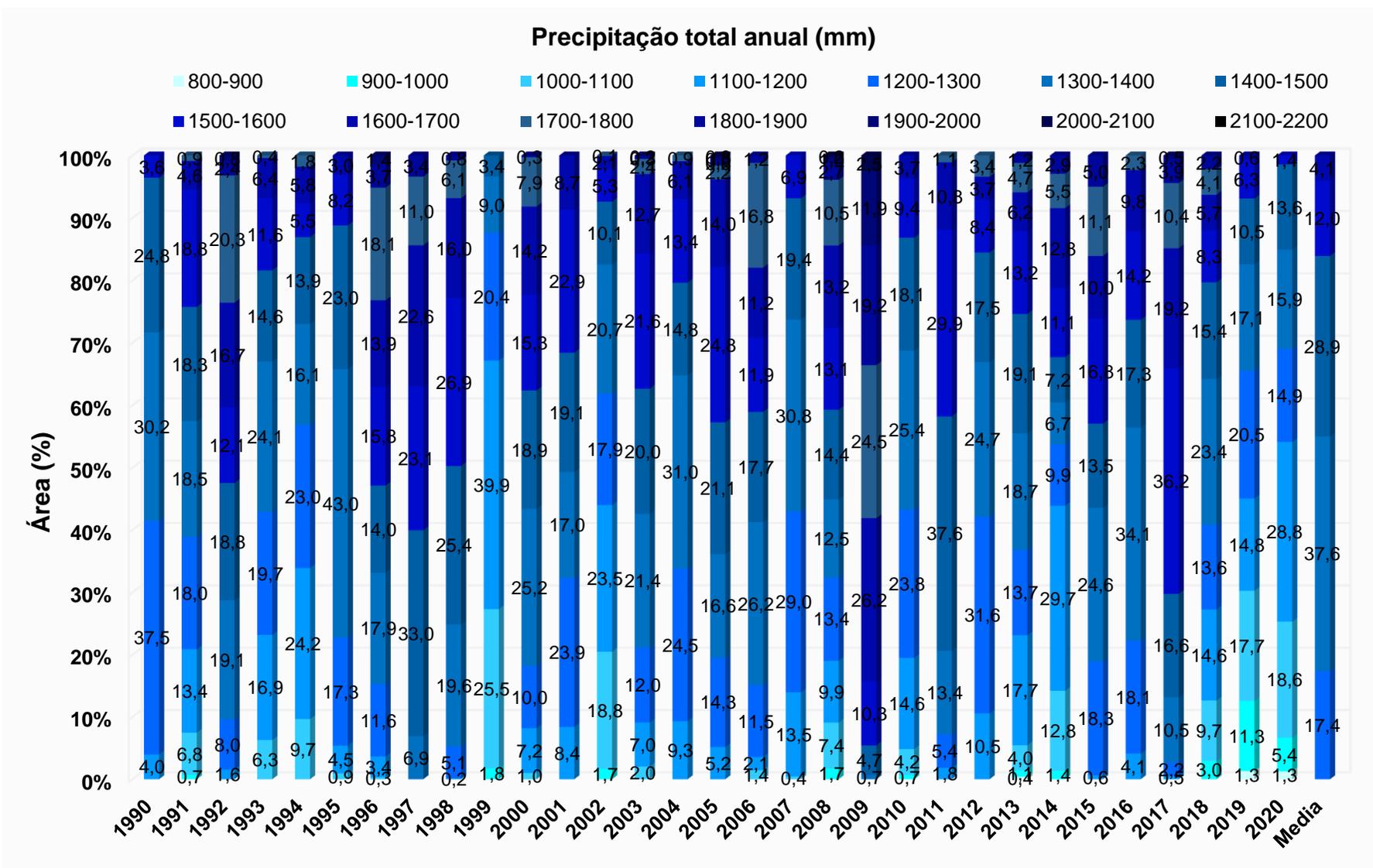
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 20 – Áreas abrangidas por intervalos de precipitação total anual na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020

Ano	Intervalos de precipitação total anual (mm)														
	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	1700-1800	1800-1900	1900-2000	2000-2100	2100-2200
Área (km ²)															
1990	0	0	0	0	10.075	94.925	76.550	62.725	9.050	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	1.800	17.100	33.925	45.725	46.975	46.325	47.575	11.675	2.225	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	3.975	20.275	48.375	47.600	30.625	42.425	51.550	6.150	1.975	375	0
1993	0	0	325	15.900	42.700	49.875	61.025	36.900	29.375	16.200	1.025	0	0	0	0
1994	0	0	0	24.450	61.350	58.250	40.850	35.300	13.850	14.725	4.550	0	0	0	0
1995	0	0	0	2.375	11.275	43.950	109.000	58.325	20.675	7.725	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	725	8.525	29.400	45.300	35.400	40.075	35.100	45.750	9.475	3.575	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	17.525	83.675	58.450	57.200	27.900	8.575	0	0	0
1998	0	0	0	0	400	12.875	49.675	64.350	68.125	40.550	15.350	2.000	0	0	0
1999	0	0	4.450	64.675	100.975	51.800	22.925	8.500	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	2.525	18.200	25.275	63.925	48.000	38.825	35.850	20.025	700	0	0	0
2001	0	0	0	0	21.250	60.575	43.050	48.400	58.100	21.950	0	0	0	0	0
2002	0	0	4.250	47.575	59.600	45.275	52.375	25.525	13.300	5.250	175	0	0	0	0
2003	0	0	25	5.150	17.850	30.400	54.300	50.625	54.725	32.200	6.100	850	575	350	175
2004	0	0	0	100	23.575	61.950	78.575	37.475	33.875	15.450	2.325	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	13.075	36.275	42.050	53.500	62.925	35.575	5.675	2.050	1.325	650	225
2006	0	0	0	3.650	5.400	29.125	66.350	44.725	30.075	28.425	42.575	3.000	0	0	0
2007	0	0	0	1.100	34.200	73.475	77.925	49.200	17.375	50	0	0	0	0	0
2008	0	0	4.350	18.650	25.150	33.825	31.775	36.375	33.100	33.550	26.625	6.825	2.575	525	0
2009	0	0	0	0	0	0	1.700	12.000	26.050	66.350	62.125	48.650	30.200	6.250	0
2010	0	0	1.700	10.550	37.050	60.400	64.425	45.825	23.925	9.450	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	4.625	13.725	33.900	95.175	75.775	27.325	2.800	0	0	0	0
2012	0	0	0	325	26.725	79.975	62.525	44.450	21.300	9.400	8.625	0	0	0	0
2013	175	1.000	2.675	10.100	44.725	34.600	47.425	48.350	33.500	15.800	11.950	3.025	0	0	0
2014	0	0	3.475	32.475	75.175	25.000	17.050	18.275	28.100	32.400	13.975	7.400	0	0	0
2015	0	0	0	0	1.575	46.275	62.375	34.175	42.625	25.350	28.100	12.675	175	0	0
2016	0	0	0	0	10.400	45.950	86.500	43.700	36.050	24.775	5.875	75	0	0	0
2017	0	0	0	50	1.275	5.450	26.550	42.000	91.625	48.600	26.450	9.850	1.350	125	0
2018	0	0	7.475	24.525	36.950	34.375	59.325	39.125	21.100	14.450	10.400	5.550	50	0	0
2019	0	3.325	28.550	44.725	37.500	51.825	43.250	26.650	16.050	1.450	0	0	0	0	0
2020	25	3.225	13.625	47.200	73.000	37.800	40.300	34.550	3.600	0	0	0	0	0	0
Média	0	0	0	0	0	43.975	95.325	73.250	30.500	10.275	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 36 – Percentuais da área da região Alto Rio Paraná por intervalo de precipitação total anual de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Conforme Figura 36, o valor anual médio para a região Alto Rio Paraná, considerando a média normal (1990 a 2020), equivale a 1.400 mm. As intensidades médias de chuva ao longo da bacia dividiram-se em 5 áreas de intervalos de chuva variando entre 1.200 mm e 1.700 mm. A área de menor pluviometria (1.200 – 1.300 mm) corresponde a 17,4% da área total e abrange o leito do rio Paraná e parte das UEPGRHs do estado de São Paulo (10, 11, 12, 13 e 14). Já as áreas de maior volume de chuva (1.500 – 1.700 mm) foram identificadas sobre a parcela oeste/noroeste das UEPGRHs 1, 2 e 6, além da área leste da UEPGRH 8, totalizando 16,1% da área total.

Em comparação a média normal (1.400 mm), foi identificado 2009 como o ano mais chuvoso da série histórica com precipitação média anual equivalente a 1.740 mm (24,28% acima da média registrada). Neste período, em 58,1% da região Alto Rio Paraná choveu acima do intervalo médio registrado (1.200 mm – 1.700 mm), em especial nas UEPGRHs localizadas na região noroeste (1 e 2) e sudeste (10 e 12). Em 1997 e 2017 os totais anuais registrados foram de 1.560 mm, ambos com chuva 11,4% acima da média, com grande contribuição das unidades localizadas na área oeste da região Alto Rio Paraná (UEPGRHs de Goiás e Mato Grosso do Sul).

Como ano mais seco do período analisado, identificou-se o ano de 1999 com precipitação 16,43% abaixo da média de longo prazo e total anual de 1.170 mm. Neste ano crítico as chuvas se concentraram apenas nas regiões noroeste das UEPGRHs 1, 2, 6 e 7 e a leste das unidades 8, 9, 10, 11 e 12, mantendo 67,1% da área da região Alto Rio Paraná abaixo dos valores de chuva média (1.200 mm a 1.700 mm).

Destacam-se também como períodos críticos os anos de 2002 com chuva total anual de 1.250 mm (44% da área com chuva inferior à média), atingindo principalmente as UEPGRHs localizadas ao sul/sudeste da região Alto Rio Paraná, e o ano de 2014 (1.340 mm) apenas nas sub-bacias localizadas a leste da área de estudo (Minas Gerais e São Paulo), totalizando 43,9% de área com valores de chuva abaixo da média esperada, enquanto que nas demais UEPGRHs da região oeste (Goiás e Mato Grosso do Sul) as chuvas em 2014 se concentraram nos limites mais elevados da média, compensando a falta de precipitação observada na porção leste, portanto não sendo considerado um ano crítico para toda a região Alto Rio Paraná.

Outro aspecto observado é a evolução das áreas de menores faixas de chuva (800 a 1.000 mm) nos últimos 2 anos (Figura 36), responsáveis por ocasionar uma queda gradual na chuva total anual, referente a 12,86% em 2019 (1.220 mm) e 13,57% em 2020 (1.210 mm) em relação à média normal, onde 45% e 54,1% da área,

respectivamente, manteve-se com índices anuais inferiores à média por dois anos consecutivos. Do ponto de vista espacial os anos de 2019 e 2020 foram os mais críticos dos últimos 31 anos, caracterizados pela abrangência dos intervalos de chuva (800 a 1.000 mm) nunca observada, afetando principalmente as UEPGRHs 10 e 14.

Os períodos com chuva total anual abaixo da média normal, coincidem com cenários de seca histórica, como os eventos de 1999/2002, 2013/2014 e 2019/atual, destacados por Melo (2017) e ANA (2021a), ocorrendo regularmente sobre as UEPGRHs localizadas nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Desta forma, foi observada uma redução na quantidade de precipitação que entra nos sistemas de vazão nos últimos anos, impactando os diversos setores dos recursos hídricos.

5.3.2.1 Influência do El Niño – Oscilação Sul nos índices de chuvas anuais

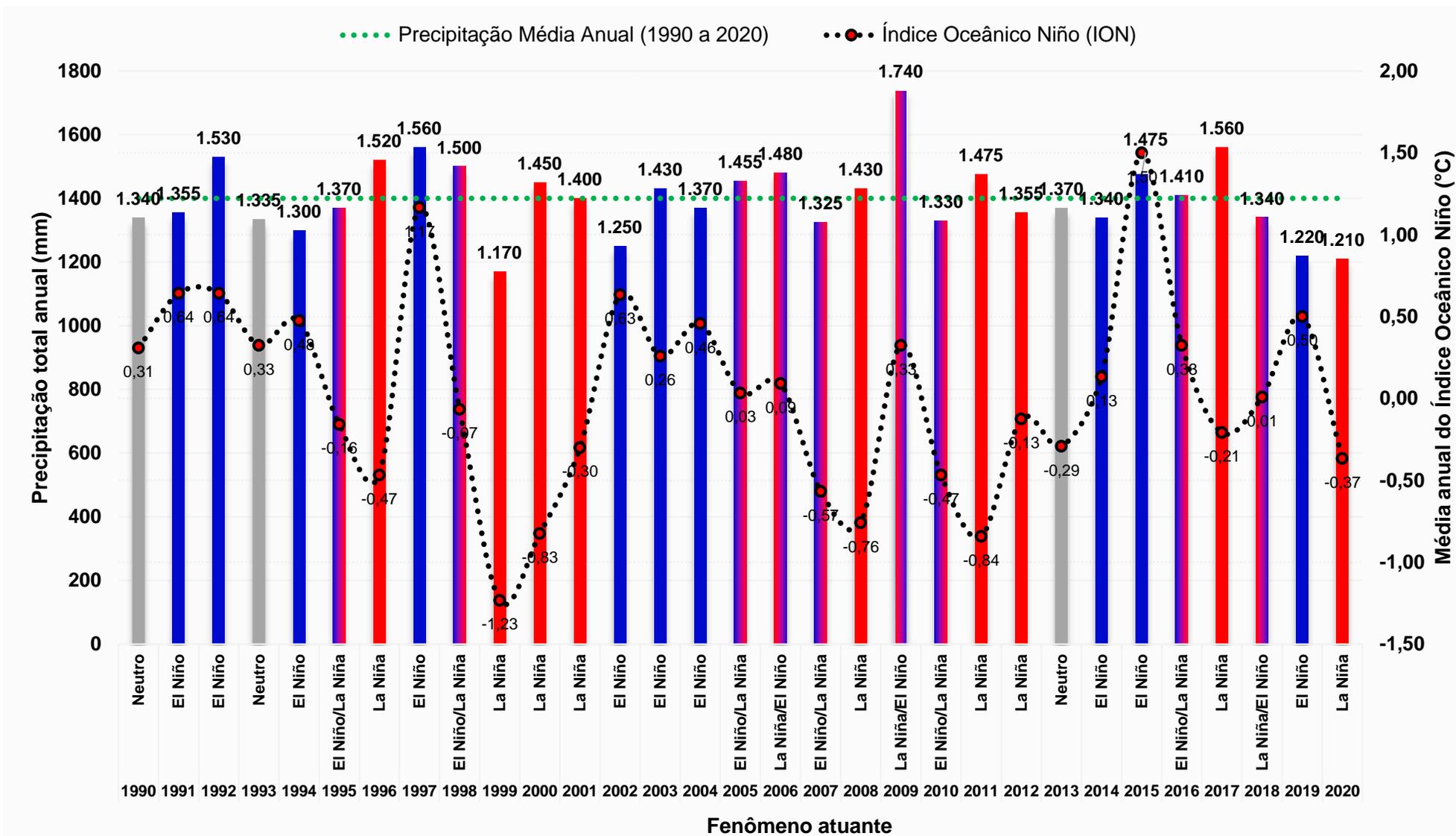
A fim de investigar a influência do ENOS nos índices pluviométricos da região, suas fases de ocorrência e Índice Oceânico Niño (ION), bem como as médias anuais e normal de 1990 a 2020 são apresentadas na Figura 37.

Os anos com os maiores índices de chuva observados na série histórica, a saber 1997, 2009 e 2017, ocorreram em anos de El Niño (Muito Forte), transição de La Niña para El Niño (Moderado) e La Niña (Frac), respectivamente. Já nos anos críticos com totais médios abaixo de 1.300 mm (1999, 2002, 2019 e 2020) foi observada a ocorrência de La Niña (Forte e Moderada) nos 2 períodos mais críticos (1999 e 2020) e El Niño (Moderado e Fraco) nos outros dois (2002 e 2019).

O evento La Niña vem sendo relacionado a estiagens no país e ao prolongamento do período seco na região sudeste, ocasionando redução das chuvas na bacia do rio Paraná como um todo (ALMEIDA, 2014; AZEVEDO, 2021; MINUZZI *et al.*, 2006), como no presente estudo, não foi analisado os dados mensais, que melhor caracterizariam os períodos secos, esta interação não pode ser observada.

Desta forma, embora a extensão da série histórica não permitir a confirmação de tendências, presumiu-se que o aquecimento do Pacífico (El Niño), em suas escalas mais intensas, tende a ocasionar o aumento das chuvas na região Alto Rio Paraná, de forma oposta à fase fria (La Niña), que hipoteticamente corroborou com a queda nos índices pluviométricos.

Figura 37 – Precipitação total anual na região Alto Rio Paraná e fases do El Niño – Oscilação Sul de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor

5.3.2.2 Caracterização da pluviosidade nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná e variabilidade interdecenal

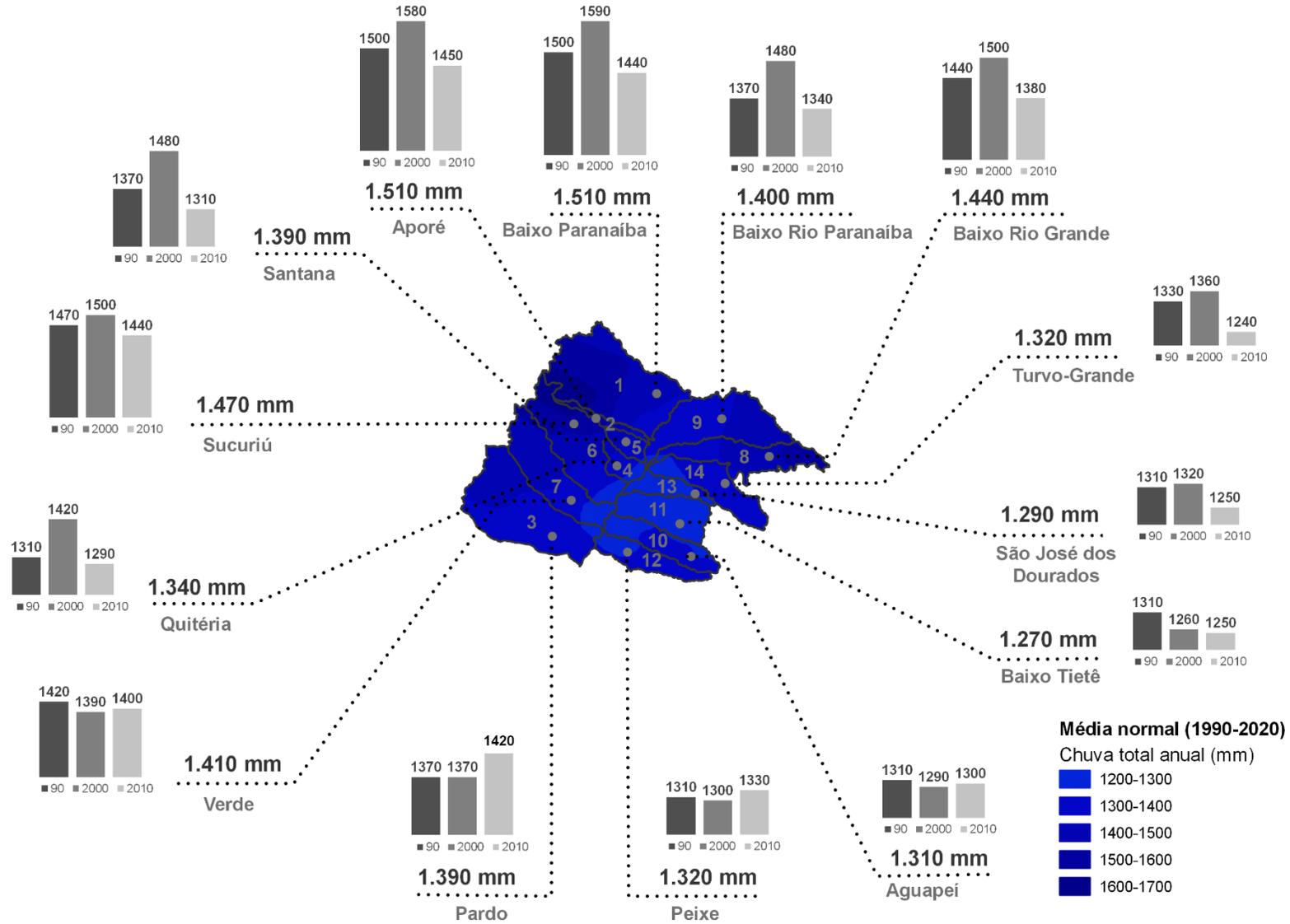
A fim de verificar o comportamento das chuvas nas UEPGRHs que compõem a região Alto Rio Paraná, as chuvas nas unidades hídricas para a média de longo prazo (1990 a 2020), bem como a variação de seus índices pluviométricos ao longo das décadas da série histórica, foram quantificadas a partir do mapeamento dos totais anuais apresentados nas Figuras 33, 34 e 35. Logo, na Figura 38 são apresentadas as médias normais de total anual para cada UEPGRH com seus respectivos gráficos de variação das médias de chuva (mm) para os decênios de 90, 2000 e 2010 (inclusive o ano de 2020).

Conforme Figura 38, considerando a precipitação média normal dos últimos 31 anos (1990 a 2020), as UEPGRHs 1 (Baixo Paranaíba) e 2 (Aporé) apresentaram maior pluviosidade que as demais sub-bacias, ambas totalizando 1.510 mm de chuva total anual. Tais valores condizem com a precipitação média anual estimada por Cardoso *et al.* (2014) para o estado de Goiás, referente a 1.500 mm.

Mato Grosso do Sul foi o estado em que as UEPGRHs apresentaram maior variação de chuva anual (1.340 mm a 1.510 mm). Zavattini (2009), caracterizou as chuvas no estado do Mato Grosso do Sul e identificou diferentes áreas pluviométricas no eixo do Alto Paraná, onde as regiões de Paranaíba (leste da UEPGRH 5) e Três Lagoas (leste da UEPGRH 7) apresentaram uma semelhança rítmica das chuvas com índices menos expressivos (média de 1.400 mm) e tendência decrescente, enquanto a região abrangida pelo Planalto Divisor (oeste das UEPGRHs 3, 6 e 7) as chuvas máximas atingiram entre 1.700 mm e 2.000 mm, condizendo com as áreas de menor e maior pluviosidade delimitadas pelas faixas de chuva anual para a média de longo prazo de 1.300 - 1.400 mm e 1.400 - 1.600 mm, respectivamente.

As UEPGRHs de São Paulo apresentaram os piores índices pluviométricos de média normal, variando entre 1.270 mm (Baixo Tietê) e 1.320 mm (Peixe), seguidas pelas UEPGRHs de Mato Grosso do Sul, 4 (Quitéria – 1.340 mm) e 5 (Santana – 1.390 mm), adjacentes a cabeceira do rio Paraná, e 3 (Pardo – 1.390 mm) situada na parte inferior da região ARP. Os valores estimados para as UEPGRHs paulistas encontram-se no limiar de chuva determinado por Nery *et al.* (2004) para a região oeste/noroeste de São Paulo (1.270 - 1.352 mm), Wolf (2013), com chuvas entre 1.023 e 1305 mm e Marcuzzo (2016) para a mesma área (1.360 mm).

Figura 38 – Precipitação total anual da média normal nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná e médias decenais de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Já as UEPGRHs 8 (Baixo Rio Grande) e 9 (Baixo Rio Paranaíba) apresentaram valores médios de pluviometria anual equivalentes a 1.400 mm e 1.440 mm, coincidindo com os valores quantificados por Santos e Ferreira (2016), os quais estimaram totais anuais inferiores a 1.450 mm para o pontal do Triângulo Mineiro e valores de transição para a região central variando entre 1.400 mm e 1.600 mm, assim como as faixas de precipitação identificadas pela média normal para a região leste das referidas UEPGRHs.

Apesar das séries temporais dos estudos supracitados apresentarem tamanhos variados, foi identificada uma coerência significativa das isolinhas de precipitação e as faixas de valores médios de totais anuais identificadas para a região Alto Rio Paraná. Logo, embora a área do Brasil Central que engloba o nordeste do Mato Grosso do Sul, sul de Goiás, Triângulo Mineiro e Noroeste Paulista, seja caracterizada por Zavattini (2009) como uma região de comportamento sazonal semelhante (baixos índices de chuva no outono/inverno e altos índices na primavera/verão), a região Alto Rio Paraná apresentou diferenças discretas, porém perceptíveis no comportamento da pluviosidade anual.

Com relação a variação das chuvas totais anuais para os decênios de 90, 2000 e 2010 (inclusive o ano de 2020), observou-se que na década de 90 a maioria das UEPGRHs (13 de 14) apresentaram valores próximos da média de longo prazo (variação de $\pm 2,5\%$), com exceção da unidade 11 (Baixo Tietê), cujo total anual foi superior às demais décadas e à média normal (+ 3,1%).

Na década de 2000 totalizaram-se as maiores médias pluviométricas dos decênios, onde 7 UEPGRHs apresentaram índice de chuva média anual próximo a média normal (variação de $\pm 2,5\%$) e as unidades vizinhas e acima da cabeceira do Rio Paraná, 5 (Santana), 4 (Quitéria), 9 (Baixo Rio Paranaíba), 1 (Baixo Paranaíba), 2 (Aporé), 8 (Baixo Rio Grande) e 14 (Turvo-Grande), apresentaram chuvas anuais superiores à média de longo prazo, com variações de + 6,5%, + 6,0%, + 5,7%, + 5,3%, +4,6%, + 4,2 % e + 3,8%, respectivamente.

Por último, durante os anos de 2010 a 2020, o cenário de variações positivas das chuvas médias anuais da década de 2000 se inverte, engendrando um quadro de queda nos índices pluviométricos das mesmas UEPGRHs supracitadas, em que a sub-bacia 14 (Turvo-Grande) apresentou variação de - 6,1%, 5 (Santana) de - 5,8%, 1 (Baixo Paranaíba) de - 4,6%, 9 (Baixo Rio Paranaíba) de - 4,3%, 8 (Baixo Rio Grande) de - 4,2%, 2 (Aporé) de - 4,0% e 4 (Quitéria) de - 3,7%, estendendo-se para

a unidade 13 (São José dos Dourados) com diferença de $-3,1\%$ em relação à média normal. As demais UEPGRHs apresentaram variação de chuva de $\pm 2,5\%$.

Apenas as UEPGRHs 3 (Pardo) e 12 (Peixe), unidades limítrofes localizadas na parte mais baixa da região Alto Rio Paraná, apresentaram variações de totais anuais de chuva positivas no decênio de 2010 ($+ 2,2\%$ e $+ 0,8\%$), mesmo apresentando queda de índice pluviométrico nas décadas anteriores.

Isto posto, embora a baixada da região Alto Rio Paraná, que abrange parte do Mato Grosso do Sul (UEPGRH Verde e Pardo) e São Paulo (UEPGRH Aguapeí, Baixo Tietê e Peixe), corriqueiramente apresente índices de chuva mais baixos que as demais áreas (ZAVATTINI, 2009), notou-se a partir das médias decenais uma possível tendência de diminuição de chuva mais acentuada nas UEPGRHs localizadas próximas à cabeceira do rio Paraná, principalmente na região nordeste da área de estudo, atingindo principalmente o noroeste paulista e o pontal do triângulo Mineiro.

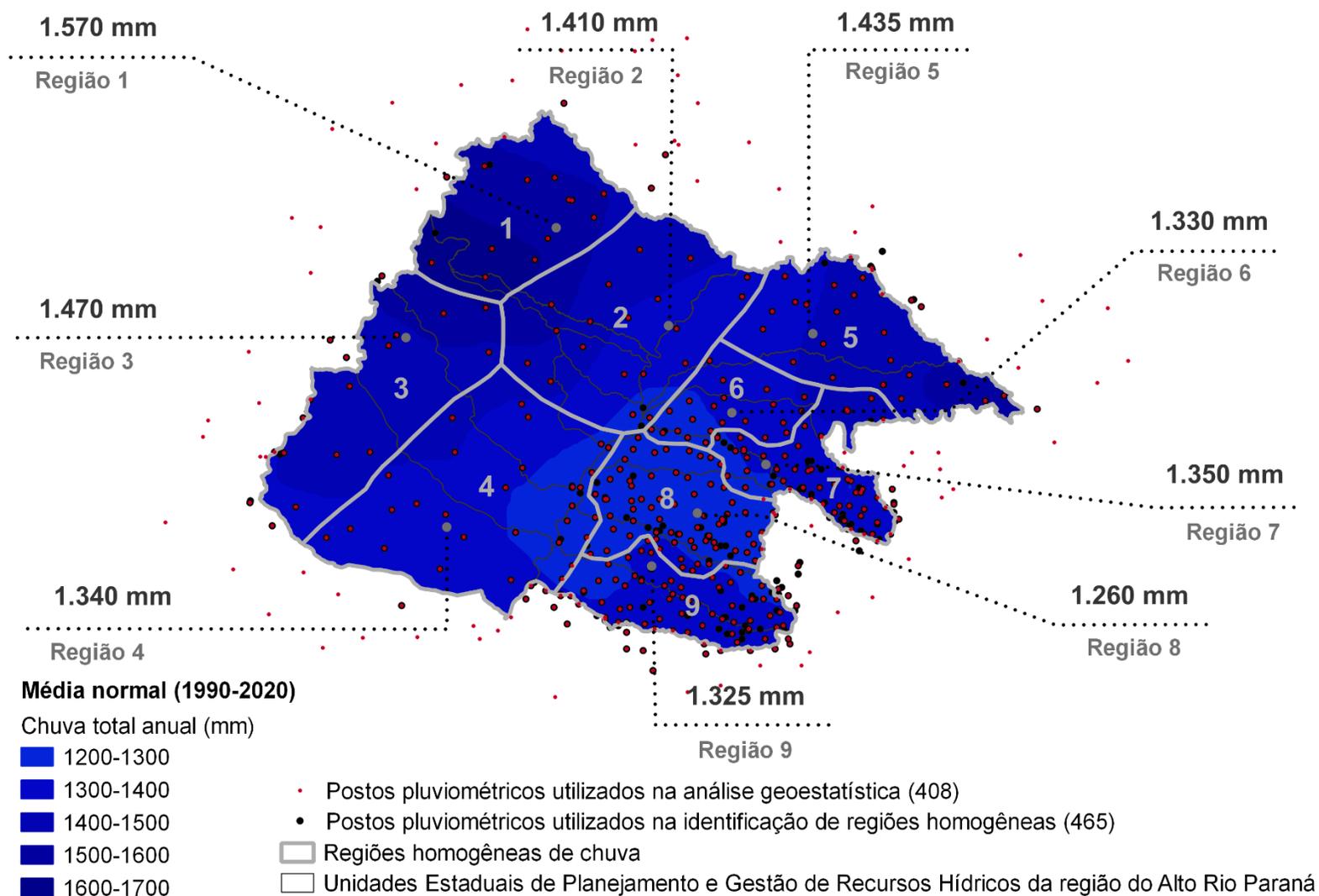
5.3.2.3 Caracterização da pluviosidade nas regiões homogêneas de chuva

Uma vez que a distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados na identificação das regiões homogêneas de chuva se deu de forma irregular, a geoestatística auxiliou na inferência de valores em locais não amostrados, possibilitando uma estimativa mais precisa das médias normais em cada região.

Assim, levando-se em consideração que os estudos hidroclimáticos não devem respeitar rigorosamente as fronteiras político-administrativas das UEPGRHs, uma nova quantificação dos índices pluviométricos anuais nas regiões homogêneas do Alto Rio Paraná é apresentada na Figura 39, a fim de se caracterizar as áreas com comportamento pluviométrico semelhantes.

Conforme análise de disponibilidade de dados (temporal e espacial), a inconsistência da rede pluviométrica na região Alto Rio Paraná, prejudicou a adoção de um período homogêneo comum para a identificação de regiões homogêneas, que variou entre 1941 e 2020, como também a determinação de um período de análise maior que 31 anos (1990 a 2020) na aplicação da geoestatística para estimativa de dados em locais não amostrados.

Figura 39 – Precipitação total anual da média normal nas regiões homogêneas da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em comparação com as médias obtidas com base nos dados pontuais dos postos pluviométricos, as diferenças dos totais anuais das regiões homogêneas na região Alto Rio Paraná obtidos por krigagem ordinária, variaram entre -20 mm e 65 mm. As regiões 1, 2 e 6 sofreram redução de -10 mm em seus valores médios totais, enquanto a região 4 variou -20 mm. Na região 3 não houve variação nos totais anuais estimados. Já as regiões que sofreram aumento nos índices pluviométricos foram as regiões 7, 5, 8 e 9, com acréscimo de 10, 25, 30 e 65 mm em seus totais, respectivamente. No geral, as regiões mais secas e mais chuvosas mantiveram-se as mesmas, apesar da variação em seus totais pluviométricos.

Embora a baixa densidade da rede de postos pluviométricos na maior parte da região Alto Rio Paraná (UEPGRHs de 1 a 9) não permita uma estimativa mais detalhada das isolinhas geradas como para as chuvas na região sudeste, foi possível perceber uma relação entre a distribuição da pluviosidade e a altimetria da bacia, marcadas por índices mais baixos na baixada do Alto Paraná (região sul) e maiores nos extremos das unidades hídricas localizadas em Goiás e Minas Gerais.

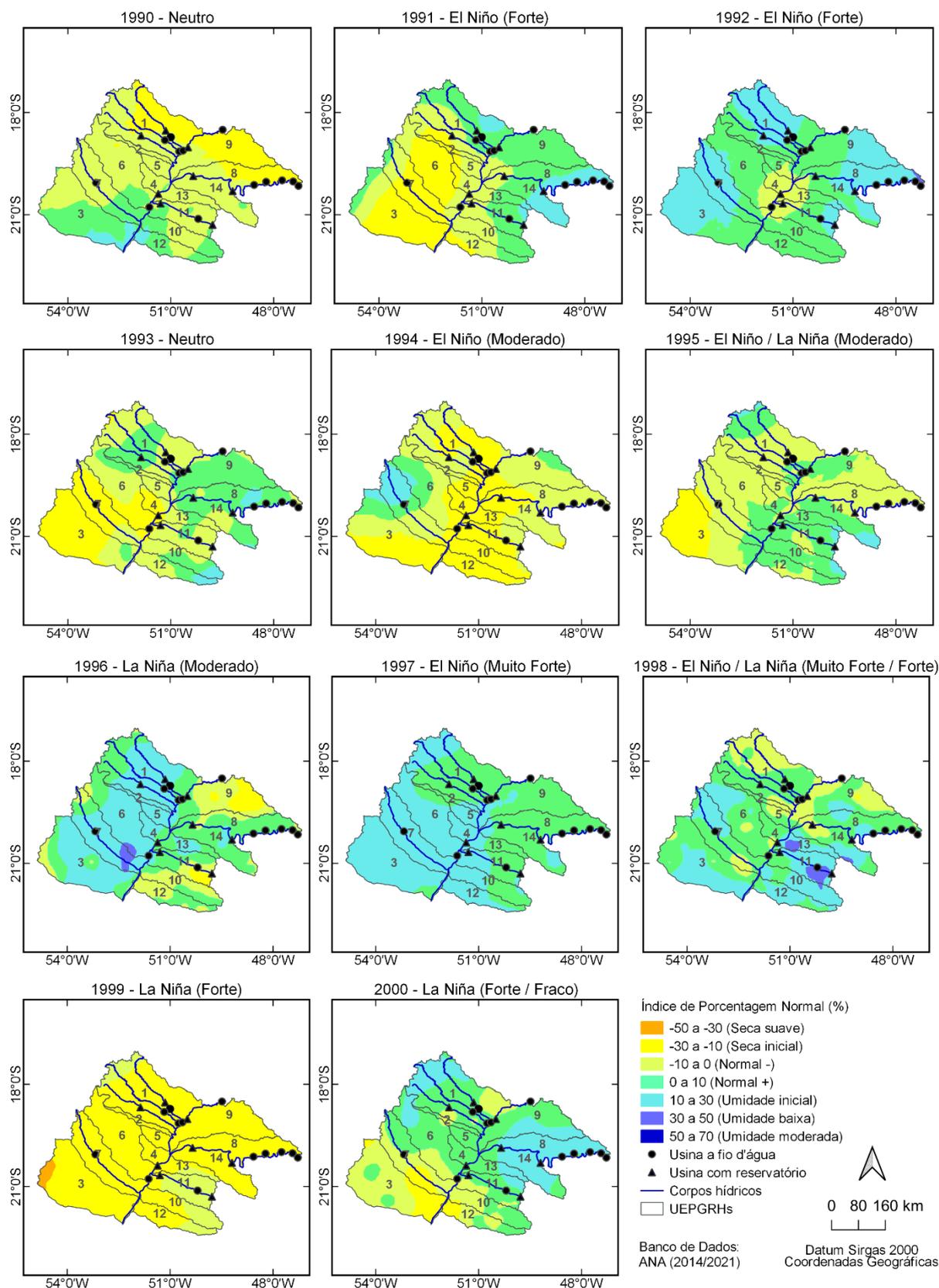
Conforme Zavattini (2009), a rede de postos pluviométricos em Mato Grosso do Sul, estado da região Alto Rio Paraná com maior incidência de unidades hídricas com densidade de postos “insuficiente” (UEPGRHs 2, 4 e 7), apresenta limitações, tanto no que se refere à existência de lacunas nas séries temporais quanto à sua distribuição espacial, reduzindo o detalhamento das áreas homogêneas de chuva. Tal cenário se estende para as UEPGRHs 1, localizada em Goiás (rede insuficiente), 8 e 9, situadas em Minas Gerais (redes pouco abrangentes).

Apesar disso, Zavattini (2009), enfatiza que as variações das chuvas locais dentro de um contexto regional devem ser enxergadas como respostas de diversos fatores naturais, como a altitude e relevo das bacias hidrográficas, além de interações ocasionadas por sistemas atmosféricos, temperatura e anomalias climáticas, para que se possa de fato obter uma melhor acurácia nas inferências sobre as chuvas.

5.3.3 Mapeamento do Índice de Porcentagem Normal (IPN)

Os mapas de Índice de Porcentagem Normal (IPN) são apresentados nas Figuras 40, 41 e 42. Além da intensidade de ocorrência do ENOS, são apresentadas as localizações das Usinas Hidrelétricas (UHEs) que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN).

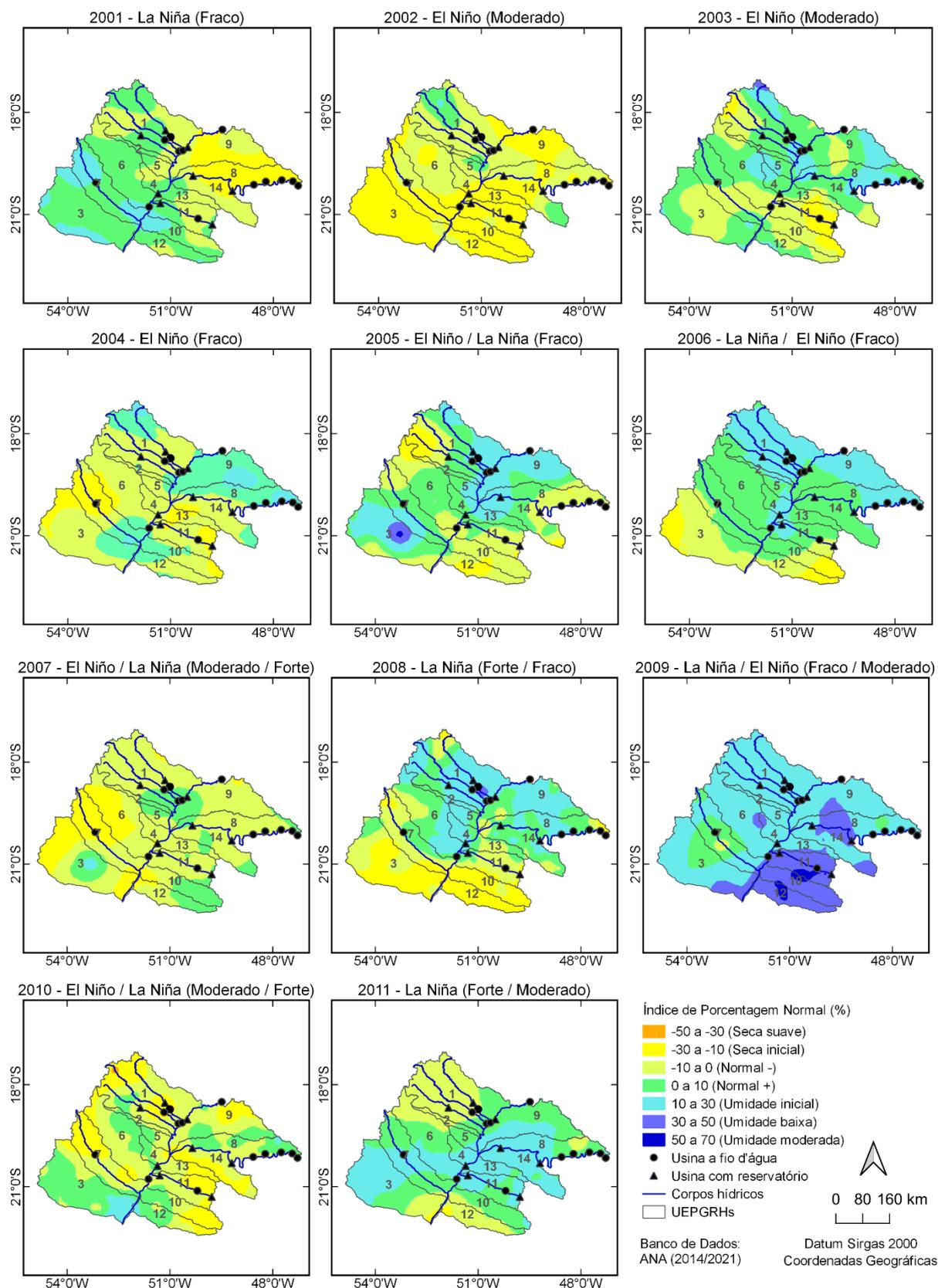
Figura 40 – Índice IPN na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2000 e UHEs do SIN



1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

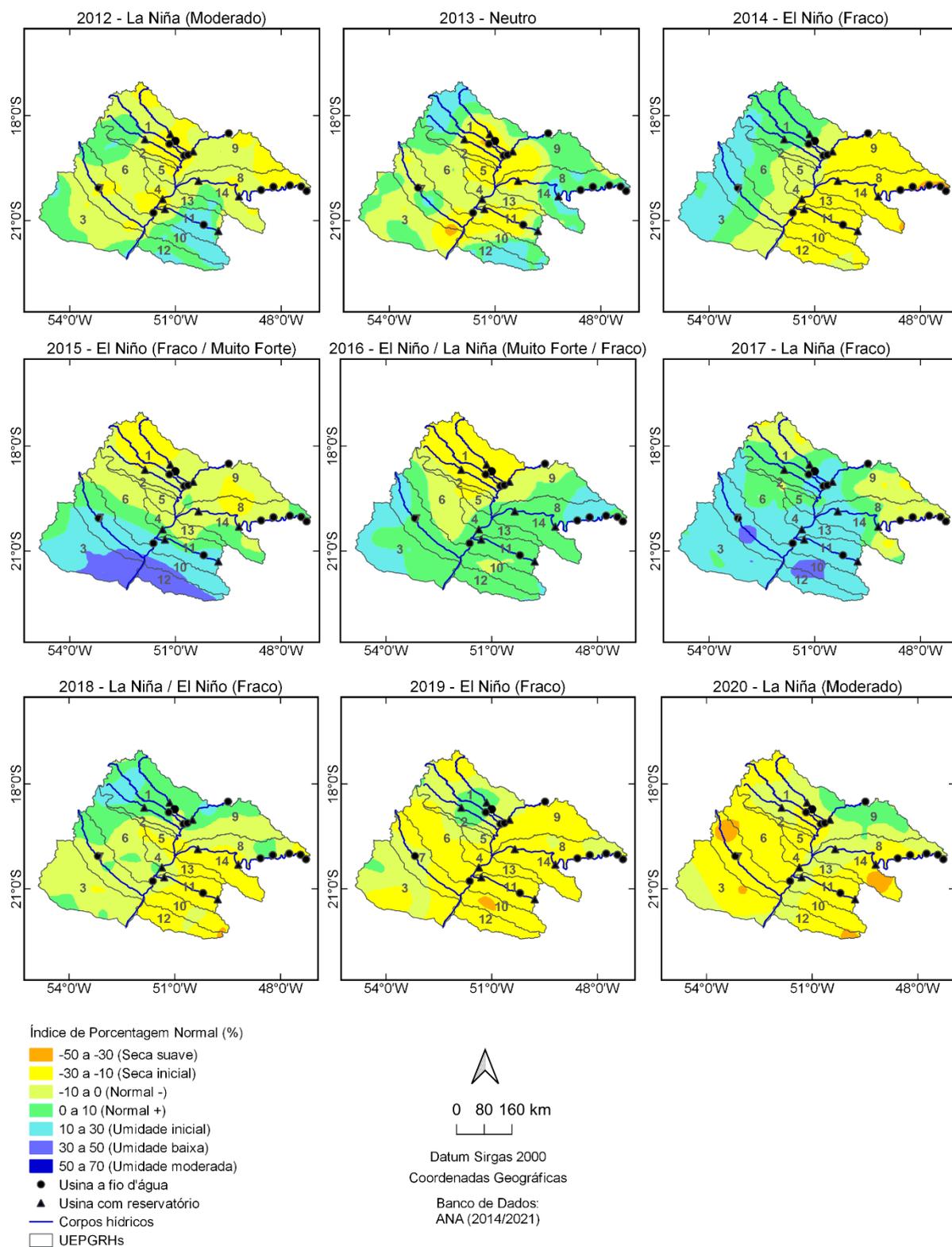
Figura 41 – Índice IPN na região Alto Rio Paraná de 2001 a 2011 e UHEs do SIN



1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 42 – Índice IPN na região Alto Rio Paraná de 2012 a 2020 e UHEs do SIN



1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

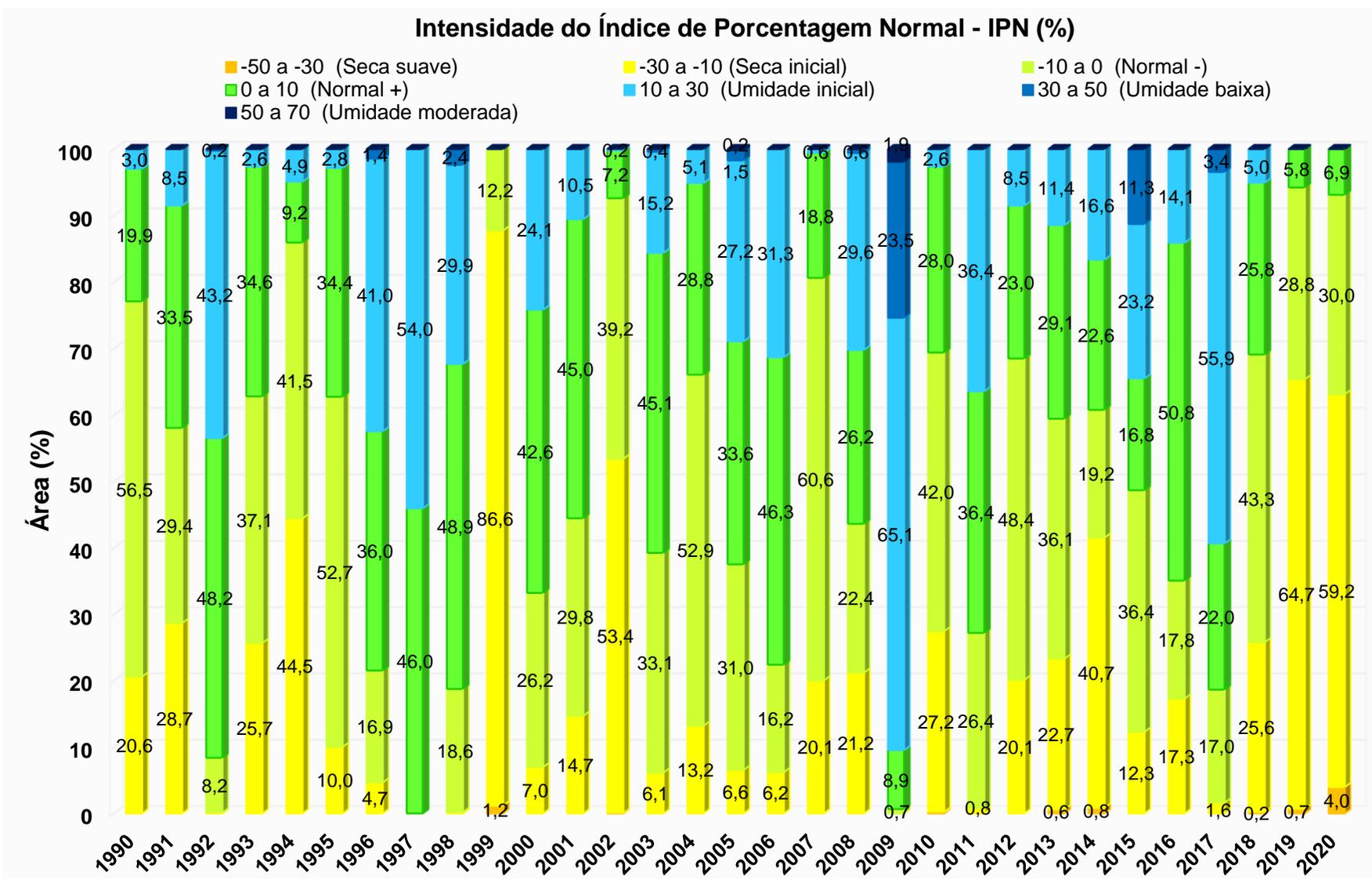
A quantificação das áreas (km²) abrangidas por cada classe de intensidade do índice IPN na região Alto Rio Paraná e seus respectivos percentuais para cada ano do período analisado (1990 a 2020) são apresentados na Tabela 21 e Figura 43, na devida ordem.

Tabela 21 – Quantificação das áreas por intensidade do Índice de Porcentagem Normal na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020

Ano	Intensidade do Índice de Porcentagem Normal - IPN (%)						
	-50 a -30	-30 a -9	-10 a 0	1 a 10	10 a 30	30 a 50	50 a 70
	(Seca suave)	(Seca inicial)	(Normal -)	(Normal +)	(Umidade inicial)	(Umidade baixa)	(Umidade moderada)
Área (km ²)							
1990	0	52.250	143.100	50.475	7.500	0	0
1991	0	72.700	74.425	84.750	21.450	0	0
1992	0	325	20.875	122.000	109.550	575	0
1993	0	65.075	94.050	87.575	6.625	0	0
1994	0	112.650	105.100	23.225	12.350	0	0
1995	0	25.375	133.600	87.200	7.150	0	0
1996	0	11.800	42.750	91.300	103.850	3.625	0
1997	0	0	0	116.475	136.850	0	0
1998	0	475	47.050	124.000	75.825	5.975	0
1999	3.000	219.350	30.975	0	0	0	0
2000	0	17.700	66.475	108.025	61.125	0	0
2001	0	37.275	75.400	113.975	26.675	0	0
2002	100	135.275	99.250	18.250	450	0	0
2003	0	15.575	83.900	114.350	38.525	975	0
2004	0	33.475	133.925	73.025	12.900	0	0
2005	0	16.650	78.425	85.050	68.925	3.850	425
2006	0	15.750	41.000	117.300	79.275	0	0
2007	0	50.800	153.475	47.625	1.425	0	0
2008	0	53.775	56.775	66.275	75.050	1.450	0
2009	0	0	1.650	22.500	164.925	59.500	4.750
2010	550	69.000	106.275	70.825	6.675	0	0
2011	0	2.100	66.800	92.200	92.225	0	0
2012	0	51.025	122.550	58.250	21.500	0	0
2013	1.500	57.600	91.525	73.800	28.900	0	0
2014	2.150	103.175	48.700	57.225	42.075	0	0
2015	0	31.150	92.200	42.650	58.800	28.525	0
2016	0	43.825	45.050	128.800	35.650	0	0
2017	0	4.150	43.100	55.825	141.550	8.700	0
2018	575	64.775	109.725	65.475	12.775	0	0
2019	1.750	163.925	73.050	14.600	0	0	0
2020	10.025	149.975	75.925	17.400	0	0	0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 43 – Percentuais das áreas do Alto Rio Paraná por intensidade do Índice de Porcentagem Normal de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com mapas de IPN apresentados, no decorrer dos 31 anos analisados observou-se uma maior incidência de seca inicial à suave nas unidades hídricas localizadas em Mato Grosso do Sul, especialmente na UEPGRH 3 (Pardo), e São Paulo, em particular nas UEPGRHs 10 (Aguapeí), 11 (Baixo Tietê) e 12 (Peixe). Menores valores de desvios negativos de precipitação ocorreram nas extremidades das UEPGRHs de Minas Gerais (8 e 9) e Goiás (1), respectivamente, resultando em intensidades de IPN mais próximas da média normal.

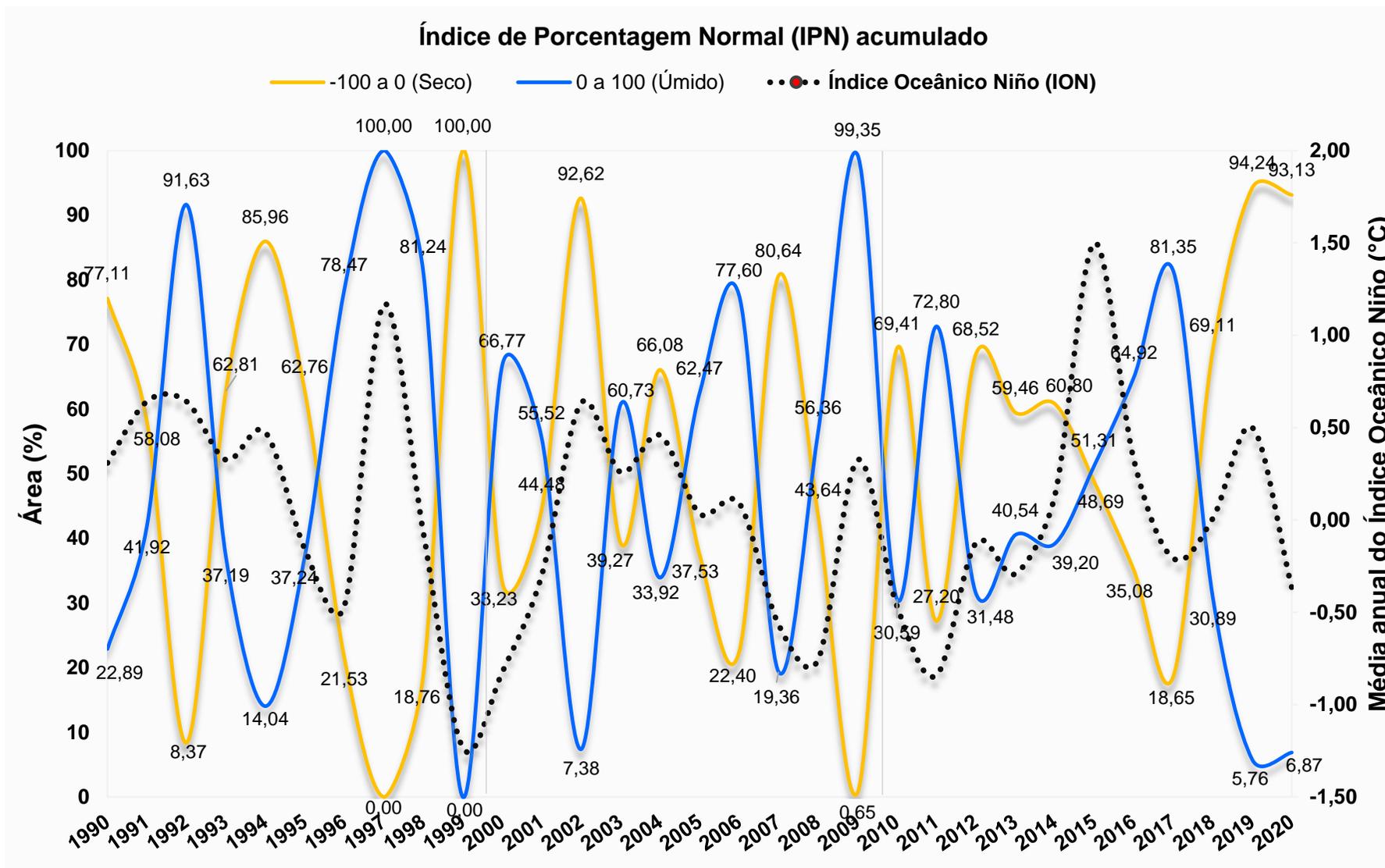
Segundo Figura 43, em conformidade com o mapeamento das chuvas anuais, 2009 foi identificado como ano mais chuvoso (1.740 mm), com ocorrência de umidade inicial à moderada (desvio >10 a 70%) em 90,5% da região Alto Rio Paraná, caracterizado por um período de transição de La Niña fraco para El Niño moderado. Os demais períodos com maior umidade em mais de 50% da área de estudo foram apenas os anos de 1997 (54,02%) e 2017 (59,31%) com ocorrência de umidade inicial à baixa (desvio > 10 a 50%), nas regiões centro-oeste e centro-sul do Alto Rio Paraná.

Com relação aos eventos de seca, 1999 (período de La Niña Forte) foi identificado como ano mais seco da série histórica, com ocorrência de seca inicial (-10 a -30%) nas 14 UEPGRHs, acometendo as unidades 1, 10, 11, 12 e 13 de forma parcial, além de seca suave (-30 a -50%) a sudoeste da unidade 3, atingindo 87,8% da região Alto Rio Paraná e um total de chuva anual equivalente a 1.170 mm.

Após 1999, os períodos com abrangência de seca maior que 50% da região Alto Rio Paraná, foram os anos de 2019 e 2020, quando, respectivamente, 65,4% e 63,16% da região apresentou seca de intensidade inicial a suave, seguido por 2002 com 53,44%. Em 2020, embora a área afetada pela seca tenha sido ligeiramente menor que em 2019 (-2,24%), a superfície acometida pela seca suave (4%), de maior intensidade que a seca inicial, foi superior ao ano anterior (0,7%), resultando em um menor índice pluviométrico (1.210 mm) conforme mapas de chuva total anual.

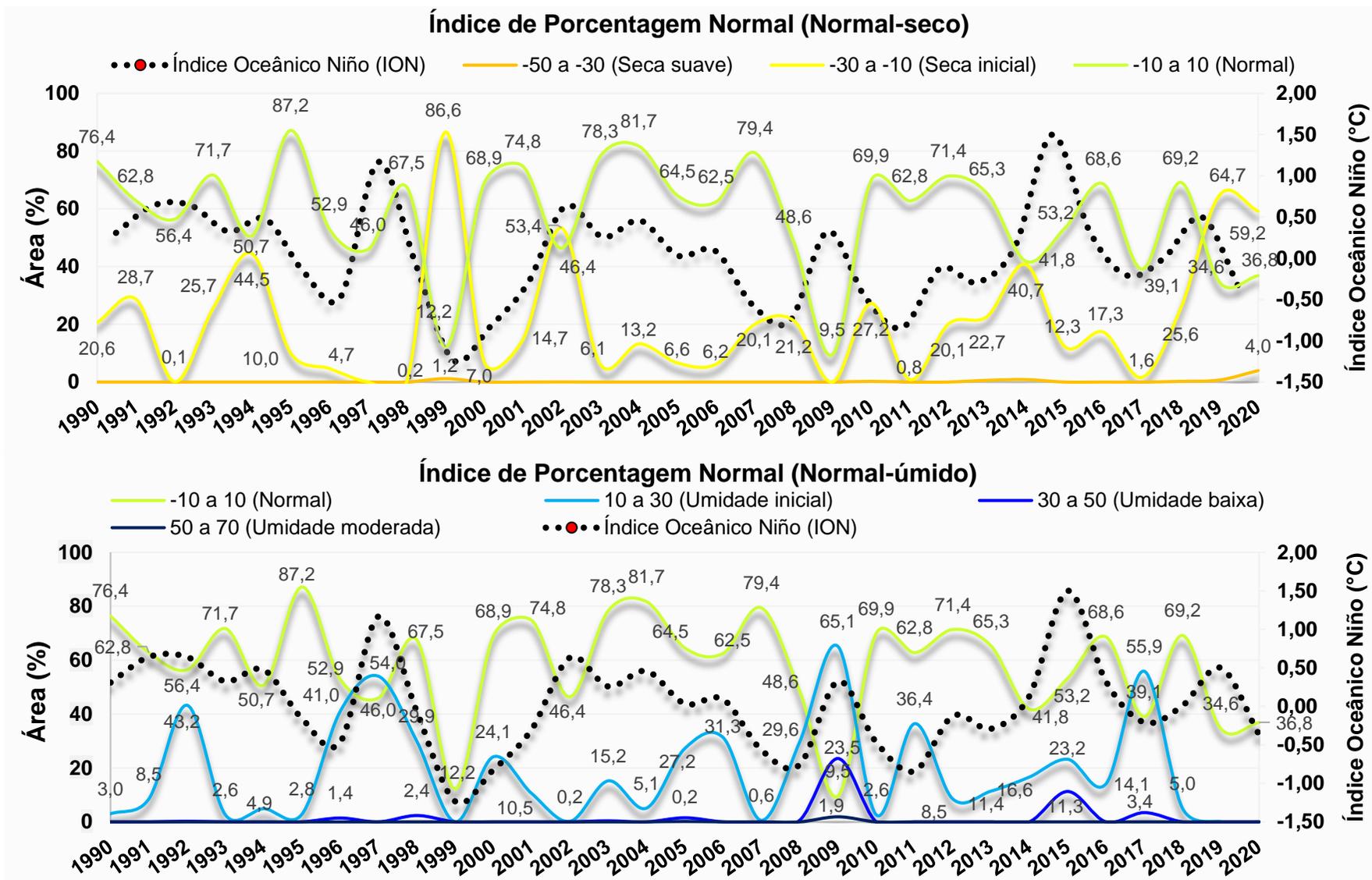
As curvas dos percentuais secos e úmidos acumulados, normal-seco (0 a -100) e normal-úmido (0 a 100), do índice IPN são apresentadas na Figura 44, em conjunto com a variação anual do Índice Oceânico Niño (ION). Na Figura 45 a mesma oscilação é apresentada para as classes normal, seca inicial a suave e umidade inicial a moderada, a fim de averiguar se há sensibilidade do índice aos eventos do ENSO durante 1990 a 2020.

Figura 44 – Variação dos percentuais de área acumulada do IPN na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 45 – Percentuais de área acumulada normal-seco/úmido do IPN na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Conforme Figura 44, foi verificado que na década de 2010 houve uma mudança no comportamento dos índices IPN na região Alto Rio Paraná, caracterizada por uma maior persistência na ocorrência de desvios negativos, que alteraram o padrão de comportamento das curvas acumuladas. Notadamente, os períodos de seca de 2019 e 2020, ambos com somatória de desvios negativos superior a 90% da área, retrataram um agravamento na abrangência das secas na região Alto Rio Paraná. O mesmo limiar foi atingido durante os anos de 1999 e 2002, já determinados como anos críticos anteriormente.

Do mesmo modo, a ocorrência de umidade positiva acumulada em mais de 90% da região Alto Rio Paraná, indicou 1992, 1997 e 2009 como anos mais chuvosos. No entanto, com base na Figura 44, no ano de 1992 o percentual de 90% é composto por 56,4% de área com umidade normal (-10 a 10%) e apenas 43,2% de umidade inicial (10 a 30%). Logo, embora a chuva em 1992 (1.530 mm) tenha excedido a média normal (1.400 mm), seu índice pluviométrico se manteve abaixo do total precipitado em 2017 (1.560 mm) com umidade acumulada em 81,35% da área.

Desta forma, a análise das classes de IPN de forma isolada, conforme Figura 45, possibilitou uma leitura mais assertiva do comportamento das secas/chuvas na região Alto Rio Paraná e sua relação com a ocorrência do ENOS e suas variações de intensidade. Isto posto, segundo os gráficos de variações do IPN (normal-seco e normal-úmido), quando as classes seca inicial (-30 a -10%) e umidade inicial (10 a 30%), atingiram pelo menos 50% da área analisada, os anos identificados coincidiram com períodos de crise hídrica e alta umidade, respectivamente.

Apesar da falta de um padrão definido e da ausência de um período mais longo para a confirmação de tendências, tanto o índice IPN, quanto o ION, se mostraram capazes de auxiliar nas inferências do comportamento das chuvas anuais. De forma geral, a variação do Índice Oceânico Niño aparenta influenciar nas secas e chuvas anuais da região Alto Rio Paraná, ora na similaridade de períodos com maiores índices de chuva (1997 e 2015), coincidindo com maiores intensidade de El Niño (ION médio anual $> 1^{\circ}\text{C}$) e ora em anos de pluviometria abaixo da média normal (1999, 2012 e 2020) com ocorrência de La Niña.

Segundo Lima (2016), diferentes índices de seca (dentre eles o IPN) são bastantes eficientes utilizando-se a escala anual. Assim, Gois (2009), interpolou índices de seca para o estado de Minas Gerais e constatou um comportamento espaço-temporal similar para o índice de Precipitação Padronizada (SPI), Índice de

Porcentagem Normal (IPN) e Método dos Decis (MD), sendo o IPN o método que identificou o maior número de eventos de seca, em partes devido a adaptação dos limites das classes empregadas na caracterização da severidade das secas. Em estudo realizado por Salehnia *et al.* (2017), os mesmos índices foram altamente correlacionados ($R^2 = 0,99$), sendo considerados capazes de rastrear a intensidade das secas de forma eficiente e similar em uma bacia do Irã.

Ainda com base na Figura 44, a década de 2010 foi identificada como decênio mais seco da série histórica com alta ocorrência de La Niña e média de desvios negativos em 55,1% da região Alto Rio Paraná (58,6% considerando o ano de 2020), contra 49,53% e 46,06% nas décadas de 90 e 2000, respectivamente, com contribuição em especial da região Sudeste do país.

Na última década a maioria dos estudos de seca realizados na região Sudeste do Brasil se concentraram nos eventos de 2013/2014 (COELHO *et al.*, 2016; JARDIM, 2015; MARENGO *et al.*, 2015; MARENGO; ALVES, 2016; BRAGA; MOLION, 2018), cujos resultados já indicavam um cenário de diminuição de chuvas, também relatado pelas projeções do IPCC e INPE (MARENGO; ALVES, 2016), indicando a ocorrência de secas mais severas e duradouras para os anos posteriores, que se concretizaram durante os eventos de 2019 e 2020.

Em confronto com os mapas de chuvas anuais, onde notou-se um declínio mais acentuado no volume de precipitação na região Alto Rio Paraná a partir de 2018, foi observado na Figura 42, que a progressão das secas se deu a partir da região Noroeste Paulista em direção às unidades hídricas dos demais estados, conforme mapa de 2019, acometendo, posteriormente, em maior grau as unidades do Mato Grosso do Sul e São Paulo em 2020.

5.3.3.1 Caracterização das secas anuais nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná e variabilidade interdecenal

A fim de identificar as UEPGRHs mais impactadas pelas secas ao longo da série histórica (1990 a 2020) e confirmar a orientação do desenvolvimento destes eventos, as áreas de seca inicial a suave (-10 a -50%) de cada unidade hídrica foram quantificadas, conforme Tabela 22, visando a comparação da variação anual das secas acumuladas por sub-bacias. Na Tabela 23 são expressas as áreas secas

acumuladas e seca média por ano em cada UEPGRH durante o período de 1990 a 2020, bem como suas equivalências em extensão territorial.

Tabela 22 – Percentuais de áreas atingidas pela seca nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020

Unidades Estaduais de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos da região Alto Rio Paraná														
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Área atingida pelas intensidades de seca inicial a suave do Índice de Porcentagem Normal - (%)														
1990	46,4	0	0	0	0	0,9	0	60,7	74,3	0	0	0	0	0
1991	8,0	59,5	70,1	34,3	21,8	75,8	63,3	0	0	0	0	25,7	0	0
1992	0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,0	0
1993	2,0	0	78,1	76,6	3,6	35,4	79,2	0	0	1,9	5,5	0	11,6	0
1994	45,8	31,5	54,3	100	86,7	14,9	10	24,9	17,2	95,2	75,0	100	72	40,7
1995	0	0	60,8	0	0	0	8,6	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	32,5	2,1	17,4	0,7	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0,1	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0
1999	85,6	100	100	100	100	100	100	100	100	51,7	16,2	74,3	64,7	99,8
2000	0	0	24,9	0	0	0	21,7	0,0	0,0	2,7	0	24,1	0,0	0,0
2001	0,7	0	0	0	0	0	0,0	92,8	57,0	0	0	0	0	24,5
2002	7,5	1,8	94,5	29,4	0	33,3	66,3	24,9	51,7	96,7	92,7	86,4	96,7	48,7
2003	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	24,4	55,0	0,2	13,5	0
2004	0	0	17,8	0	0	11,5	53,3	0	0	14,4	27,9	0	44,7	9,8
2005	15,8	15,3	0	0	0	9,8	0	1,7	0	5,6	2,3	39,3	0	5,9
2006	0	0	20,0	0	0	0	0	0	0	35,6	1,5	29,0	0	0
2007	1,7	0,9	44,6	2,5	0	53,6	62,4	0	2,1	13,8	0	12,1	0	0
2008	2,1	0	59,3	0	0	0	18,9	3,7	0,0	90,2	14,9	99,5	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	40,2	0	3,2	12,9	3,0	15,1	54,8	2,1	24,2	41,5	41,6	20,8	46,2	52,4
2011	0,0	0	2,7	0	0	0	0	0	0	0	0	9,6	0	0
2012	39,6	34,2	2,1	30,3	25,5	17,2	17,3	40,6	37,4	0	5,0	0	12,4	7,2
2013	30,1	45,9	14,4	36,3	92,1	2,6	18,9	16,2	32,1	23,3	60,6	6,8	19,6	12,2
2014	0,6	0	0	18,9	0	2,6	3,0	98,8	92,5	92,5	100	77,8	100	99,5
2015	48,9	0	0	0	0	0	0	26,8	16,9	0	0	0	0	0,2
2016	91,1	43,2	0	1,0	30,9	2,4	0	0	2,0	0	0	0	0	0
2017	3,9	0	0	0	0	0	0	1,2	5,1	0	0	0	0	5,3
2018	0	0	3,0	22,9	72,1	2,8	0,5	25,6	4,4	78,3	80,8	89,5	75,3	95,9
2019	19,4	18,9	39,6	93,5	28,5	83,5	56,0	62,7	94,7	100	100	100	100	100
2020	40,9	86,5	68,1	86,1	98,8	100	99,9	38,6	8,2	83,1	77,9	72,2	51,3	66
Total	536,5	437,8	757,7	645,8	563	561,5	734	621,5	654,1	853,1	774,4	868	712	668,2

1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 23 – Extensão territorial das secas acumulada e média nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020

UEPGRH	Área (km ²)	Seca acumulada (inicial a suave)		Seca média (1990-2020)	
		(%)	(km ²)	%.ano ⁻¹	km ² .ano ⁻¹
1	43.814,0	536,5	235.062,1	17,306	7.582,6
2	2.756,7	437,8	12.068,9	14,123	389,3
3	39.419,4	757,7	298.680,8	24,442	9.634,9
4	5.372,1	645,8	34.693,0	20,832	1.119,1
5	4.181,6	563,0	23.542,4	18,161	759,4
6	27.193,0	561,5	152.688,7	18,113	4.925,4
7	24.184,0	734,0	177.510,6	23,677	5.726,1
8	26.882,0	621,5	167.071,6	20,048	5.389,4
9	18.750,0	654,1	122.643,8	21,100	3.956,3
10	13.196,0	853,1	112.575,1	27,519	3.631,5
11	15.588,0	774,4	120.713,5	24,981	3.894,0
12	10.769,0	868,0	93.474,9	28,000	3.015,3
13	6.783,0	712,0	48.295,0	22,968	1.557,9
14	16.007,0	668,2	106.958,8	21,555	3.450,3
Alto Rio Paraná	254.896	669,3	1.705.979,1	21,590	55.031,5

1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Conforme Tabelas 22 e 23, confirmaram-se as UEPGRHs paulistas, 12 (868% = 28%.ano⁻¹), 10 (853,10% = 27,52%.ano⁻¹) e 11 (774,4% = 24,98%.ano⁻¹), além das unidades 3 (757,7% = 24,44%.ano⁻¹) e 7 (734% = 23,68%.ano⁻¹), localizadas em Mato Grosso do Sul, como unidades com maior ocorrência de seca acumulada, indicando uma menor pluviosidade na baixada da região Alto Rio Paraná. Já as sub-bacias do extremo noroeste, 2 (437,8% = 14,12%.ano⁻¹) e 1 (536,5% = 17,31%.ano⁻¹), acumularam os menores percentuais de seca. No total 1.705.979,1 km² de área acumulada da região Alto Rio Paraná foram impactados pelas secas durante o período de 1990 a 2020, equivalente a média de 55.031,5 km² por ano (21,63% da área total).

Os períodos em que as secas, independente do grau, atingiram todas as UEPGRHs da região Alto Rio Paraná foram os anos de 1994, 1999, 2013, 2019 e 2020, dentre eles destacam-se como anos mais críticos, 1999, com área média de seca por UEPGRH de 85,16% (com maior contribuição das unidades localizadas em Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, atingindo 100% de área seca), 2019, com média de 71,2% (UEPGRHs de São Paulo com 100% de área seca) e 2020 com média de 69,83% (UEPGRHs de Mato Grosso do Sul com 89,9% de área seca).

De forma isolada, o estado de São Paulo apresentou outros períodos com abrangência significativa de média de seca por UEPGRH, como os anos de 2002 (84,24%), 2014 (93,96%) e 2018 (83,96%). Logo, com base no cenário de seca atual (2020), apenas as unidades limítrofes 8, 9 e 14 apresentaram ocorrência contínua de seca de 2017 a 2020 (Tabela 19), indicando uma progressão das secas sentido Nordeste-Sudoeste (Minas Gerais-São Paulo) na região Alto Rio Paraná de 2017 a 2018 e Sudoeste-Noroeste/Centro-oeste (São Paulo-Mato Grosso do Sul) de 2018 a 2020 (Figura 42).

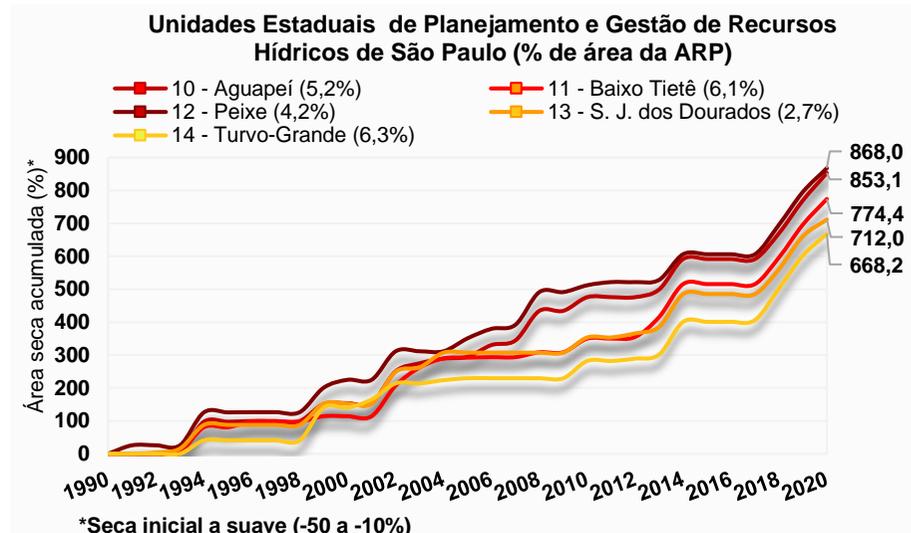
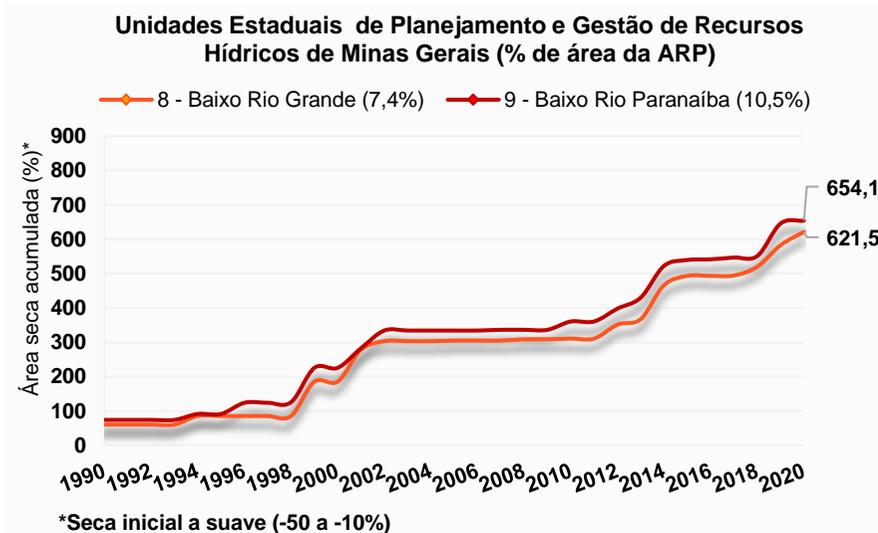
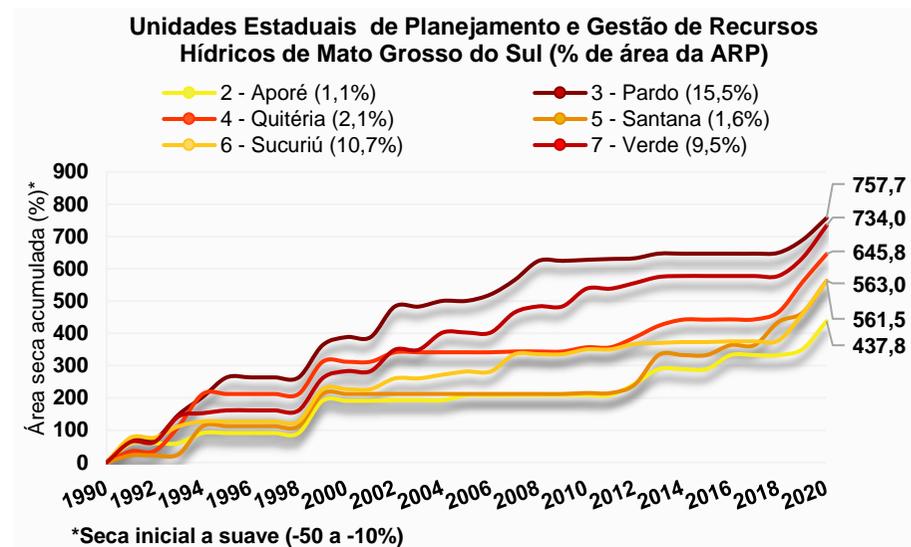
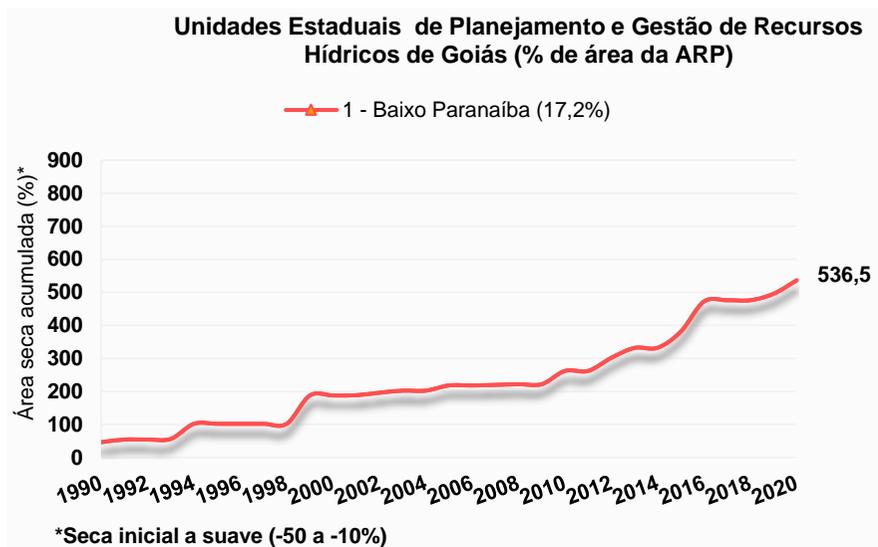
Apesar de no ano de 1999 a média de chuva anual (1.170 mm) ter atingido o valor mais crítico da série histórica para a região Alto Rio Paraná, caracterizado por uma maior abrangência espacial de seca (conforme indicado pela média de seca por UEPGRH de 85,16%), tal evento ocorreu de forma isolada, sem se prolongar para os anos posteriores, diferente do que ocorre nas secas de 2018-2020 nas UEPGRHs do estado de São Paulo e 2019-2020 para toda a região Alto Rio Paraná. Assim constatou-se que em tais períodos ocorreram as piores secas dos últimos 31 anos em termos espaciais e temporais.

Nas Figuras 46 e 47 são representadas as variações anuais de porcentagem de seca acumulada na região Alto Rio Paraná por UEPGRH e unidades federativas, durante o período de 1990 a 2020, a fim de verificar as unidades/estado com maior contribuição nas secas.

Embora as UEPGRHs do estado de São Paulo, 12, 10 e 11 tenham apresentado os maiores percentuais de área acumulada (respectivamente, 867,98%, 853,07% e 774,4%), indicando uma maior evolução das secas com relação a suas áreas totais (Tabela 23 e Figura 46), tais unidades representam apenas 4,2%, 5,2% e 6,1% da região Alto Rio Paraná, respectivamente. Logo, as UEPGRHs que mais contribuíram com a extensão territorial de área seca acumulada em toda a área de estudo foram as unidades 3, 1 e 7, com abrangência de seca em, respectivamente, 298.680,8 km² (757,71%), 235.062,1 km² (536,54%) e 177.510,6 km² (734,04%).

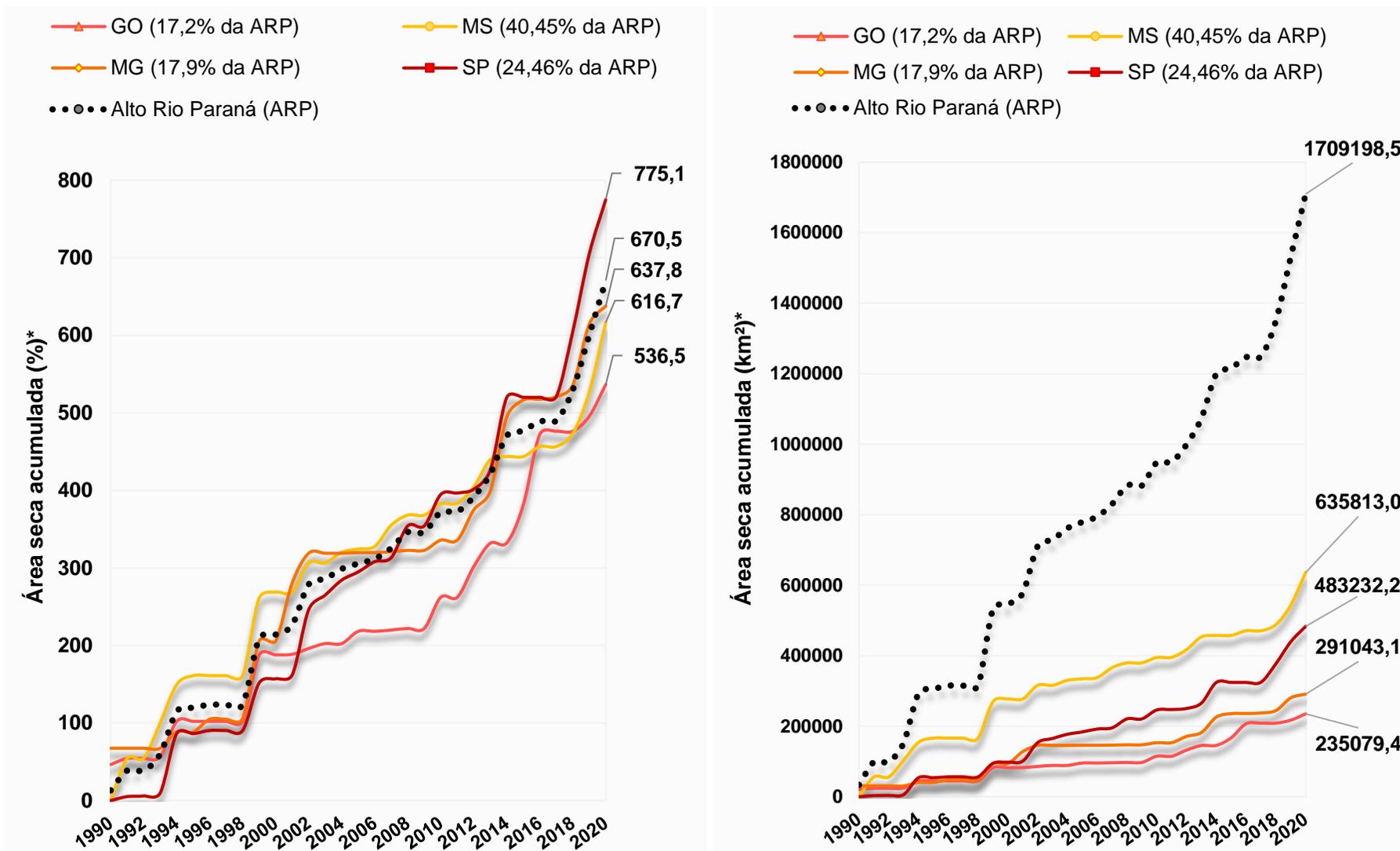
De forma análoga, com base na Figura 47, foi averiguado que juntas as UEPGRHs paulistas representam 24,46% da região Alto Rio Paraná (62.343 km²), acumulando o maior percentual de área seca (775,1%) do estado, ou seja, a maior progressão de secas da região Alto Rio Paraná, ultrapassando a % de seca acumulada em Mato Grosso do Sul, com área equivalente a 40,45% da área de estudo (103.106,8 km²), a partir de 2013.

Figura 46 – Variação anual das áreas secas acumuladas nas UEPGRHs na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 47 - Variação anual das secas acumuladas nas unidades federativas na região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020



*Seca inicial a suave (-50 a -10%); ARP=região do Alto Rio Paraná; GO=Goiás; MG=Minas Gerais; MS=Mato Grosso do Sul; SP=São Paulo.
 Fonte: Elaboração do próprio autor

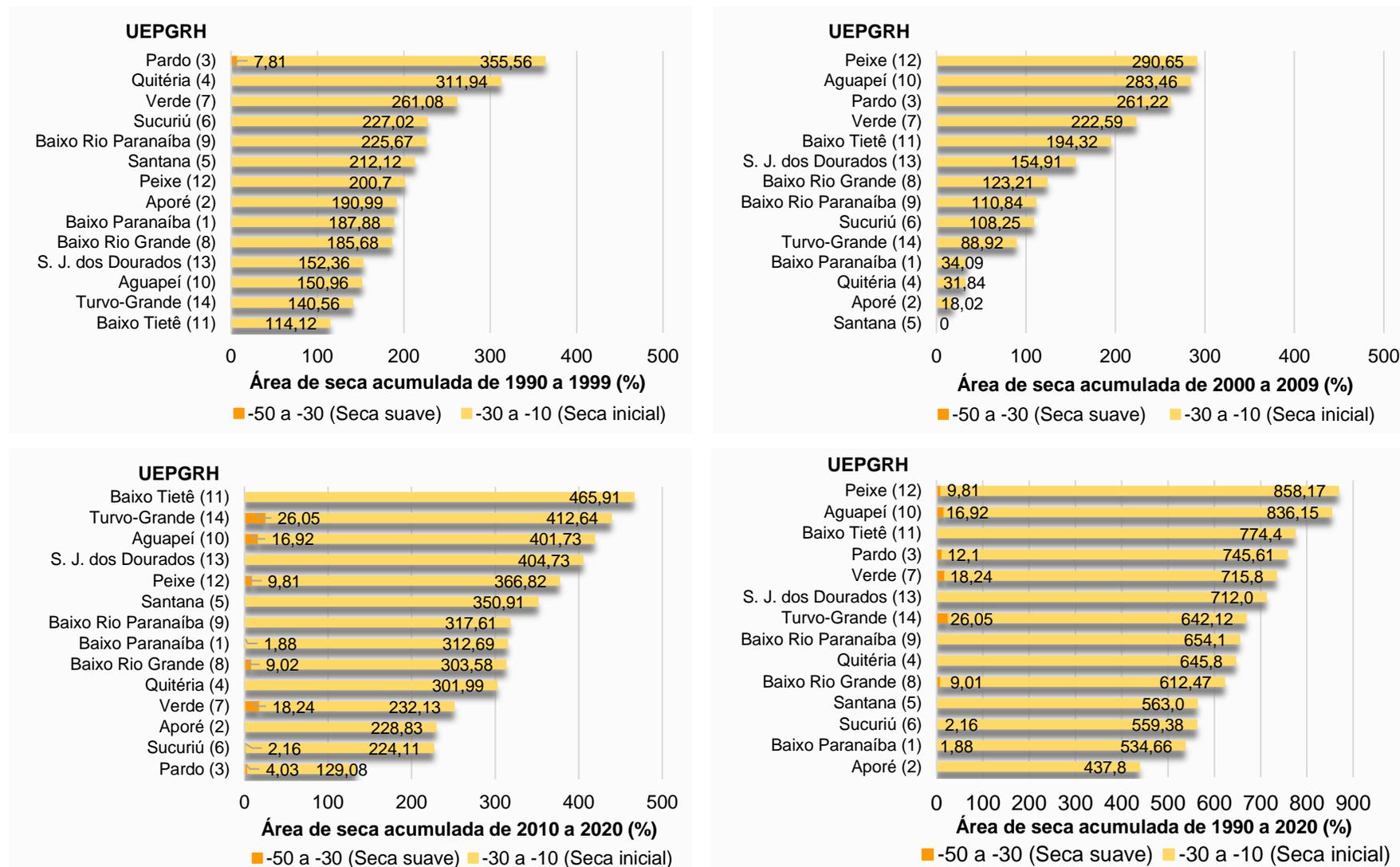
Todavia, quando analisada a % de área seca acumulada em km², verificou-se que embora a evolução das secas nos estados de São Paulo (775,1%) e Minas Gerais (637,8%) tenha sido maior que nas demais unidades federativas, Mato Grosso do Sul (616,7%) foi o maior contribuinte das secas quantificadas para a região Alto Rio Paraná em termos de extensão territorial, atingindo 635.813 km² de 1.709.198,5 km², ou seja, cerca de 37,2% do total de seca acumulada em toda a área de estudo, seguido pelas unidades de São Paulo (28,27%), Minas Gerais (17,03%) e Goiás (13,75%). A vista disto a UEPGRH 1, localizada em Goiás foi a unidade com menor evolução de seca ao longo do tempo e que menos contribuiu com a seca total da região Alto Rio Paraná, levando em consideração a parcela abrangida pelos estados.

Uma vez identificado um maior acúmulo de áreas secas na região Alto Rio Paraná durante a década de 2010, as secas acumuladas durante os decênios de 90, 2000 e 2010 (inclusive o ano de 2020) de cada unidade hídrica foram quantificadas e apresentadas na Figura 48, em conjunto com a seca acumulada durante todo o período de 1990 a 2020.

A variação interdecenal das áreas de seca identificadas, apresentada na Figura 48, permitiu constatar que na década de 2010, determinada como decênio mais seco da série histórica, com exceção das UEPGRHs 3 (Pardo), 4 (Quitéria), 6 (Sucuriú) e 7 (Verde), localizadas no Mato Grosso do Sul, as demais unidades hídricas apresentaram valores de áreas secas acumuladas superiores às décadas de 90 e 2000, além de um agravamento na intensidade das secas em 8 das 14 sub-bacias analisadas. A partir dos valores de seca acumulada e média apresentados na Tabela 20, as UEPGRHs mais críticas (com maior ocorrência de seca) foram classificadas em 5 categorias conforme Figura 49, onde é destacada a classificação da rede pluviométrica das UEPGRHs.

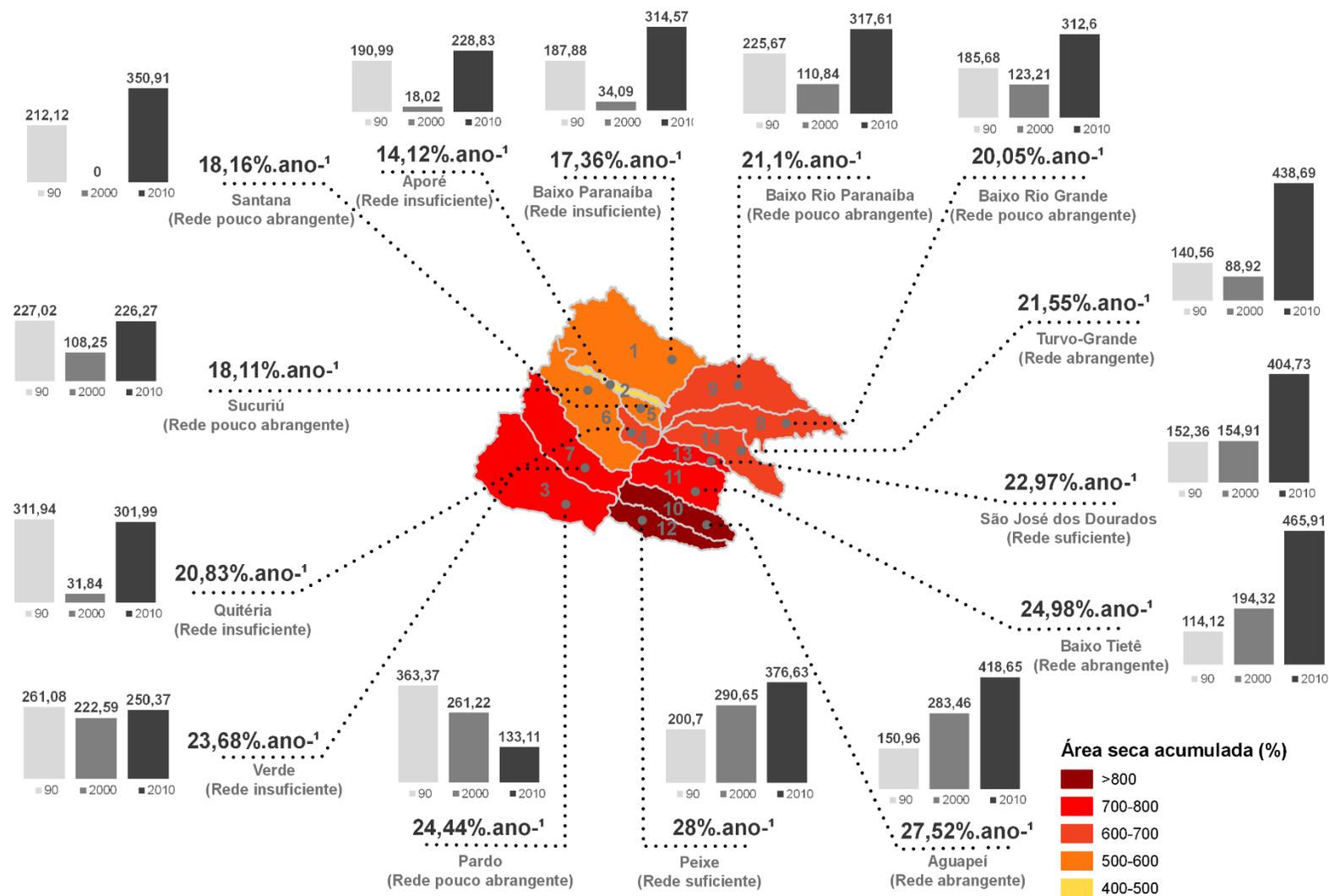
Com base na Figura 49, as UEPGRHs que mais contribuíram com o cenário de seca na década de 2010 foram as sub-bacias 11 (Baixo Tietê), com área média acumulada de 42,35%, 14 (Turvo-Grande) com 39,88%, 10 (Aguapeí) com 38,06% e 13 (São José dos Dourados) com 36,79%, sendo as UEPGRHs 14 e 10, as unidades acometidas com maior severidade, além da UEPGRH 7, devido a incidência de áreas com maior intensidade de seca (desvio de -50 a -30%) nos anos de 2019 e 2020. Desta forma, verificou-se que as secas sobre as unidades hídricas de São Paulo vêm se intensificando na última década, fazendo com que as áreas de menor pluviosidade na região Alto Rio Paraná se concentrem na região Noroeste Paulista.

Figura 48 – Variação interdecenal das áreas secas acumuladas nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020



Fonte: Elaboração do próprio autor

Figura 49 – Secas médias decenais e acumulada nas UEPGRHs da região Alto Rio Paraná de 1990 a 2020 e situação da rede pluviométrica



Fonte: Elaboração do próprio autor

Por outro lado, considerando a seca acumulada de 1990 a 2020, as UEPGRHs 10 e 12 foram as unidades mais críticas com mais de 800% de seca acumulada, enquanto na unidade 2 a área seca variou entre 400 e 500%, indicando menor ocorrência de seca. Com exceção das UEPGRHs paulistas as demais unidades apresentaram rede pluviométrica não abrangente ou inferior, trazendo um alerta para as unidades com ocorrência de seca expressiva e rede insuficiente (Figura 49).

5.3.4 Classificação das UEPGRHs quanto à densidade da rede pluviométrica e secas acumuladas

A fim de verificar quais unidades hídricas requerem maior atenção quanto a necessidade de melhorias e manutenção na rede observacional, as categorias de seca acumulada foram comparadas com a classificação da rede pluviométrica realizada para a região do Alto Rio Paraná, atribuindo-se níveis de criticidade conforme Tabelas 24 e 25.

Tabela 24 – Níveis de criticidade para a classificação da rede pluviométrica e secas acumuladas na região Alto Rio Paraná

I	Densidade da Rede pluviométrica (posto/575 km ²)	Nível de Criticidade
	Insuficiente	1
	Pouco Abrangente	2
	Suficiente	3
	Abrangente	4

II	Área seca acumulada* (%)	Nível de Criticidade
	>800	1
	700-800	2
	600-700	3
	500-600	4
	400-500	5

*1990 a 2020; Nível de criticidade=1 (Alto) e 5 (Baixo).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com a Tabela 25, considerando as 3 últimas décadas (1990 a 2020), as UEPGRHs que apresentaram os piores quadros em relação à densidade da rede observacional e a recorrência de eventos de seca, foram as unidades 7, 3 e 4 localizadas em Mato Grosso do Sul, seguidas pelas UEPGRHs 12, 1, 8, 9, 10 e 13, com níveis de criticidade entre de 1,5 a 2,5.

Tabela 25 – Classificação da situação das unidades hídricas na região do Alto Rio Paraná em relação à rede pluviométrica e secas acumuladas

UEPGRH	I	II	Nível de Criticidade
7	1	2	1,5
3	2	2	2
4	1	3	2
12	3	1	2
1	1	4	2,5
8	2	3	2,5
9	2	3	2,5
10	4	1	2,5
13	3	2	2,5
2	1	5	3
5	2	4	3
6	2	4	3
11	4	2	3
14	4	3	3,5

1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos; I=Densidade da rede pluviométrica; II=Área seca acumulada; Nível de criticidade=1 (Alto) e 5 (Baixo).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em geral, as UEPGRHs de Mato Grosso do Sul são as principais unidades da região ARP que necessitam, prioritariamente, de um aperfeiçoamento em suas redes pluviométricas, para que sejam elaboradas, a partir de estudos hidroclimáticos, medidas de gestão e mitigação dos impactos de secas. Tal realidade se torna ainda mais crítica, tendo em vista que, com exceção das unidades 5 (Santana) e 2 (Aporé), as demais não possuem Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) estaduais.

Com relação às UEPGRHs localizadas no estado de São Paulo, mesmo suas redes pluviométricas serem classificadas como suficientes e abrangentes, influenciando no cálculo médio do nível de criticidade de cada unidade, foi verificado que considerando tanto a média normal (1990 a 2020), quanto a média para o decênio de 2010, as unidades hídricas paulistas têm apresentado as maiores médias de seca da região Alto Rio Paraná, sendo de fundamental importância a manutenção da rede observacional, visando a gestão eficiente dos recursos hídricos.

De forma geral, o monitoramento das chuvas é fundamental para a previsão e análise dos impactos da seca e para a elaboração de estratégias de mitigação. Para tanto é necessária a realização de estudos que objetivam caracterizar a seca quanto à severidade, duração e variação espacial. Apesar do índice IPN de Willeke *et al.* (1994) ser largamente utilizado, devido sua possibilidade de aplicação em diversas

escalas de tempo, um monitoramento mais assíduo deve ser realizado empregando-se mais de um índice de seca, devido suas diferentes concepções (ALMEIDA, 2021; SALEHNIA *et al.*, 2017), de forma contínua e preventiva, para um adequado planejamento das águas nas bacias hidrográficas.

5.4 A ESCASSEZ PLUVIOMÉTRICA E OS SETORES USUÁRIOS

A crise hídrica é ocasionada por uma associação de fatores que compreende a falta de gestão das águas e a escassez pluviométrica. Conforme Borges e Chaffe (2019), as alterações climáticas e o aumento da temperatura têm corroborado com a queda das chuvas no país. Logo, conforme mapeamento da chuva na região ARP, a falta de chuva, reconhecida por ANA (2021a), vem se agravando desde 2019, provocando impactos em diferentes setores que fazem uso da água.

Com base na nova organização do território nacional, as maiores demandas de água no Brasil ocorrem nas Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs) São Francisco, Paraná, Uruguai, Tocantins-Araguaia, Paranaíba e Grande, principalmente em função da irrigação mecanizada, agroindústria e aglomerados urbanos (ANA, 2021c). A região Alto Rio Paraná abrange parte das UGRHs Paraná, Paranaíba e Grande, sendo assim, considerada uma região de grande relevância nacional.

Dentre os diversos setores usuários dos recursos hídricos na região ARP, o setor agrícola, o abastecimento urbano, a hidroeletricidade e o setor hidroviário estão entre os principais usos da água que podem ser afetados negativamente pela crise hídrica. A agricultura, em especial, destaca-se pela grande demanda de água necessária para suprir o período seco na região central do país, sendo a irrigação, o principal uso da água (em quantidade retirada) no Brasil (ANA, 2021c).

5.4.1 Setor agrícola

A agropecuária na região Alto Rio Paraná é caracterizada pela predominância de pastagem, especialmente nas UEPGRHs localizadas em Mato Grosso do Sul, alternada com áreas de agricultura nas unidades de Goiás, Minas Gerais e São Paulo, conforme MapBiomias (2020). A agricultura irrigada, parte importante da economia na região, é baseada nas culturas cana-de-açúcar e soja em todas as UEPGRHs, além de café nas unidades de Minas Gerais e São Paulo e citrus apenas nas unidades

paulistas. Na Tabela 26, a partir dos dados disponibilizados por MapBiomias (2020), são apresentadas às áreas de pastagem e agricultura de cada unidade hídrica.

Tabela 26 – Percentuais de áreas abrangidas pelo setor agropecuário nas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná em 2019

UEPGRH	Área (km ²)	Área abrangida pelo setor agropecuário	
		Pastagem (%)	Agricultura* (%)
1	43.814,0	42,4	24,2
2	2.756,7	64,7	16,1
3	39.419,4	62,6	6,5
4	5.372,1	53,5	5,2
5	4.181,6	74,0	2,0
6	27.193,0	57,5	10,4
7	24.184,0	62,8	1,9
8	26.882,0	21,4	22,5
9	18.750,0	62,3	25,1
10	13.196,0	33,5	35,5
11	15.588,0	24,2	41,4
12	10.769,0	49,2	20,8
13	6.783,0	36,3	29,1
14	16.007,0	22,2	44,2
Alto Rio Paraná	254.896	46,6	19,8

*=soja, cana-de-açúcar, café, citrus, outras lavouras temporárias e perenes; 1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos.

Fonte: MapBiomias (2020).

Com base na Tabela 26, apenas as UEPGRHs de Mato Grosso do Sul apresentaram percentuais de área destinada à agricultura abaixo de 20% e áreas de pastagem acima de 50%. Enquanto as unidades paulistas 11 (Baixo Tietê) e 14 (Turvo-Grande), destacam-se com abrangência de áreas agrícolas em mais de 40% de sua área total, com grande relevância para a produção de alimentos.

5.4.2 Abastecimento urbano

Segundo ANA (2021d), o abastecimento urbano é o segundo maior uso de água nas UGRHs abrangidas pela região ARP, caracterizado pela gradativa pressão antrópica sobre os mananciais e sistemas hídricos. Apesar dos mananciais superficiais serem responsáveis pelo abastecimento de cerca de 57% dos municípios brasileiros, com exceção das UEPGRHs 1 (Baixo Paranaíba) e 9 (Baixo Rio

Paranaíba), o abastecimento urbano de água nas demais unidades da região ARP é feito de forma exclusiva ou predominante por manancial subterrâneo (ANA, 2021d).

Na Tabela 27 são apresentadas as áreas urbanizadas de cada UEPGRH da região Alto Rio Paraná em conjunto com suas respectivas densidades populacionais, bem como os municípios que apresentam risco de desabastecimento urbano.

Tabela 27 – Percentuais de áreas urbanizadas, densidade populacional e municípios com risco de desabastecimento urbano nas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná

UEPGRH	Área (km ²)	Área urbanizada (%)	Densidade populacional (hab./km ²)	Município com risco de desabastecimento urbano
1	43.814,0	0,2	6,9	3***
2	2.756,7	0,5	7,8**	0
3	39.419,4	0,7	20,6**	0
4	5.372,1	0,2	4,1**	0
5	4.181,6	0,4	9,1**	0
6	27.193,0	0,2	4,8**	0
7	24.184,0	0,1	1,3**	0
8	26.882,0	0,6	30,2	1
9	18.750,0	0,4	10,2	0
10	13.196,0	1,2	28,2	3***
11	15.588,0	1,4	50,9	2***
12	10.769,0	1,1	42,9	3***
13	6.783,0	0,9	33,6	2***
14	16.007,0	2,4	79,1*	3***
Alto Rio Paraná	254.896	0,7	20,88	12

*2018; **2010; ***=inserido parcialmente; 1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos.

Fonte: ANA (2020/2021); MapBiomass (2020); IBGE (2010).

Conforme Tabela 27, as UEPGRHs que apresentaram maior percentual de área urbanizada foram as unidades hídricas paulistas 12 (Peixe), 10 (Aguapeí), 11 (Baixo Tietê) e 14 (Turvo-Grande), com respectivamente, 1,1%, 1,2%, 1,4% e 2,4%, enquanto as unidades 7 (Verde), 4 (Quitéria), 6 (Sucuriú) e 1 (Baixo Paranaíba) apresentaram percentuais menores ou iguais a 0,2%, caracterizando um menor índice demográfico no Mato Grosso do Sul e Goiás. Da mesma forma, a estimativa da densidade populacional mostrou maiores valores para as unidades mineiras e paulistas. Contudo, ressalta-se que em Mato Grosso do Sul as estimativas foram realizadas com base no censo de 2010.

Segundo o diagnóstico do abastecimento urbano, as cidades que possuem maior risco de desabastecimento (baixa garantia hídrica) na região ARP são: Mineiros (GO), Itarumã (GO), Rio Verde (GO), Frutal (MG), Bebedouro (SP), Votuporanga (SP), Monte Aprazível (SP), Barbosa (SP), Promissão (SP), Osvaldo Cruz (SP), Marília (SP) e Garça (SP), sendo sua maioria localizada no estado de São Paulo. Tal diagnóstico é feito por meio do Índice de Segurança Hídrica (ISH) que reúne indicadores de dimensão humana, econômica, ecossistêmica e resiliência (ANA, 2021d).

5.4.3 Geração de energia elétrica

Dentre os 162 aproveitamentos hidrelétricos do SIN, 72 estão localizados na RH Paraná e compõem o subsistema Sudeste/Centro-Oeste, fundamental para a segurança hídrica e energética do País (ANA, 2021e). Este subsistema é formado pelas bacias dos rios Paranaíba, Grande, Paraíba do Sul, Paraná, Tietê, São Francisco, Paranapanema e Tocantins, Na Tabela 28 são apresentados os empreendimentos abrangidos pela região ARP e suas potências instaladas.

Tabela 28 – Aproveitamentos hidrelétricos do SIN na região Alto Rio Paraná

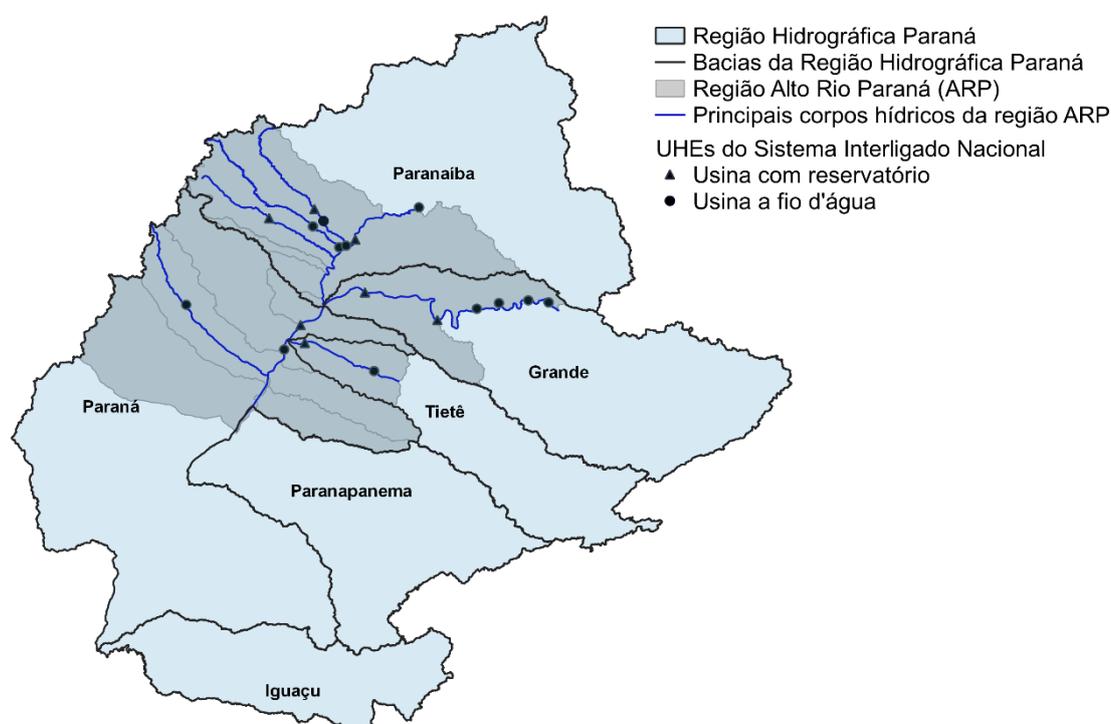
UHE	Tipo	Corpo hídrico	Potência (MW)	Latitude	Longitude
Barra dos Coqueiros	Fio d'água	Rio Claro	90,0	-18,7217	-51,0028
Foz do Rio Claro	Fio d'água	Rio Claro	68,4	-19,1171	-50,6457
Caçu	Reservatório	Rio Claro	65,0	-18,5305	-51,1478
Espora	Reservatório	Rio Corrente	32,1	-18,6758	-51,8656
Salto do Rio Verdinho	Fio d'água	Rio Verde	93,0	-19,1427	-50,7539
Salto	Fio d'água	Rio Verde	116,0	-18,8082	-51,1709
Volta Grande	Fio d'água	Rio Grande	380,0	-20,0333	-48,2218
Igarapava	Fio d'água	Rio Grande	210,0	-19,9891	-47,7560
Marimbondo	Reservatório	Rio Grande	1.488,0	-20,3029	-49,1977
Cachoeira Dourada	Fio d'água	Rio Paranaíba	658,0	-18,5043	-49,4902
São Simão	Reservatório	Rio Paranaíba	1.710,0	-19,0180	-50,4992
São Domingos	Fio d'água	Rio Verde	48,0	-20,0597	-53,1804
Jaguará	Fio d'água	Rio Grande	424,0	-20,0227	-47,4339
Porto Colômbia	Fio d'água	Rio Grande	328,0	-20,1242	-48,5719
Água Vermelha	Reservatório	Rio Grande	1.396,2	-19,8631	-50,3465
Jupia	Fio d'água	Rio Paraná	1.551,2	-20,7758	-51,6267
Ilha Solteira	Reservatório	Rio Paraná	3.444,0	-20,3822	-51,3636
Nova Avanhandava	Fio d'água	Rio Tietê	347,4	-21,1189	-50,2011
Três Irmãos	Reservatório	Rio Tietê	807,5	-20,6687	-51,2998

UHE=Usina Hidrelétrica; UF=Unidade Federativa; MW=Megawatt; GO=Goiás; MG=Minas Gerais; MS=Mato Grosso do Sul; SP=São Paulo.

Fonte: ONS (2021)

Conforme Tabela 28, a região Alto Rio Paraná abrange 19 aproveitamentos, dos quais 7 trata-se de usinas com reservatório e 12 usinas a fio d'água, totalizando uma capacidade instalada de geração de energia equivalente a 13.256,8 MW, 22,81% da capacidade hidroelétrica do subsistema Sudeste/Centro-Oeste que equivale a 58.117 MW. Na Figura 50 e Tabela 29 é apresentada a localização das UHEs, bem como a potência de energia hidroelétrica instalada nas áreas das bacias hidrográficas abrangidas pelas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná.

Figura 50 – Unidades hídricas e usinas hidrelétricas do SIN abrangidas pela região Alto Rio Paraná



Fonte: Adaptado de ONS (2021).

Tabela 29 – Potência instalada nas áreas das bacias hidrográficas abrangidas pelas unidades hídricas da região Alto Rio Paraná

Bacia	Área abrangida pelas UEPGRHs (km ²)	Potência instalada na área abrangida (MW)
Paranaíba	69.502,30	2.832,50
Paraná	126.916,50	5.043,20
Grande	42.889,00	4.226,2
Tietê	15.588,00	1.154,9
Região Alto Rio Paraná	254.896	13.256,8

UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos.

Fonte: ONS (2021).

A delimitação das bacias apresentada na Figura 50 é utilizada na coordenação e controle da produção e transmissão de energia elétrica do SIN (Anexo A) por parte do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Logo, como forma de atribuir às unidades hídricas da região Alto Rio Paraná suas respectivas contribuições no potencial de geração de energia hidroelétrica produzida nas áreas abrangidas de cada bacia, os valores de potência instalada (Tabela 29) foram relacionados a porcentagem (%) das áreas das bacias compreendidas por cada UEPGRH, conforme Tabela 30.

Tabela 30 – Contribuição das unidades hídricas no potencial de geração de energia hidroelétrica na região Alto Rio Paraná

UEPGRH	Área (km ²)	Bacia	% da Bacia	Potencial de contribuição (MW)
1	43.814,0	Paranaíba	63,04	1.785,60
2	2.756,7	Paranaíba	3,97	112,35
3	39.419,4	Paraná	31,06	1.566,38
4	5.372,1	Paraná	4,23	213,47
5	4.181,6	Paranaíba	6,02	170,42
6	27.193,0	Paraná	21,43	1.080,55
7	24.184,0	Paraná	19,06	960,98
8	26.882,0	Grande	62,68	2.648,90
9	18.750,0	Paranaíba	26,98	764,14
10	13.196,0	Paraná	10,40	524,36
11	15.588,0	Tietê	100	1.154,90
12	10.769,0	Paraná	8,49	427,92
13	6.783,0	Paraná	5,34	269,53
14	16.007,0	Grande	37,32	1.577,30
Alto Rio Paraná	254.896	RH Paraná	-	13.256,80

1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos; RH Paraná=Região Hidrográfica Paraná.

Fonte: ONS (2021).

De acordo com a Tabela 30, a UEPGRH 8 (Baixo Rio Grande) é a unidade hídrica que apresenta o maior potencial de contribuição de energia, devido à quantidade de UHEs (6) instaladas ao longo do rio Grande, principal corpo hídrico que delimita sua área administrativa. Em sequência, as principais unidades que contribuem com a capacidade de geração de energia hidroelétrica na região ARP são as UEPGRHs, 1, 14, 3, 11 e 6.

As atribuições dos potenciais de contribuição em cada UEPGRH foram realizadas observando-se apenas a potência das UHEs localizadas dentro das áreas das bacias abrangidas (Paranaíba, Paraná, Grande e Tietê), desconsiderando-se a

influência das unidades de cabeceira nas vazões geradas à jusante, que contribuem no potencial de importantes UHEs que se localizam dentro e fora da região Alto Rio Paraná, como o caso da usina de Itaipu.

De acordo com ANA (2021a), diversas sub-bacias que compõem a RH Paraná registraram vazões baixas ou extremamente baixas ao longo de 2019 e no período chuvoso de 2020/2021, que foram responsáveis pela diminuição dos volumes de armazenamento dos reservatórios da região. Em função do rebaixamento dos níveis de operação das UHEs, a navegação na hidrovia Tietê-Paraná, que depende diretamente de um nível mínimo nos reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, foi afetada de forma negativa (ANA, 2021a).

Conforme Lima (2017), outro impacto decorrente da diminuição do potencial de produção de hidroeletricidade ocasionado pela falta de chuvas é a utilização de outras fontes de combustíveis para atender a demanda de energia, aumentando o preço repassado aos consumidores.

5.4.4 Classificação das UEPGRHs quanto à vulnerabilidade dos setores usuários à crise hídrica

A fim de identificar quais unidades hídricas requerem maior atenção quanto a adoção de medidas para mitigação de impactos das secas, a conjuntura dos principais setores usuários de recursos hídricos na região ARP (agricultura, abastecimento urbano e geração de energia hidroelétrica) foi relacionada à ocorrência de secas em cada UEPGRH, considerando os setores usuários como fatores de vulnerabilidade à seca, conforme apresentado na Tabela 31.

Os níveis de criticidade dos fatores adotados foram atribuídos considerando 5 categorias de 1 (Alta criticidade) a 5 (Baixa criticidade) para as áreas secas acumuladas nas UEPGRHs, o abastecimento urbano e a contribuição no potencial de energia hidroelétrica na região Alto Rio Paraná.

O “Abastecimento urbano” foi determinado a partir da ponderação das variáveis: área urbanizada (0,4), densidade populacional (0,3) e municípios com risco de desabastecimento (0,3), para o cálculo da média e normalização do fator. O maior peso atribuído à área urbanizada se dá devido a densidade populacional de determinadas UEPGRHs estarem defasadas por corresponderem ao censo de 2010.

Tabela 31 – Fatores de vulnerabilidade à seca na região Alto Rio Paraná

I	Área seca acumulada* (%)	Nível de Criticidade
	>800	1
	700-800	2
	600-700	3
	500-600	4
	400-500	5
II	Área destinada a agricultura (%)	Nível de Criticidade
	> 40	1
	30-40	2
	20-30	3
	10-20	4
	< 10	5
III	Abastecimento urbano**	Nível de Criticidade
	> 30	1
	20-30	2
	10-20	3
	5-10	4
	< 5	5
IV	Potencial de Geração de energia hidroelétrica (MW)	Nível de Criticidade
	> 3.000	1
	2.000-3.000	2
	1.000-2.000	3
	500-1.000	4
	< 500	5

*1990 a 2020; **Ponderação das variáveis: área urbanizada (0,4), densidade populacional (0,3) e municípios com risco de desabastecimento (0,3); Nível de criticidade=1 Alto e 5 Baixo.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os fatores de vulnerabilidade à seca ponderados para cada UEPGRH e seus respectivos níveis de criticidades correspondentes são apresentados na Tabela 32 e 33, na devida ordem. Para a obtenção do nível de criticidade, todos os setores de recursos hídricos foram considerados com o mesmo peso na estimativa da média final, inclusive o fator “Área seca acumulada”, como forma de estimar a vulnerabilidade às secas das unidades hídricas fora do contexto político regional, atendo-se apenas às características físicas e populacionais das UEPGRHs.

Conforme classificação apresentada na Tabela 33, o fator I (Área seca acumulada) foi a variável com maior ocorrência de níveis mais críticos (1 a 3) em 10 unidades hídricas, com exceção das UEPGRHs localizadas na área noroeste da região ARP: unidade 5 (Santana), 6 (Sucuriú), 1 (Baixo Paranaíba) e 2 (Aporé).

Tabela 32 – Valores dos fatores de vulnerabilidade das UEPGRHs na região Alto Rio Paraná

UEPGRH	I	II	III	IV
1	536,5	24,2	3,33	1.785,60
2	437,8	16,1	2,49	112,35
3	757,7	6,5	6,39	1.566,38
4	645,8	5,2	1,29	213,47
5	563	2	2,85	170,42
6	561,5	10,4	1,5	1.080,55
7	734	1,9	0,42	960,98
8	621,5	22,5	9,64	2.648,90
9	654,1	25,1	3,18	764,14
10	853,1	35,5	10,02	524,36
11	774,4	41,4	16,49	1.154,90
12	868	20,8	14,4	427,92
13	712	29,1	11,15	269,53
14	668,2	44,2	25,65	1.577,30

1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos; I=Área seca acumulada; II=Área destinada à agricultura; III=Abastecimento urbano; IV=Potencial de geração de energia hidroelétrica.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 33 – Classificação da vulnerabilidade à seca das UEPGRHs na região Alto Rio Paraná

UEPGRH	I	II	III	IV	Nível de Criticidade
11	2	1	3	3	2,25
14	3	1	2	3	2,25
10	1	2	3	4	2,5
8	3	3	4	2	3
12	1	3	3	5	3
13	2	3	3	5	3,25
3	2	5	4	3	3,5
1	4	3	5	3	3,75
9	3	3	5	4	3,75
7	2	5	5	4	4
6	4	4	5	3	4
4	3	5	5	5	4,5
2	5	4	5	5	4,75
5	4	5	5	5	4,75

1=Baixo Paranaíba; 2=Aporé; 3=Pardo; 4=Quitéria; 5=Santana; 6=Sucuriú; 7=Verde; 8=Baixo Rio Grande; 9=Baixo Rio Paranaíba; 10=Aguapeí; 11=Baixo Tietê; 12=Peixe; 13=São José dos Dourados; 14=Turvo-Grande; UEPGRH=Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos; I=Área seca acumulada; II=Área destinada à agricultura; III=Abastecimento urbano; IV=Potencial de geração de energia hidroelétrica. Nível de criticidade=1 Alto e 5 Baixo.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com relação ao fator II (Área destinada à agricultura), notou-se que as UEPGRHs localizadas no estado de São Paulo e Minas Gerais são as principais unidades com ocorrência de áreas agrícolas e secas acumuladas elevadas em especial as UEPGRHs 14 (Turvo-Grande), 11 (Baixo Tietê) e 10 (Aguapeí), com agricultura de nível crítico 1 a 2 (> 35% da área) e secas acumuladas acima de 650% (seca média nível 2). Conforme Tabela 26 a economia agropecuária nas unidades localizadas em Mato Grosso do Sul é caracterizada por áreas de pastagem (> 50% da área total), com menor ocorrência de agricultura, classificando-as em níveis de criticidade mais baixos (4 a 5) e média de área seca acumulada nível 3.

Devido ao maior índice populacional e maior ocorrência de municípios com risco de desabastecimento no estado de São Paulo, o fator “Abastecimento urbano” das UEPGRHs paulistas é ≥ 3 , caracterizando uma criticidade média à alta, enquanto as demais unidades apresentaram níveis mais baixos, variando de 4 (UEPGRH 8 e 3) à 5 (UEPGRHs 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 9). De forma síncrona, as unidades paulistas 14 (Turvo-Grande), 11 (Baixo Tietê), 12 (Peixe), 13 (São José dos Dourados) e 10 (Aguapeí), também apresentaram nível de seca acumulada ≥ 3 , caracterizando uma maior vulnerabilidade deste setor às secas, que os demais estados.

Já o potencial de geração de energia hidroelétrica foi destaque na UEPGRH 8 (Baixo Rio Grande) localizada em Minas Gerais, onde observou-se área seca acumulada maior que 600% (nível 3), com potencial instalado equivalente a 2.648,9 MW, caracterizando-a como única unidade com nível de criticidade 2. Os demais estados também apresentaram grande contribuição no setor hidroelétrico da região com unidades hídricas com potencial instalado acima de 1.000 MW (nível 3), a saber as UEPGRHs, 1 (1.785,6 MW) localizada em Goiás, 14 (1.577,3 MW) e 11 (1.154,9 MW) no estado de São Paulo, além das unidades 3 (1.566,38 MW) e 6 (1.080,55) situadas em Mato Grosso do Sul.

Por fim, levando-se em consideração todos os fatores de vulnerabilidade à seca de forma integrada, a classificação final das UEPGRHs apresentada na Tabela 33, permitiu a identificação das unidades mais críticas na região Alto Rio Paraná, que merecem atenção com relação aos impactos das secas nos setores que dependem diretamente da disponibilidade hídrica. Logo, as unidades hídricas 11 (Baixo Tietê) e 14 (Turvo-Grande) foram as UEPGRHs com maior nível de criticidade final (2,25), sendo as únicas unidades que apresentaram vulnerabilidade média à alta (3 a 1) em todos os fatores analisados, seguida pela UEPGRH 10 (2,5), com influência maior do

setor agrícola, UEPGRH 8 (3) com maior peso do setor hidrelétrico, além das UEPGRHs 12 (3) e 13 (3,25) com maior contribuição dos setores agrícola e abastecimento urbano.

A grande extensão territorial da região Alto Rio Paraná dificulta o conhecimento dos processos hidrológicos, que depende do monitoramento *in loco*, necessário para um gerenciamento das águas adequado aos diferentes usos dos recursos hídricos que ocorrem nas unidades hídricas. Isto posto, a geoestatística aplicada às variáveis hidrológicas, como a chuva, tem possibilitado o monitoramento contínuo em áreas de baixa densidade de postos.

Desta forma, para uma análise mais eficaz sugere-se que o IPN, um dos índices mais empregados na caracterização das secas (GOIS, 2005), devido sua simplicidade e intuitividade, seja monitorado em escala mensal, para uma melhor identificação de comportamentos/padrões que indiquem situações críticas ao longo dos períodos hidrológicos de forma prévia e continuada, uma vez que os resultados obtidos com este índice foram apropriados à realidade observada na região ARP.

6 CONCLUSÃO

As principais conclusões e contribuições desta pesquisa foram resumidas neste capítulo. O intuito principal foi descrever o regime anual das chuvas na região Alto Rio Paraná associando-se diferentes índices e abordagens estatísticas na análise espacial e temporal da precipitação e eventos de secas, que permitiram a concepção de novas metodologias relativas à investigação e gestão dos recursos hídricos:

O reconhecimento da abrangência dos dados pluviométricos foi realizado para caracterizar o cenário da disponibilidade de dados e identificar as unidades de gestão mais críticas com relação a representatividade hidroclimática da região, a partir de uma classificação original da rede observacional, tendo em vista a não identificação de proposta similar no país/mundo.

A delimitação de regiões homogêneas a partir da Análise de Aglomerados e do MML foi aplicada como procedimento preliminar a geoestatística para subsidiar o preenchimento de falhas das séries históricas de forma a reduzir a tendenciosidade nas estimativas de dados em locais não amostrados.

A variação do ION em conjunto com os totais de chuva e abrangência de secas foi observada para analisar o reflexo da intensidade dos eventos El Niño e La Niña sobre o comportamento da precipitação anual na região ARP.

O índice IPN foi aplicado na identificação de secas afim de extrair do mapeamento das chuvas, ao longo das últimas décadas, o impacto da escassez pluviométrica na gestão dos recursos hídricos, meio ambiente e sociedade, sobre diferentes perspectivas dos setores usuários da água, analisados de forma integrada, possibilitando a identificação das bacias que apresentam maior vulnerabilidade às secas na região ARP.

6.1 REPRESENTATIVIDADE HIDROCLIMÁTICA NO ALTO RIO PARANÁ

O estudo permitiu constatar um crescente déficit espacial e temporal de dados pluviométricos nas duas últimas décadas, que se acentuou no ano de 2020, em partes devido às implicações da pandemia de Covid-19 e a falta de investimentos nas redes observacionais. Além de séries históricas com grande número de falhas, foi observado atraso de até 12 meses na disponibilidade das informações (pela rede

Hidrometeorológica Nacional), que prejudica estudos de tendências e anomalias de chuvas na região ARP, que se encontra em cenário de escassez hídrica desde 2019.

Conforme classificação proposta para a densidade da rede observacional, 9 das 14 unidades de gestão analisadas apresentaram densidade inferior a recomendação da OMM, para áreas planas a onduladas, sendo necessária a implantação de 226 novas estações. A UEPGRH 1 (Baixo Paranaíba), localizada em Goiás, e as UEPGRHs 2 (Aporé), 4 (Quitéria) e 7 (Verde) em Mato Grosso do Sul apresentaram rede “insuficiente”, caracterizando uma pior disponibilidade de dados na área norte/oeste da ARP e baixa representatividade hidroclimática da região.

Tal classificação pode ser facilmente adaptada para o emprego em bacias hidrográficas situadas em diferentes tipos de terreno, possibilitando a identificação de áreas que requerem maiores investimentos na rede pluviométrica de acordo com a relação de número de postos e sua extensão territorial.

6.2 METODOLOGIA DE CONSISTÊNCIA E MAPEAMENTO DOS DADOS

A delimitação de regiões homogêneas de chuva permitiu a identificação de 9 áreas de comportamento pluviométrico distinto na região Alto Rio Paraná, mostrando-se adequada a aplicação da Análise de Aglomerados e o Método dos Momentos-L, apesar da grande variabilidade espaço-temporal da disponibilidade de dados. A partir da regionalização da chuva foi possível identificar os postos discordantes de cada região homogênea, diminuindo as incertezas amostrais dos dados oficiais para a posterior aplicação da geoestatística.

Na análise geoestatística dos dados de chuva anual na região ARP, todos os períodos analisados (de 1990 a 2020) apresentaram dependência espacial com ajustes entre exponencial, gaussiano e esférico (indicando comportamentos espaciais [alcances] diferenciados). O Coeficiente de Determinação Espacial (R^2) variou entre 0,848 e 0,992, além de que o ADE maior que 75% (alta dependência espacial) foi constatado em 23 dos 31 anos analisados e entre > 25 e 75% (moderada dependência espacial) nos demais períodos, indicando apreciáveis ajustes semivariográficos.

Os mapas de chuvas anuais apresentaram índices entre 700 e 2.200 mm, enquanto a média de longo prazo (1990 a 2020) apresentou 5 áreas com intensidades de chuva entre 1.200 mm e 1.700 mm e média de 1.400 mm, gerando isolinhas próximas a delimitação das regiões homogêneas de chuva. A área de menor

pluviometria (1.200 – 1.300 mm) abrange 17,4% da região ARP e compreende parte do leito do rio Paraná e UEPGRHs do estado de São Paulo (10, 11, 12, 13 e 14). As áreas com maior volume de chuva (1.500 – 1.700 mm), identificadas a oeste/noroeste das UEPGRHs 1, 2 e 6 e a leste da UEPGRH 8, totalizam 16,1% da ARP.

Os períodos mais chuvosos identificados foram os anos de 2009 (1.740 mm) com chuva acima do intervalo médio (1.200 a 1.700 mm) em 58,1% da região ARP (UEPGRH 1, 2, 10 e 12), 1997 e 2017, ambos com chuva total equivalente a 1.560 mm e chuva acima da média nas UEPGRHs de Goiás e Mato Grosso do Sul (1 a 7). Com relação aos anos considerados secos, foi verificado 1999 (1.170 mm) como ano mais seco do período analisado, com 67,1% da região ARP (noroeste das UEPGRHs 1, 2, 6 e 7, e leste das UEPGRHs 8, 9, 10, 11 e 12) abaixo dos valores de chuva média (1.200 a 1.700 mm), além dos anos de 2019 (1.220 mm) e 2020 (1.210 mm), com 45% e 54,1% da área com índices anuais inferior à média, afetando principalmente as UEPGRHs 10 e 14 de forma consecutiva, sendo observado uma redução na quantidade de chuva que entra nos sistemas de vazão nos últimos anos.

A quantificação da média dos 31 anos (1990 a 2020), indicou que as unidades Baixo Paranaíba (GO) e Aporé (MS) como UEPGRHs de maior pluviosidade na região ARP, ambas totalizando 1.510 mm de chuva. Nas demais UEPGRHs localizadas em Mato Grosso do Sul as menores médias variaram entre 1.340 mm (Quitéria) e 1.390 mm (Pardo e Santana), localizadas na parte baixa do rio Paraná e próximas à sua cabeceira, e as maiores entre 1.410 mm (Verde) e 1.470 mm (Sucuriú). As unidades mineiras Baixo Rio Grande e Baixo Rio Paranaíba apresentaram valores médios de 1.400 mm e 1.440 mm, respectivamente, enquanto as UEPGRHs do estado de São Paulo apresentaram os menores índices de chuva, correspondentes à 1.270 mm (Baixo Tietê), 1.290 mm (São José dos Dourados), 1.310 mm (Aguapeí) e 1.320 mm (Peixe e Turvo-Grande).

Quanto ao mapeamento do IPN, em resumo, observou-se uma maior incidência de seca inicial à suave (desvio de -10 a -50%) nas UEPGRHs 3, 10, 11 e 12. Durante o ano crítico de 1999, a seca inicial a suave acometeu as 14 UEPGRHs, de forma integral ou parcial, atingindo 87,8% da região ARP. Já os anos de 2019 e 2020, apresentaram abrangência de seca inicial a suave em, respectivamente, 65,4% e 63,16% da área de estudo, atingindo em maior grau as UEPGRHs do Mato Grosso do Sul e São Paulo, caracterizando-as como piores secas dos últimos 31 anos em termos espaciais e temporais. Ainda, como destaque, observou-se que nos anos em que a

seca inicial + suave atingiram no mínimo 50% da área da ARP, o período foi classificado como sendo de crise hídrica (1999, 2002, 2019 e 2020).

Em suma, a metodologia empregada apresenta grande versatilidade de aplicação, uma vez que a análise de aglomerados possibilita testar a influência de diferentes características locais que influem no comportamento da precipitação, as quais podem ser determinadas de acordo com os atributos físicos da área investigada, antes do processo de estimação de dados.

Além disso, o teste de consistência regional baseado nas estatísticas-L permite a utilização do método em bacias com grande discrepância no tamanho das séries históricas, uma vez que os momentos-L são mais robustos e menos sensíveis ao tamanho das amostras que os momentos convencionais. Por fim, a metodologia faz uso da geoestatística, a partir de dados consistentes, para a interpolação de dados em locais não amostrados, permitindo a associação de erros às estimativas realizadas e a geração de mapas críticos úteis para os gestores de recursos hídricos.

6.3 O COMPONENTE CLIMÁTICO ENOS E EVENTOS DE SECAS

A análise comparativa entre os valores de chuvas anuais e as fases do ENOS não indicou influência direta na variação pluviométrica da região Alto Rio Paraná durante o período de 1990 a 2020. Contudo, os eventos chuvosos de 1997 e 2015 coincidiram com maiores intensidades de El Niño, enquanto anos mais secos como 1999, 2012 e 2020 coincidiram com ocorrência de La Niña.

A utilização do índice de Porcentagem Normal permitiu a identificação de áreas úmidas e secas em concordância com os eventos registrados por outros autores, apresentando-se útil na escala anual e de fácil aplicabilidade. As curvas acumuladas do IPN, relacionadas à variação do ION, não possibilitaram mais inferências a respeito da influência das fases do ENOS à ocorrência de seca, além das realizadas na análise dos totais de chuva anuais.

A incorporação de componentes climáticos na investigação de variáveis naturais é de extrema importância para aprimorar o entendimento do comportamento destes fenômenos e sua relação com a variabilidade hidroclimática no globo, uma vez que tais componentes se apresentam interligados com o sistema climático, hidrológico e a circulação geral da atmosfera, podendo assim auxiliar na tomada de decisão dos gestores de recursos hídricos, com base na observação de séries históricas

hidrológicas. Os resultados da análise do ENOS permitiram reforçar as inferências a respeito da associação das secas e o fenômeno La Niña na região ARP, conforme constatado por outros autores, indicando que a utilização do ION pode ser mais eficaz em escala mensal ou trimestral, para melhor detalhar a relação chuva-ENOS.

6.4 A ESCASSEZ PLUVIOMÉTRICA SOB A ÓTICA DAS UNIDADES DE GESTÃO

As Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UEPGRHs) no Brasil são delimitadas levando-se em consideração, além da divisão hidrográfica, o caráter econômico, social e cultural, permitindo que as bacias sejam agrupadas ou classificadas, conforme suas características físicas e territoriais, para auxiliar a gestão das águas no país.

Na região ARP foram identificados maiores percentuais de área seca acumulada, durante o período de 1990 e 2020, nas UEPGRHs 10 e 12 (> 800%), indicando-as como unidades de maior incidência de secas. Tais percentuais foram relacionados à densidade da rede observacional, identificando as UEPGRHs 7, 3, 4 e 12 como unidades mais críticas que necessitam de estudos que visem a gestão e mitigação de secas.

A partir da proposta da análise integrada da vulnerabilidade dos setores de recursos hídricos em relação à ocorrência de secas na região ARP, foram identificadas as UEPGRHs 11 (Baixo Tietê) e 14 (Turvo-Grande) como unidades mais críticas (2,25), apresentando vulnerabilidade a seca média à alta dos setores agrícola, hidroelétrico e abastecimento urbano, seguidas pelas UEPGRHs 10 (Aguapeí), 8 (Baixo Rio Grande), 12 (Peixe) e 13 (São José dos Dourados).

Essa classificação permite complementar a visão das agências de bacias a respeito das consequências das secas na gestão dos setores usuários, sendo extremamente importante em áreas como a RH Paraná de grande relevância para o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Assim, conclui-se que a capacidade de gestão das unidades hídricas, deve ser analisada sob diferentes perspectivas para aprimorar o uso da água na região Alto Rio Paraná, tendo em vista em que o cenário de secas indica uma persistência na diminuição das chuvas e que a rede observacional nacional, base para diversas pesquisas hidroclimáticas, é insuficiente e encontra-se cada vez mais defasada.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, O. E. C. **Informação Hidrometeorológica na regulação do setor elétrico brasileiro**: indicadores de avaliação de disponibilidade hídrica. 2014. 72 p. Relatório final de projeto de pesquisa (Pós-doutorado em Ciências Atmosféricas) – Universidade de São Paulo, Instituto de astronomia, geofísica e ciências atmosféricas, São Paulo, 2014.
- ALMEIDA, A. T. **Impactos do fenômeno El Niño Oscilação Sul na variabilidade climática e seus efeitos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras**. 2014. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.
- AMORIM, P. B. DE; CHAFFE, P. L. B. Integrating climate models into hydrological modelling: What’s going on in Brazil? **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, p. 1-17, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Catálogos de Metadados**. Unidade Hidrográfica, Região Hidrográfica, Gestão, Comitê de Bacia, 2014. GEOFT_UNIDADE_HIDRO_ESTADUAL. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília: ANA, 163 p, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos**: avaliações e diretrizes para adaptação. Brasília: ANA, GGES, 93 p, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília: ANA, 100 p, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Resolução nº 77, de 1 de junho de 2021, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA**, “Declara situação crítica de escassez quantitativa dos recursos hídricos na Região Hidrográfica do Paraná”, Diário Oficial da União em 01/06/2021, Brasília, DF. 2021a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Monitor de Secas**. 2021b. Disponível em: <<https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=11&ano=2021>>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**: Relatório Pleno. Brasília: ANA, 2021c. Disponível em: <<https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Atlas Água: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília: ANA, 332 p, 2021d. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/files/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf/ANA_ATLAS_Aguas_AbastecimentoUrbano2021.pdf>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Sistema Interligado Nacional**. 2021e. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar/sin>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. Ed. Brasília: ANEEL, 243 p, 2005.

ARNELL, N. W. **Scenarios for hydrological climate change impact studies**. In.: OLIVER, H. R.; OLIVER, S. A. (org.). The role of water and the hydrological cycle in global change. NATO ASI Series. Series I: Global Environmental change, v. 31, 389-407 p, 1995.

ARNELL, N; LIU, C. **Hydrology and water resources**. In.: IPCC. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge: Cambridge UP, 191-234 p, 2001.

ARYAL, Y. N. et al. Long term changes in flooding and heavy rainfall associated with North Atlantic tropical cyclones: Roles of the North Atlantic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Hydrology**, v. 559, p. 698-710. 2018. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.072>>.

ASONG, Z. E., et al. Regionalization of precipitation characteristics in the Canadian Prairie Provinces using large-scale atmospheric covariates and geophysical attributes. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 29, 875-892 p, 2015.

AZAM, M. F., et al. Snow and ice melt contributions in a highly glacierized catchment of Chhota Shigri Glacier (India) over the last five decades. **Journal of Hydrology**, vol 574. Jul/2019. 760-773 p. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.075>>.

AZEVEDO, A. L. La Niña e desequilíbrio na Amazônia dificultam saída da crise hídrica. **O Globo**. 2021. Disponível em: <<https://infoglobo.pressreader.com/o-globo>>.

BADRELDIN, G.H.; PING, F. Regional rainfall frequency analysis for the Luanhe Basin – by using L-moments and Cluster Techniques. **APCBEE Procedia**, 126-136 p, 2012. <doi: 10.1016/j.apcbee.2012.03.021>.

BARNSTON, A. How ENSO leads to a cascade of global impacts. ClimateWatch Magazine. **National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA**. 2014. <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/how-enso-leads-cascade-global-impacts>>.

BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Variability of the South Atlantic Convergence Zone simulated by an atmospheric general circulation model. **Journal of Climate**, v. 15, 745-763 p., 2002.

BASSO, R. E. **Estimativa de chuvas intensas em locais sem dados no Rio Grande do Sul**. 190 p., 2019. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2019.

BATISTA, M. L. **Precipitação máxima diária anual na Região Sudeste do Brasil: distribuição de probabilidade e análise espacial**. 2013. 68 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BECKER, A., 1992. Criteria for hydrologically sound structuring of large scale land surface process models. In: **Advances in theoretical hydrology**. Elsevier. 97-111 p.

BECKER, A., NEMEC, J. 1987. Macroscale hydrologic models in support to climate research. In: **Vancouver International Symposium**, 1987. The influence of climate change and climate variability: proc., Wallingford, IAHS n.168, 431-445 p.

BELLO, I. P. **Regionalização de chuva intensa para o estado de Minas Gerais**. 2019. 71 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110 p.

BERNDT, C.; HABERLANDT, U. Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany - Influence of temporal resolution and network density. **Journal of Hydrology**, vol. 15, 184-202 p. 2018. <<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.02.002>>.

BHATTI, A. M. et al. Climate change impact assessment on mountain snow hydrology by water and energy budget-based distributed hydrological model *Journal of Hydrology*. **Journal of Hydrology**, v. 543, B, p. 523-541, 2016.

BOLFE, E. L. **A evolução histórica dos Sistemas de Informações Geográficas**. Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 2011. 20 p.

BORGES, de A. P.; CHAFFE, P. B. Towards a comprehensive characterization of evidence in synthesis assessments: the climate change impacts on the Brazilian water resources. **Climatic change**, v. 1, p. 1-21, 2019.

BORK, C. K. **Regionalização de vazões mínimas para o estado do Rio Grande do Sul**. 2018. 156 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Pelotas, 2018.

BRAGA, H. A.; MOLION, L. C. B. A seca de 2013/2014 na região Sudeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**. V. 41, n. 1. 2018. DOI: <https://doi.org/10.11137/2018_1_100_107>.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Instrução Normativa nº 01**, de 24 de agosto de 2012 do Ministério da Integração Nacional, 2012. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/documents/10157/3776390/Instru_Normativa_01.pdf/8634a6e3-78cc-422a-aa1d-7312ce7f1055>.

BRITO, S. S. B. et al. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2018.

BUENO, J. C. M. et al. Fases do ENOS e características da precipitação pluvial e temperatura na região de Guarapuava, sul do Brasil. **Research, Society and Development**. Vol. 9, n. 5, 2020. 1-21 p. <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3117>>.

CAPOTONDI, A. et al. Understanding ENSO diversity. **American Meteorological Society**. V. 96, ed. 6. 2015. 921-938 p. <<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00117.1>>.

CARDOSO, M. R. D., et al. Classificação climática de köppen-geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, 2014, 40-55 p.

CARAM, R. O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no estado de Minas Gerais**. 2007. 107 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 47, n. 9. set. 2012. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900008>>.

CARVALHO, K. S.; WANG, S. Characterizing the Indian Ocean sea level changes and potential coastal flooding impacts under global warming. **Journal of Hydrology**, vol. 569, fev./2019. 373-386 p.

CBH-AP – COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2019**. Ano Base: 2018. 82 p. Marília: CBH-AP. 2019.

CBH-BT – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2019**. Ano Base: 2018. 58 p. São José do Rio Preto: CBH-BT. 2019.

CBH-SJD – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Relatório de situação dos recursos hídricos UGRHI 18**. Ano Base: 2018. 116 p. São José do Rio Preto: CBH-SJD. 2019.

CBH-TG – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA TURVO/GRANDE. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2019**. Ano Base: 2018. 81 p. Birigui: CBH-TG. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 336 p, 2020.

CHRISTENSEN, N. S. et al. The Effects of Climate Change on the Hydrology and Water Resources of the Colorado River Basin. **Climatic Change**, 62, 337-363 p, 2004.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science Publishers, 129 p, 1979.

COELHO, A. C. et al. Unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos: Uma proposta metodológica. In: Anais 7o Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Silusba, Portugal. 2005.

COELHO, C. A. S. et al. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Revista Climanálise**. 2016.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001. 194 p.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for spatial data**. New York, John Wiley & Sons, 920 p, 1991.

CUNHA, G. R. et al. El Niño/La Niña – Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto**. 2011. 18-22 p.

DAD, S. BENABDESSELAM, T. Regional frequency analysis of extreme precipitation in northeastern Algeria. **Journal of Water and Land Development**. 2018, n. 39, 27-37 p. <DOI: 10.2478/jwld-2018-0056>.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Banco de dados hidrológicos**. Disponível em: <<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>>.

DAI, A. Drought under global warming: a review. **Rev. Clim. Chang**. 2011, vol. 2, 45-65 p. <DOI: 10.1002/wcc.81>.

DALRYMPLE, T. Flood frequency analysis. US Geological Survey. **Water Supply Paper**, 15433 A.

DAVEY, M. K.; BROOKSHAW, A.; INESON, S. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. **Climate Risk Management**. Vol. 1. 2014. 5-24 p. <<https://doi.org/10.1016/j.crm.2013.12.002>>.

DEBASTIANI, A. B. et al. Predições geoestatísticas e zonas de incerteza no inventário de povoamentos florestais. **Advances in Forestry Science**. V. 5, n. 1. 2018. 283-287 p. <DOI:10.34062/afs.v5i1.5692>.

DELHOMME, J. P. **Applications de la théorie des variables regionalisées dans les sciences de l'eau**. Tese (Doutorado). Paris: Université Pierre et Marie Curie. 1976. 130 p.

DITTUS, A. J. et al. Understanding the role of sea surface temperature-forcing for variability in global temperature and precipitation extremes. **Weather and Climate Extremes**. Vol. 21. Set/2018. 1-9 p. <<https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.06.002>>.

DROGUE, G.; KHEDIRI, W. B. Catchment model regionalization approach based on spatial proximity: Does a neighbor catchment-based rainfall input strengthen the method? **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 8, 2016. 26-42 p.

DUTTA, R.; MAITY, R. Time-varying network-based approach for capturing hydrological extremes under climate change with application on drought. **Journal of Hydrology**, v. 603, part B, 2021. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126958>>.

ELESBON, A. A. A. et al. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.5, p.838-851, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 356 p, 2018.

FANG, X.; POMEROY, J. W. Diagnosis of future changes in hydrology for a Canadian Rockies headwater basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, 24. 2020. 2731-2754 p. <<https://doi.org/10.5194/hess-24-2731-2020>>.

FANSHAWE, T.R.; DIGGLE, P.J. Bivariate geostatistical modelling: A review and an application to spatial variation in radon concentrations. **Environ. Ecol. Stat.** 2012, 19, 139–160 p. <doi.org/10.1007/s10651-011-0179-7>.

FERNANDES, D. S. et al. **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 48 p, 2009.

FERREIRA, C. C. **Proposta de zoneamento ambiental das paisagens para o alto curso da bacia hidrográfica do rio Sucuriú, Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2016. 211 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2016.

FUJITA, R. H. **Geomorfologia e evolução quaternária da calha do Alto Rio Paraná, no segmento livre de barramentos, entre os reservatórios de Porto Primavera e Itaipu**. 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2014.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. **Plano Nacional de Recursos Hídricos – Contrato Administrativo Nº 003/96 – Relatório de Consolidação dos Trabalhos Realizados e R.H. Paraná**. São Paulo: 1998.

CINGRAS, D.; ADMOWSKI, K. Homogeneous region delineation based on annual flood generation mechanisms. **Hydrological Sciences Journal**. V. 38, 2, 1993. 103-121 p. <DOI:<https://doi.org/10.1080/02626669309492649>>.

- GOIS, G. de. **Caracterização da seca e seus efeitos na produção da cultura do milho para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais**. 2005. 81 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- GOMES, E. P., et al. Formação de regiões homogêneas de precipitação por agrupamento fuzzy c-means. In: **XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**, 2016, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas, 2016.
- GREENWOOD, J. A., et al. Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. **Water Resources Research**. V. 15, n. 5, 1979. 1049-1054 p.
- GUHA-SAPIR, D., et al. **Annual Disaster Statistical Review 2011: the numbers and trends**. CRED, Brussels, 2012. Disponível em: <http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2011.pdf>
- HAO, Z. H. et al. Quantifying the relationship between compound dry and hot events and El Niño–southern Oscillation (ENSO) at the global scale. **Journal of Hydrology**, v. 567, out./2018, p. 332-338. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.022>>.
- HARTIGAN, J. A., **Clustering Algorithms**, Wiley, New York, 1975, apud Statsoft Inc., Electronic Statistics Textbook, Statsoft, Tulsa, OK, Estados Unidos. (<http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>).
- HAYES, M. J. 2006. Drought Indices. **Van Nostrand's Scientific Encyclopedia**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. <Doi: 10.1002/0471743984.vse8593>.
- HENGL, T. **A practical guide to geostatistical mapping**, ed. 2, 292 p. Luxemburgo: OPEC, 2009.
- HELLIES, M. **Extreme rainfall regime characterization in Sardinia using daily rainfall data**. 2015. 249 p. Tese – (Doutorado em Engenharia de Pesquisa do Território) – Università degli Studi di Cagliari. Sardenha. 2015.
- HER, Y. et al. Uncertainty in hydrological analysis of climate change: multiparameter vs. multi-GCM ensemble predictions. **Scientific Reports**. 9. 1-22 p. 2019.
- HERNANDES, A. et al. Uso da água na bacia hidrográfica do Turvo/Grande – SP. **XVI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. CONIRD 2006. Goiânia. 2006.
- HOSKING, J.R.M. The theory of probability weighted moments. **Research Report**. RC 12210. Yorkton Heights: IBM Research Division, 160 p, 1986.
- HOSKING, J.R.M. Fortran routines for use with the method of L-moments. **Research report**. RC 20525(90933) 8/5/96, revision 7/25/05. IBM Research Division, 33 p, 2005.
- HOSKING, J.R.M.; WALLIS, J.R. **Regional frequency analysis: an approach based on L-moments**. Cambridge University Press, Cambridge, 224 p, 1997.

HU, Q. et al. Rainfall Spatial Estimations: A Review from Spatial Interpolation to Multi-Source Data Merging. **Water**, vol. 11, ed. 579. 1-30 p. 2019. <doi:10.3390/w11030579>.

HUIJBREGTS, C.J. **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data**. In: DAVIS, J.C. & MC CULLAGH, M. J. (ed.) Display and analysis of spatial data. John Wiley, 38 - 53 p., 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES - INGC. **Plano de Contingência: Época chuvosa e de ciclones 2003/2004**. República de Moçambique. 12p., 2003.

IPCC. Resumo para Decisores. In.: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas - Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA, 2013. 203 p.

IPCC. **Climate change 2014: Synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

Irwin, Sarah E. **Assessment of the Regionalization of Precipitation in Two Canadian Climate Regions: A Fuzzy Clustering Approach**. 2015. Electronic Thesis and Dissertation Repository. 3052. <<https://ir.lib.uwo.ca/etd/3052>>.

ITAIPU. Bacia do Rio Paraná. **Itaipu Binacional**, 2020. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/bacia-do-rio-parana>>.

IWASHIMA.; YAMAMOTO. T. A statistical analysis of the extreme events: long-term trend of heavy daily precipitation. **J. Meteorol. Soc. Japan**, 71. 637-640 p., 1993. <https://doi.org/10.2151/jmsj1965.71.5_637>.

JAHN, M. Economics of extreme weather events: Terminology and regional impact models. **Weather and Climate Extremes**. 2015. 29-39 p. <<https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.005>>.

JARDIM, C. H. A crise hídrica no sudeste do Brasil: aspectos climáticos e repercussões ambientais. **Revista tamoios**, São Gonçalo, RJ. v. 11, n. 2, 67-83 p. 2015. <DOI: 10.12957/tamoios.2015.16517>.

JIN, F. F. An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model. **J. Atmos. Sci.**, 54, 811-829 p., 1997.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining Geostatistics**. New York: Academic Press. 1993.

JUNQUEIRA, R. **Índices de severidade de seca para a bacia hidrográfica do rio Tocantins**. 2019. 78 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2019.

KARL. et al. Decreasing diurnal temperature range in the United States and Canada from 1941-1980. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 23, 1489-1504 p. 1984.
<[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1489:DDTRIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1489:DDTRIT>2.0.CO;2)>.

KAZAMA, S.; OKI, T. The effects of climate change on water resources. *Global Environmental Research*. 2006. 201-206 p.

KIM, T. W.; JEHANZAIB, M. Drought risk analysis, forecasting and assessment under climate change. *Water* (Switzerland), [S. l.], v. 12, n. 7, 1–7 p., 2020. <DOI: 10.3390/W12071862>.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading. 1. Ed, 2006. ISBN – 85-87755-03-X.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. *Journal South African*. Institute. Mining Metall, n. 52, p. 119-139, 1951.

KUMAR, P.; LIU, W.; CHU, X.; ZHANG, Y.; LI, ZHIHUI. Integrated water resources management for an inland river basin in China. **Watershed Ecology and the Environment**, v. 1, 2019, 33-38 p. <<https://doi.org/10.1016/j.wsee.2019.10.002>>.

KUNDZEWICZ, Z. W. et al. Uncertainty in climate change impacts on water resources. **Environmental Science & Policy**, v. 79, p. 1-8, 2018.

LACOSTE, Y. **La géographie, ça sert, d'abord, à faire la guerre**. Paris: François Maspero, 1 ed. 1976.

LAFFOLEY, D.; BAXTER, J. M. (orgs). **Explaining ocean warming**: Causes, scale, effects and consequences. Full report. Gland, Switzerland: IUCN. 2016. 456 p.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didatica**. 2 (1). 19-33 p. 2006. <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>>.

LANDIM, P.M.B. **Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 15, 229 p. 2010. Disponível em:
<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/MULTIVAR.pdf>>.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. UNESP. 1998.

LI, X. et al. The Relationship between Contiguous El Niño and La Niña Revealed by Self-Organizing Maps. **Journal of Climate**. Vol. 28. 2015. 8118-8134 p.
<<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0123.1>>.

LIMA, R. P. C. **Avaliação de Índices de severidade de seca na bacia do rio Doce visando ao desenvolvimento de sistema de classificação de secas.** 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

LIMA, R. P. C. **Avaliação de índices de severidade de seca na bacia do rio Doce visando ao desenvolvimento de sistema de classificação de secas, Viçosa, MG,** 2016, 98 p. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal de Viçosa). Departamento de Engenharia Agrícola. Minas Gerais. 2017.

LIMA, C.G.R. et al. Variabilidade espaço-temporal das águas subterrâneas do aquífero Bauru impróprias para o consumo humano: concentrações de Bário, Crômio Total e Vanádio. **Pesquisa em Geociências**, v. 47, n. 2, 2020.

LIN, J.; QIAN, T. Switch between El Niño and La Niña is caused by subsurface ocean waves likely driven by lunar tidal forcing. **Science Report**. 9, 13106. 2019. <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-49678-w>>.

LINDSEY, R. **National Oceanic and Atmospheric Administration.** U.S. Department of Commerce. Climate Change: Ocean Heat Content. 2020. <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>>.

LIU, D. et al. Assessing the effects of adaptation measures on optimal water resources allocation under varied water availability conditions. **Journal of Hydrology**, Vol. 556, jan/2018. 759-774 p.

LOBEL, F. et al. **Drought in Southeast Brazil Hits 133 Cities with consequences for the economy.** 2014.

LU, Y. **Regional Flood Frequency Analysis for New foundland and Labrador Using the L-Moments Index-Flood Method.** Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland. St. John's. 2016. 211 p.

MACEDO, L. G. M. et al. Geoestatística aplicada a Hidrogeologia para confecção de mapas potênciométricos. **XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.** 12 p. 2014.

MACKAY, J. D. et al. Future evolution and uncertainty of river flow regime change in a deglaciating river basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, 23. 2019, 1833-1865 p. <<https://doi.org/10.5194/hess-23-1833-2019>>.

MACQUEEN, J. B. **Some methods for classification and analysis of multivariate observations.** In L. M. Le Cam & J. Neyman (Eds.), Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. v. 1. California: University of California Press. 281–297 p. 1967.

MAKARA, C. N. et al. Previsão espacial dos teores de elementos-traço em depósitos de veículos com base em modelagem geoestatística. **Revista Ibero Americana de**

Ciências Ambientais, v.11, n.5, p.317-330, 2020. DOI:
<<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0029>>.

MALFATTI, M. G. L. et al. Identificação de regiões pluviométricas homogêneas na Bacia do Rio Paraná. **Geociências**, v. 37, n. 2, 409-421 p. São Paulo, 2018.
MAPBIOMAS – Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2019.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol. 28, n. 4, 2013. 429-440 p. <<https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000400009>>.

MARENGO, J. A. et al. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of Climate**. 26, 2013. 9137-9154 p.

MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. Rede Clima. INCT. **Mudanças Climáticas**. 33 p. 2015.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p. 485-494, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

MATHERON, G. **Traité de Géostatistique Appliquée** – Tome I. Paris, Editions Technip. 333 p. 1962.

MATO GROSSO DO SUL. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul/IMASUL. Diretoria de Licenciamento. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Mato Grosso do Sul**, MS, 2014/2015 Campo Grande, MS, 2016. 185 p.

MEDEIROS, E. S. et al. Modeling spatiotemporal rainfall variability in Paraíba, Brazil. **Water**, vol. 11, 1843. 2019. <[doi:10.3390/w11091843](https://doi.org/10.3390/w11091843)>.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013, 455p.

MELO, D. C. D. **Propagação de secas na bacia do rio Paraná: do evento climático ao impacto hidrológico**. 2017. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 182 p. 2017.

MEDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. **Escalas Hidrológicas I: conceitos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 2, n. 2, jul./dez. 1997. 59-79 p.

MENDONÇA, F. et al. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.

MERCHANT, C. J. et al. **Global sea surface temperature**. In.: HULLEY, G. C.; GHENT, D. (orgs). Taking the temperature of the Earth: Steps towards integrated

understanding of variability and change. Elsevier. 2019. 5-55 p.
<<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814458-9.00002-2>>.

MINUZZI, R. B. et al. Influência do fenômeno climático El Niño no período chuvoso da região Sudeste do Brasil. **Geografia**. V. 15, n. 2, jul./dez. 2006. 5-19 p.

MOREIRA, S. F. et al. A influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica. **Multidisciplinary Reviews**. v. 1, 1 - 7 p. 2018. <DOI:10.29327/multi.2018014>.

MUTHUSAMY, M. et al. Geostatistical upscaling of rain gauge data to support uncertainty analysis of lumped urban hydrological models. **Hydrol. Earth. Syst. Sci.**, vol. 21, 1077-1091 p. 2017. <doi:10.5194/hess-21-1077-2017>.

NAGHETTINI, M; PINTO, É. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NATHAN, R.J.; MCMAHON, T.A. Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses. **Water Resources Research**, 26, 1465-1473 p. 1990.

NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL - NERC. **Flood Studies Report**. v. 1, 1975.

NEELIN, J. D. The slow sea surface temperature mode and the fast-wave limit: analytic theory for tropical interannual oscillations and experiments in a hybrid coupled model. **J. Atmos. Sci.** 48, 584–606 p. 1991.

NELSON, S. A. **The ocean-atmosphere system**. Class notes Natural Disasters. Tulane University, Department Earth & Environmental Sciences. New Orleans. 2016.

NERY, J. T. et al. Distribuição da precipitação pluvial no estado de São Paulo. Simpósio. **Climatologia Geográfica**. 10 p. 2004.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **El Niño and La Niña: Frequently asked questions**. 2016. < <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a-frequently-asked-questions>>.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Climate Prediction Center**. El Niño - Southern Oscillation.
<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. 2021.

NULL, J. **El Niño and La Niña years and intensities**. Golden Gate Weather Services. 2020. <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>.

OLIVEIRA, L. F. C. **Chuvas extremas no Brasil: modelos e aplicações**. Lavras: Editora UFLA. 2019. 388 p.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - **ONS**. 2021.
<<http://www.ons.org.br/>>.

"ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL - OMM. **Methods of observation**. In: Guide to Hydrological Practices: hydrology from measurement to hydrological information. 6. ed. Geneva, Switzerland, 2008. v. 1, cap. 2, p. 24-27. (WMO - n. 168). <http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_en.pdf>.

PAGLIERO, L. et al. Investigating regionalization techniques for large-scale hydrological modelling. **Journal of Hydrology**. 2019. 220-235 p.
<<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.071>>.

PARH/AGBP. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Claro, Verde, Correntes e Aporé ou Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba** – PRH Paranaíba. ANA, 2013. 180 p.

PARH/AMBP. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba** – PRH Paranaíba. ANA, 2013. 189 P.

PARH/SANTANA-APORÉ. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Santana-Aporé** – PRH Paranaíba. ANA, 2013. 165 p.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. Roy. Soc. Lond. Math. Phys. Sci.**, 193 (1032) (1948), 120-145 p. 1948.

PEREIRA, D. N. B.; NEVES, G. Z. F.; VECCHIA, F. A. D. Variabilidade climática e a influência do ciclo nodal lunar. Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento. **Instituto de Geociências** - Unicamp. Campinas. 2698 - 2704 p.
<<https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2448>>.

PERH/GO. Produto 5: **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Goiás**. Revisão Final: set. 2015. 290 p.

PERH/IGAM. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IGAM, 2010. 518 p.

PERH/MS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia e Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Campo Grande: UEMS, 2010. 194 p.

PERH/SP. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo**. PERH 2016-2019. Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos. São Paulo: SSRH, 2017. 251 p. <<http://www.sigrh.sp.gov.br/>>.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309 p.

PIRH/GRANDE. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Grande** – Relatório Final. ANA; CBH – Rio Grande, 2017. 310 p.

PNRH. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraná. Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 240 p.

PNRH-DBR. **Documento Básico de Referência do Plano Nacional De Recursos Hídricos** – PNRH-DBR (2005). SRH/MMA/ANA/ CNRH, versão repassada pela SRH em maio de 2005.

PEDREIRA JUNIOR, A. L. et al. Influence of El Niño and La Niña phenomena on seasonality of the relative frequency of rainfall in southern Amazonas mesoregion. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, e. 24, p. 1-8. Porto Alegre. 2020.

PRUSKI, F. F. et al. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. **Water Sources and Irrigation Management** – V. 1 – no 1 –Campina Grande, PB, UFRB/INS, 51-59 p. 2012.

QGIS. Equipe de Desenvolvimento, 2021. **Sistema de Informação Geográfica QGIS**. Fundação Geoespacial de Código Aberto. <<http://qgis.org>>.

RAFEE, S. A. A. et al. Large-Scale Hydrological Modelling of the Upper Paraná River Basin. **Water**. Vol. 11, 882. 2019. 1-20 p. <<https://doi.org/10.3390/w11050882>>.

RAO, A.R.; SRINIVAS, V.V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis, **Journal of Hydrology**. 318, 57-79 p. 2006.

RASHEED, A. et al. A Novel Approach for Delineation of Homogeneous Rainfall Regions for Water Sensitive Urban Design: A Case Study in Southeast Queensland. **Water**. 2019, v. 11. <[doi:10.3390/w11030570](https://doi.org/10.3390/w11030570)>.

REN, H.; JIN, F. Recharge oscillator mechanisms in two types of ENSO. **J. Climate**, 26, 6506–6523 p. <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00601.1>>.

REN, F. et al. A research progress review on regional extreme events. **Advances in Climate Change Research**. 2018. 161-169 p. <<https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.08.001>>.

RENÓ, V. F. et al. Caracterização espectral das águas da Planície do Rio Paraná a partir de imagens Landsat TM. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4821-4828.

RITCHIE, B. W. Chaos, crises and disasters: a strategic approach to crisis management in the tourism industry. **Tourism Management**, v. 25, n. 6, p. 669–683, 2004.

ROBERTSON, G. P. **GS+: geostatistics for environmental sciences**. 7.ed. Michigan: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. dos. Hydrological analysis in water basins. **Mercator**. Fortaleza, v. 17, e17025, 2018. 1-18 p. <<https://doi.org/10.4215/rm2018.e17025>>.

SALEHNIA, N. et al. Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. **Journal of Arid Land**. 2017, v. 9, n. 6. 797-809 p. <<https://doi.org/10.1007/s40333-017-0070-y>>.

SALGUEIRO, J. H. P. B. **Avaliação de Rede Pluviométrica e Análise de Variabilidade Espacial de Precipitação: Estudo de Caso na bacia do rio Ipojuca em Pernambuco**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 124 p. 2005.

SALLUN, A. E. M. et al., J. C. Proposição formal do Alogrupo Alto Rio Paraná (SP, PR e MS). **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Vol. 7, n. 2. Out/2007, 49-70.

SANTOS, J. G.; FERREIRA, V. O. A variabilidade pluviométrica na Mesorregião do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, MG. **GeoTextos**. v. 12, n. 1. 2016. <<https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v12i1.15791>>.

SATYANARAYANA, P.; SRINIVAS, V. V. Regional frequency analysis of precipitation using large-scale atmospheric variables. **J. Geophys. Res.**, 113, pp. D24110. 2008. <[doi:10.1029/2008JD010412](https://doi.org/10.1029/2008JD010412)>.

SATYANARAYANA, P.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables—A fuzzy clustering approach. **J. Hydrol.**, 405, 462–473 p. 2011.

SCHOPF, P. S.; SUAREZ, M. J. Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model. **J. Atmos. Sci.**, 45, 549-567 p. 1988.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH. **Proposta de instituição do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios do Sudoeste Goiano – CBH Sudoeste Goiano**. set. 2011. 25 p.

SHI, W.; LU, C.; WERNER, A. D. Assessment of the impact of sea-level rise on seawater intrusion in sloping confined coastal aquifers. **Journal of Hydrology**. Vol 586, July/2020. 124872.

SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – **SEADE**. 2018. <<https://www.seade.gov.br/>>.

SILVA, L. F. de S. D. **Formação Serra Geral (Cretáceo, Bacia do Paraná): um modelo análogo para reservatórios não convencionais fraturados**. 2015. 73 f. Monografia (Bacharel em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2015.

SILVA, L. R. S. Monitoramento hidrometeorológico no Brasil: uma análise sob a ótica da coordenação de políticas públicas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 18, ed. 3. 2021. <21168/reg.v18e3>.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH. **Hidroweb**. v. 3.2.6. Sistema de informações hidrológicas. <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>.

SRINIVAS, V. V. Regionalization of Precipitation in India - A Review. **Journal of the Indian Institute of Science**, 93(2): 153-162 p. 2013.

STAGL, J. et al. Effects of climate change on the hydrological cycle in Central and Eastern Europe. In.: RANNO, S.; NEUBERT, M. (eds). Managing protected areas in Central and Eastern Europe under climate change. **Advances in Global Change Research**, v. 58. Springer, Dordrecht. 2014. 31-43 p.

STEPHENS, G. L. et al. Earth's water reservoirs in a changing climate. **Proceedings of the Royal Society A**. 476: 20190458. 2020. 34 p. <<https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0458>>.

STEVAUX, J. C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, v. 72, p. 73–85, 2000.

STURARO, J. R. **Apostila de geoestatística básica**. 34 p. 2015. Disponível em: <<http://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/geologiaaplicada/apostila-basica.pdf>>.

TAKAHASHI, K. **Modelos climáticos y sus errores promedio en el Pacífico**. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Junio, 2, 6, 4-8 p. 2015.

TASKER, G. D., Simplified testing of hydrologic regression regions. **Journal of Hydraulics Division**, ASCE, V. 108, n. 10, 1218-1222 p. 1982.

TEIXEIRA, C. F. A. et al. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Ver. Ambient. Água**. Dez./2013, vol. 8, n. 3, 203-213 p. <doi:10.4136/1980-993X>.

THOMAS, J.; PRASANNAKUMAR, V. Temporal analysis of rainfall (1871-2012) and drought characteristics over a tropical monsoon-dominated State (Kerala) of India. **Journal of Hydrology**. 534, 2016, 266-280 p. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.013>>.

TRENBERTH, K. E. The **Definition of El Niño**. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 78, N° 12. Dez/1997. 2771-2777 p.

TRYON R.C., **Cluster Analysis**, Edwards Brothers, Ann Arbor, MI, EUA, 1939.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos**. Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. 150 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 944 p. 2009.

VERSIANI, B. R.; CARNEIRO, R. M. F. Identificação de regiões homogêneas na análise regional de precipitações e de vazões máximas na bacia do rio São Francisco, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 3, 67-80 p. 2001.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV: Imprensa Universitária, 2000. 449 p.

VICENTE, G. Z. et al. Variabilidade espacial e temporal no Nitrato e Cloreto no Sistema Aquífero Bauru, estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**. V. 32, n. 3, p. 295-306. 2018.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236 – 244. Mar. 1963.

WAYLEN, P.; WOO, M. Prediction of annual floods generated by mixed processes. **Water Resources Research**, 18(4), 1283-1286 p. 1982.

WESCHENFELDER, A. B. et al. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Equações Intensidade-Duração-Frequência. Município: Porto Alegre, Estação Pluviográfica: Porto Alegre, Código 03051011. CPRM/SGB. Porto Alegre. 2015.

WILHITE, D.A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. **Water International**. 10, 111-120 p. 1985.

WILLEKE, G.; HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **The national drought atlas**. In: Institute for Water Resources Report 94-NDS-4. U.S Army Corp of Engineers. Norfolk, VA. 1994.

WOLFF, W. **Avaliação e nova proposta de regionalização hidrológica para o Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013, 111 p.

WOLFF, W.; DUARTE, S.N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p.21-33, 2014.

WU, X.; OKUMURA, Y. M.; DINEZIO, P. N. What controls the duration of El Niño and La Niña events? **Journal of Climate**. Vol. 32, 2019. 5941-5965 p. <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0681.1>>.

YADUVANSHI, A.; SINHA, A. K. Extreme event characterization for the river basins of Eastern Indian Gangetic Plains. **Hydrology Research**. 49 (1), 210-221 p. 2018. <DOI:<https://doi.org/10.2166/nh.2017.211>>.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**, Rio de Janeiro, 27 (2), abr./jun. 1993. 5-18 p.

YIN, J. et al. Evaluating the cascading impacts of sea level rise and coastal flooding on emergency response spatial accessibility in Lower Manhattan, New York City. **Journal of Hydrology**, vol 555, dec/2017. 648-658 p.

ZALIK, K. ZALIK, B. **Validity index for clusters of different sizes and densities**. Pattern Recognition Letters, 32, 221–234 p. 2011. <doi:10.1016/j.patrec.2010.08.007>.

ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudos geográficos com vista à regionalização climática**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

APÊNDICE A – CONSULTA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS NO PORTAL HIDROWEB

1. Acessar o portal HidroWeb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>).

The screenshot shows the 'Séries Históricas de Estações' page on the HidroWeb portal. At the top, there is a navigation bar with 'HIDROWEB v3.1.1' and 'Acesso Restrito'. Below the title, there is a search section titled 'Pesquisar Estação'. This section contains several input fields: 'Tipo Estação' (a dropdown menu), 'Código da Estação', 'Nome Estação', 'Bacia' (a dropdown menu), 'SubBacia' (a dropdown menu), 'Rio (Selecione Bacia)', 'Estado' (a dropdown menu), 'Município', 'Operando' (a dropdown menu), 'Responsável (Sigla)', and 'Operadora (Sigla)'. At the bottom of the search section, there are two buttons: 'Consultar' (with a magnifying glass icon) and 'Limpar' (with an 'X' icon). A small blue circular icon with a hand is located in the bottom right corner of the search area.

2. Selecionar o tipo de estação.

This screenshot is identical to the previous one, but with the 'Tipo Estação' dropdown menu open. The menu is positioned over the search fields and contains three options: 'Todos', 'Pluviométrica' (which is highlighted in grey), and 'Fluviométrica'. The rest of the interface, including the search fields and buttons, remains the same.

3. Selecionar a bacia de interesse.

HIDROWEB v3.1.1 Acesso Restrito

Séries Históricas de Estações

Pesquisar Estação

3 - ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NOR...

4 - RIO SÃO FRANCISCO

5 - ATLÂNTICO, TRECHO LESTE

6 - RIO PARANÁ

7 - RIO URUGUAI

8 - ATLÂNTICO, TRECHO SUDESTE

9 - OUTRAS

Estação	Nome Estação
	Rio
	Operando

Responsável (Sigla) Operadora (Sigla)

4. Selecionar o estado.

HIDROWEB v3.1.1 Acesso Restrito

Séries Históricas de Estações

Pesquisar Estação

Tipo Estação	Código da Estação	Nome Estação
Pluviométrica		
	Bacia	Rio
	Município	Operando
		Operadora (Sigla)

RONDÔNIA

RORAIMA

SANTA CATARINA

SÃO PAULO

SERGIPE

SURINAME

TOCANTINS

5. Digitar e selecionar o município

HIDROWEB v3.1.1 Acesso Restrito

Séries Históricas de Estações

Pesquisar Estação

Tipo Estação
Pluviométrica

Bacia
6 - RIO PARANÁ

Estado
SÃO PAULO

Município
ILHA SOL

Operando

Responsável (Sigla) Operadora (Sigla)

ILHA SOLTEIRA

Consultar Limpar

6. Consultar (Dados convencionais)

Séries Históricas de Estações

Pesquisar Estação

Tipo Estação
Pluviométrica

Bacia
6 - RIO PARANÁ

Estado
SÃO PAULO

Município
ILHA SOLTEIRA

Operando

Responsável (Sigla) Operadora (Sigla)

Consultar Limpar

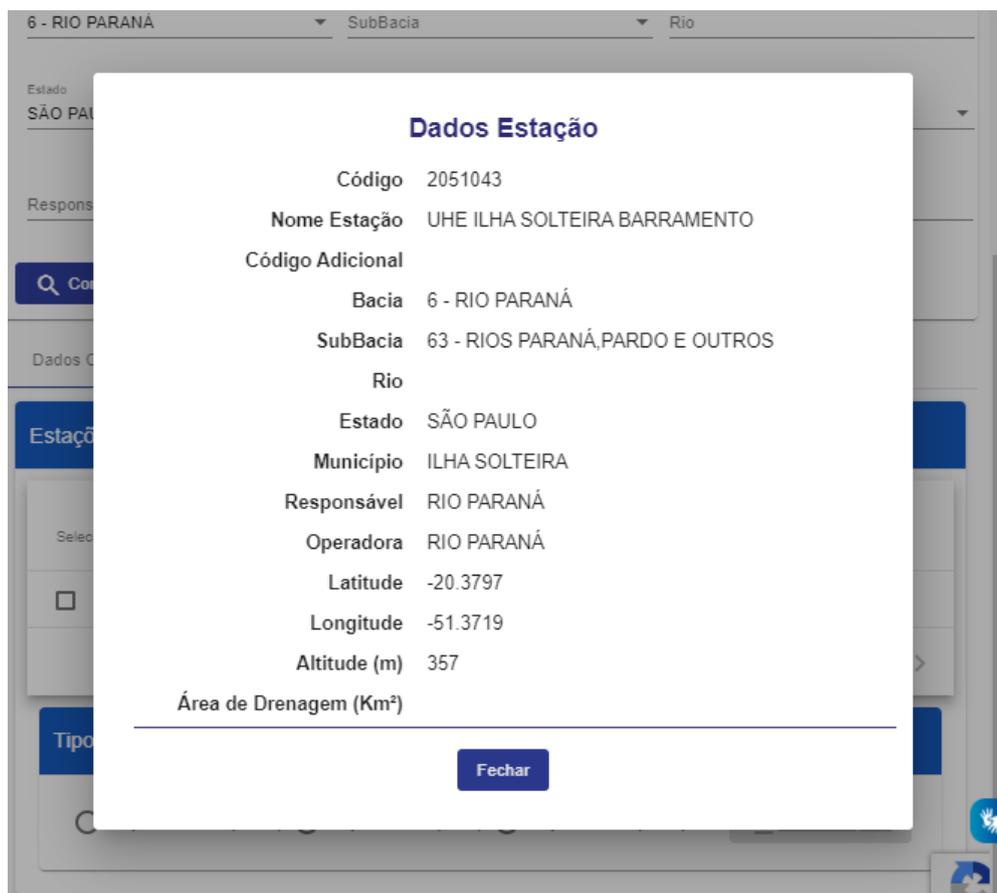
Dados Convencionais Dados Telemétricos

Estações Convencionais

Selecionar	Código	Nome Estação	Tipo Estação
<input type="checkbox"/>	2051043	UHE ILHA SOLTEIRA BARRAMENTO	Pluviométrica

Qtd. por página: 5 1 - 1 / 1

7. Para visualizar as informações das estações, clicar em cima do código.

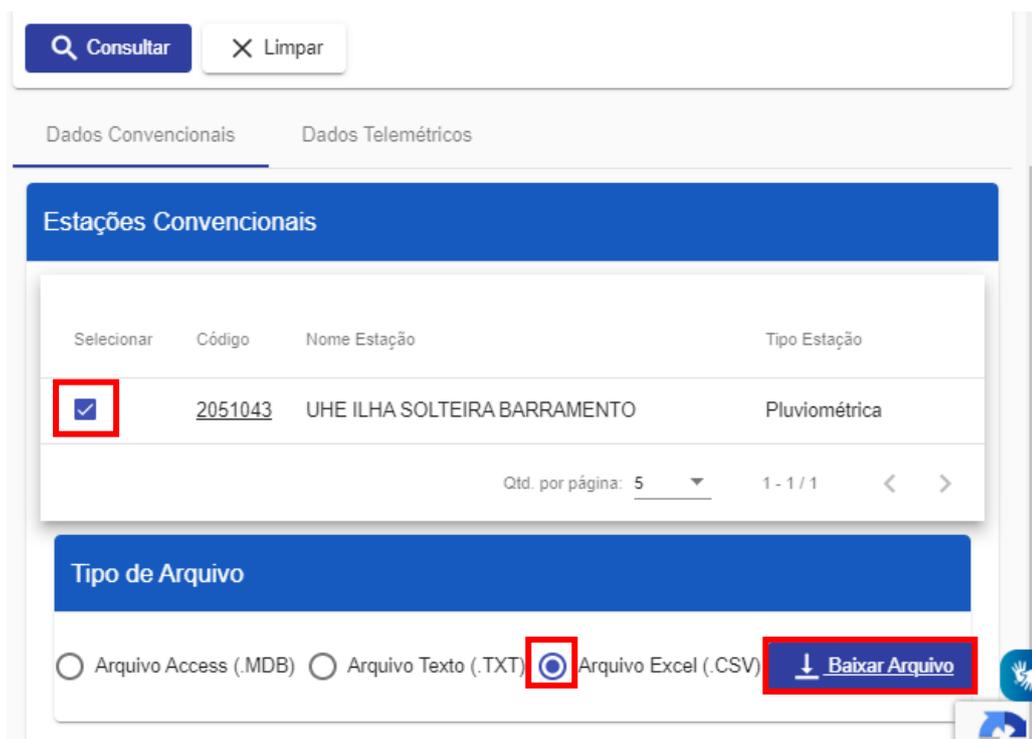


The screenshot shows a modal window titled "Dados Estação" (Station Data) overlaid on a web application interface. The modal contains the following information:

- Código: 2051043
- Nome Estação: UHE ILHA SOLTEIRA BARRAMENTO
- Código Adicional:
- Bacia: 6 - RIO PARANÁ
- SubBacia: 63 - RIOS PARANÁ, PARDO E OUTROS
- Rio:
- Estado: SÃO PAULO
- Município: ILHA SOLTEIRA
- Responsável: RIO PARANÁ
- Operadora: RIO PARANÁ
- Latitude: -20.3797
- Longitude: -51.3719
- Altitude (m): 357
- Área de Drenagem (Km²):

A "Fechar" (Close) button is located at the bottom of the modal.

8. Para *download* dos dados selecione a estação desejada e o tipo de arquivo.



The screenshot shows a web application interface with a search bar at the top containing "Consultar" and "Limpar" buttons. Below the search bar, there are two tabs: "Dados Convencionais" (selected) and "Dados Telemétricos".

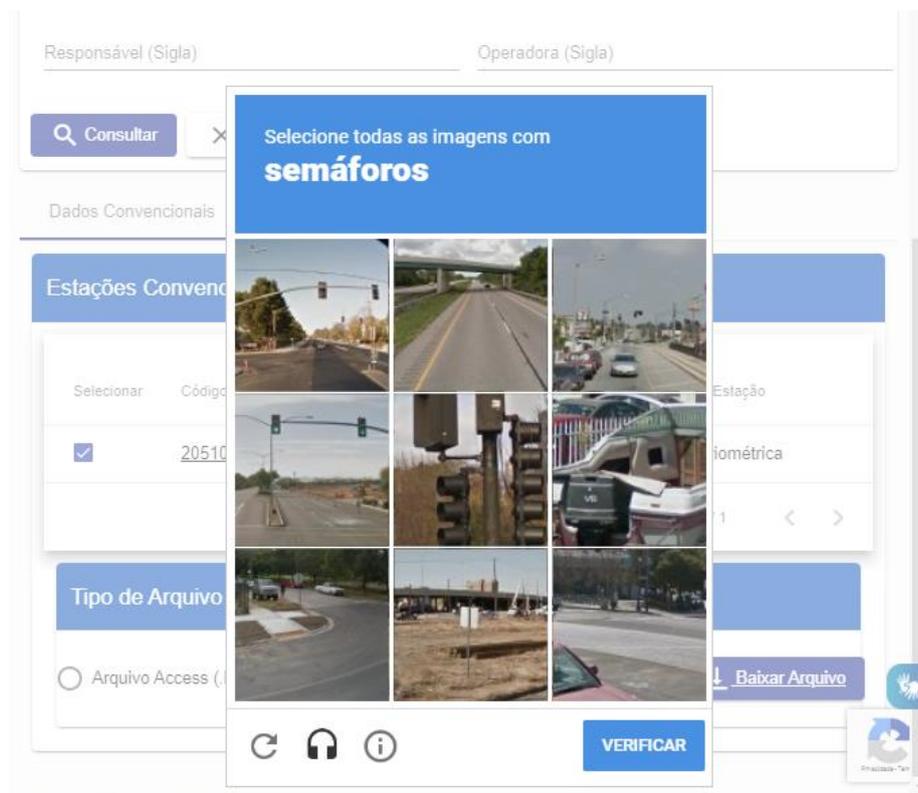
The "Dados Convencionais" section displays a table titled "Estações Convencionais" with the following columns: "Selecionar", "Código", "Nome Estação", and "Tipo Estação".

Selecionar	Código	Nome Estação	Tipo Estação
<input checked="" type="checkbox"/>	<u>2051043</u>	UHE ILHA SOLTEIRA BARRAMENTO	Pluviométrica

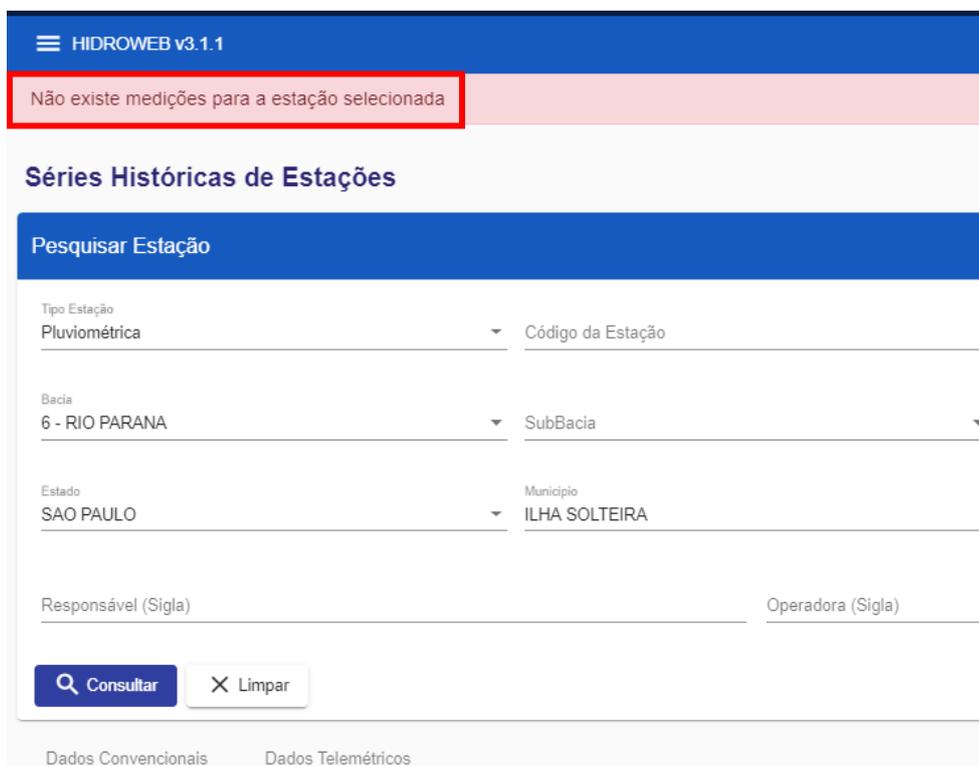
Below the table, there is a pagination control showing "Qtd. por página: 5" and "1 - 1 / 1".

The "Tipo de Arquivo" section shows three radio button options: "Arquivo Access (.MDB)", "Arquivo Texto (.TXT)", and "Arquivo Excel (.CSV)". The "Arquivo Excel (.CSV)" option is selected. A "Baixar Arquivo" (Download File) button is located to the right of the selected option.

9. Responder ao ReCAPTCHA.



10. Caso não exista medições para a estação selecionada a informação aparecerá no canto superior da tela.



APÊNDICE B – PROBLEMAS OBSERVADOS NO PORTAL HIDROWEB

1. Após selecionar todas as estações desejadas para *download* necessita-se que elas sejam desmarcadas para efetuar nova consulta, caso contrário, quando realizado novo *download*, os dados anteriores serão baixados novamente em um mesmo arquivo “.zip”;
2. Caso seja necessário baixar vários dados a caixa de diálogo ReCAPTCHA é atualizada automaticamente diversas vezes, tornando o *download* demorado e exaustivo;
3. Nem todas as estações cadastradas no portal possuem dados disponíveis e a ausência de um campo de filtragem para tal classificação não permite que seja pesquisado apenas estações que possuem medições;
4. A mensagem “Não existe medições para a estação selecionada” funciona corretamente quando é selecionada apenas uma estação pluviométrica. No caso de selecionar diversas estações simultaneamente, a mesma não aparece, impossibilitando o conhecimento (no ato do *download*) de quais estações selecionadas possuem dados disponíveis e quais estão apenas cadastradas no portal;
5. Para que se possa visualizar a mensagem de inexistência de medições o usuário deve rolar a tela rapidamente para a parte superior após clicar no ícone “Baixar Arquivo”, pois a tela não se redireciona sozinha e o aviso desaparece após poucos segundos;
6. As informações relativas às estações, como rio pertencente, responsável, operador, coordenadas, altitude e área de drenagem podem ser visualizadas após clicar em cima do código de cada uma, porém tais dados não podem ser baixados, ou sequer são contidos no arquivo de *download*, tornando-se necessário a catalogação de tais informações de forma manual;

7. Em diversos postos pluviométricos as informações de coordenadas, altitudes e áreas de drenagem são iguais, enquanto em outros tais informações inexistem;
8. Devido à instabilidade do portal algumas estações acusam a mensagem de inexistência de medições, ainda que ela possua dados registrados, fazendo-se necessário a realização de várias verificações para conferir a veracidade do aviso.

**APÊNDICE C – MOMENTOS-L AMOSTRAIS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS
NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ**

ESTAÇÃO	CÓDIGO	L1	L2	t3	t4	t5
CAIAPONIA	1651000	1522,935	260,476	0,139032	0,23986	0,026851
RIOVERDE	1750007	1612,786	122,99	0,436921	0,40247	0,045726
RIOVERDE	1750008	1382,65	170,436	-0,1144	0,200399	0,019138
JATAI	1751000	1715,2	124,075	-0,12878	0,014859	-0,04152
JATAI	1751001	1502,483	199,733	-0,1009	0,222383	-0,04856
JATAI	1751002	1577,548	120,368	0,130844	0,168121	-0,0023
JATAI	1751003	1717,84	152,611	0,074317	-0,13062	-0,14879
MINEIROS	1752002	1603,177	133,464	0,053772	0,150993	0,06286
MINEIROS	1752003	1418,864	202,103	-0,0987	0,247652	-0,06753
MINEIROS	1752004	1684,2	135,027	-0,0606	0,304069	0,037299
JATAI	1752006	1579,665	141,625	0,076232	0,096749	-0,00034
MONTEALEGREMINAS	1848000	1452,007	132,142	0,029475	0,162784	-0,06714
UBERLANDIA	1848001	1453,633	115,627	-0,12624	0,333343	-0,12382
TUPACIGUARA	1848002	1323,157	147,929	-0,29016	0,195944	0,101111
TUPACIGUARA	1848003	1293,782	158,113	0,177779	0,188879	0,181229
TUPACIGUARA	1848004	1322,218	125,931	0,029138	0,096247	0,015728
TUPACIGUARA	1848006	1419,433	157,841	-0,08101	0,197563	0,003914
TUPACIGUARA	1848008	1559,346	161,913	0,007357	0,189484	0,084946
MONTEALEGREMINAS	1848009	1493,15	117,102	0,047881	0,175771	0,037078
UBERLANDIA	1848049	1673,414	110,376	-0,242	0,37068	-0,48233
TUPACIGUARA	1848055	1420,377	115,385	0,177588	0,17497	0,184112
ITUIUTABA	1849000	1386,694	151,738	0,035435	0,116232	-0,00674
IPIACU	1849002	1394,919	152,059	-0,11776	0,1291	-0,01143
MONTEALEGREMINAS	1849003	1390,778	157,135	0,001061	0,075798	0,073334
CANAPOLIS	1849006	1485,364	133,658	-0,0794	0,152819	0,012413
CAPINOPOLIS	1849017	1454,297	106,926	-0,06109	0,032662	0,022375
ITUIUTABA	1849020	1467,267	47,367	-0,10056	0,229064	-0,22766
GURINHATA	1849026	1300,659	104,702	-0,0299	0,014038	-0,01813
QUIRINOPOLIS	1850002	1543,644	150,646	0,164354	0,136559	0,105934
CACHOEIRAALTA	1851000	2099,13	923,389	0,789233	0,841396	0,771245
APORE	1851001	1676,586	142,749	-0,13135	0,111803	0,0626
ITURAMA	1851002	1467,105	188,754	-0,11281	0,188584	-0,00388
CACHOEIRAALTA	1851003	1548,859	149,831	-0,15521	0,155999	0,036359
JATAI	1851004	1581,122	134,186	0,118425	0,203233	0,018451
SERRANOPOLIS	1851005	1587,936	129,095	-0,02124	0,105585	-0,07879
APORE	1852000	1620,743	223,154	0,104091	0,273221	0,119679
CHAPADAODOCEU	1852001	1587,017	212,124	-0,09046	0,0531	0,050947
CHAPADAOSUL	1852002	1694,448	140,976	-0,02486	0,071597	0,028522
CHAPADAOSUL	1852003	1827,355	254,487	0,399483	0,361025	0,17854
CAMAPUA	1853001	1680,79	125,541	0,296039	0,230604	-0,06338
CASSILANDIA	1853003	1827,156	129,631	-0,14716	-0,03026	-0,06743

COSTARICA	1853004	1702,321	120,653	0,183115	0,10669	0,007433
FIGUEIRAO	1853005	1628,811	135,547	-0,00016	0,119413	-0,06178
UBERABA	1947000	1476,908	136,75	-0,12839	0,212276	-0,06128
CONQUISTA	1947002	1494,185	147,249	-0,0449	0,095802	0,015124
SACRAMENTO	1947008	1626,66	171,854	0,044844	0,144518	0,051036
UBERABA	1947016	1661,45	138,38	0,048632	0,120818	0,007843
UBERABA	1947026	1364,573	170,055	0,164126	0,110624	0,049485
CAMPOFLORIDO	1948000	1593,054	297,331	0,171413	0,1854	-0,15632
CONCEICAOLAGOAS	1948001	1413,468	188,92	-0,17806	0,180394	-0,01993
VERISSIMO	1948003	1446,259	131,237	-0,10775	0,066119	0,03428
PRATA	1948005	1645,424	257,043	0,141881	0,146601	0,058222
UBERLANDIA	1948006	1452,62	166,475	0,184889	0,148939	0,029572
CAMPOFLORIDO	1948007	1566,421	141,603	-0,00137	0,107174	0,059221
PIRAJUBA	1948010	1574,9	106,747	0,082349	0,073187	0,064683
PRATA	1948014	1411,438	187,433	0,001827	0,163229	-0,05633
PRATA	1948016	1547,26	143,493	-0,00447	0,192228	0,207752
SAOFRANCISSALES	1949000	1328,977	137,668	-0,10296	0,207465	-0,03504
RIOLANDIA	1949001	1302,415	145,357	-0,12575	0,249235	-0,06995
PRATA	1949002	1433,252	156,174	0,124055	0,133637	0,006074
GURINHATA	1949003	1385,313	122,006	0,057763	0,110656	-0,02388
CAMPINAVERDE	1949004	1409,619	125,621	0,004399	0,195423	-0,02399
COMENDADORGOMES	1949005	1529,728	161,092	0,163218	0,160777	0,106197
ITUIUTABA	1949006	1378,539	139,414	-0,04319	0,155715	0,005415
ITAPAGIPE	1949007	1396,812	130,269	0,034289	0,149721	0,071582
ITURAMA	1950000	1413,723	115,025	0,025992	0,107716	0,051366
MIRAESTRELA	1950001	1292,023	148,034	-0,18536	0,148058	-0,19582
INDIAPORA	1950002	1201,656	188,715	-0,25685	0,223042	-0,12779
POPULINA	1950003	1213,845	175,126	-0,12432	0,240178	-0,11038
SANTAVITORIA	1950011	1311,353	105,129	0,065956	0,088779	-0,04489
ITURAMA	1950012	1346,229	106,801	-0,09362	0,235959	-0,03965
ITURAMA	1950017	1341,976	106,615	-0,10728	0,105376	-0,10983
LIMEIRAOESTE	1950018	1400,389	119,041	0,10279	0,077019	0,048693
ITAJA	1951000	1572,691	204,688	0,125806	0,167025	0,036793
ITAJA	1951001	1492,002	126,203	0,117707	0,123095	0,039718
PARANAIBA	1951002	1412,477	109,282	-0,13934	0,103581	-0,13974
PARANAIBA	1951003	1424,119	107,408	-0,09872	0,147525	-0,04665
CASSILANDIA	1951004	1570,493	142,478	0,12249	0,091472	0,009253
INOCENCIA	1951005	1627,219	194,842	0,14674	0,254442	0,007859
CHAPADAOSUL	1952000	1481,748	180,928	0,085994	0,125892	-0,08371
INOCENCIA	1952002	1513,553	117,789	0,089231	0,087091	-0,04599
INOCENCIA	1952003	1343,615	155,731	0,226992	0,231168	0,242143
AGUACLARA	1953000	1320,426	131,13	-0,03654	0,135244	-0,09927
RIBASRIOPARDO	1953001	1411,093	172,117	0,011471	0,1119	-0,01729
AGUACLARA	1953003	1534,41	182,485	0,278144	0,397951	0,233691
COSTARICA	1953004	1626,4	101,573	0,078766	0,159667	0,025847
CAMAPUA	1954004	1473,756	220,598	-0,02917	0,030405	0,041373

BANDEIRANTES	1954005	1597,948	136,989	-0,24053	0,156669	0,00223
CAMAPUA	1954006	1196,404	134,006	0,055421	0,036292	-0,02498
SACRAMENTO	2047037	1666,011	153,837	0,08748	0,155735	0,044081
OLIMPIA	2048014	1302,276	142,429	0,056404	0,209839	0,026869
OLIMPIA	2048022	1339,735	157,269	0,027997	0,218576	0,023584
SEVERINIA	2048026	1360,502	169,71	-0,10604	0,221944	0,005229
BEBEDOURO	2048027	1334,066	147,934	-0,12385	0,236036	0,005227
CAJOBI	2048028	1295,808	176,206	0,000997	0,216362	0,025345
CAJOBI	2048029	1311,215	165,347	0,00892	0,185187	-0,00711
MONTEAZULPAULISTA	2048032	1328,807	173,725	-0,11494	0,159532	-0,01971
BEBEDOURO	2048034	1381,558	176,654	0,163267	0,234675	0,109623
TABAPUA	2048035	1287,893	148,579	-0,00744	0,19517	0,014342
PLANURA	2048041	1432,114	313,095	0,309826	0,232417	0,15747
OLIMPIA	2048045	1194	89,962	-0,03292	-0,04165	-0,03038
OLIMPIA	2048047	1323,239	155,332	0,004698	0,187868	0,022859
FRUTAL	2048049	1428,6	246,433	-0,01265	0,265963	0,046032
BEBEDOURO	2048054	1624,612	312,373	0,205367	0,077992	0,02647
SEVERINIA	2048056	1418,34	207,818	-0,22804	0,098378	-0,0201
PLANURA	2048096	1499,416	104,44	-0,06595	0,102376	0,081469
BEBEDOURO	2048099	1455,217	154,21	0,253269	-0,08099	0,022372
FRUTAL	2048102	1436,095	130,68	-0,00988	-0,02005	-0,12749
PAULODEFARIA	2049001	1387,89	148,909	-0,22373	0,160317	-0,11263
CARDOSO	2049002	1299,265	134,395	-0,05964	0,232032	-0,10806
ORINDIUVA	2049003	1416,31	128,446	-0,04271	0,127048	0,102225
AMERICOCAMPOS	2049004	1263,287	153,444	-0,07717	0,203621	-0,05845
PALESTINA	2049006	1342,638	157,42	-0,00662	0,22261	-0,10001
VOTUPORANGA	2049007	1170,892	130,151	-0,04393	0,193756	-0,09486
TANABI	2049009	1323,478	172,995	-0,06934	0,215309	-0,07662
COSMORAMA	2049010	1394,635	164,574	0,039828	0,256104	-0,01108
VOTUPORANGA	2049011	1404,597	182,268	0,152592	0,393713	0,068751
ONDAVERDE	2049013	1296,195	150,886	0,02478	0,198806	-0,03315
ONDAVERDE	2049014	1350,294	130,534	-0,01591	0,134072	-0,00108
MIRASSOLANDIA	2049015	1353,221	158,083	-0,02055	0,266793	-0,10179
TANABI	2049016	1332,243	154,864	0,027849	0,115565	0,009345
BALSAMO	2049017	1300,069	209,966	-0,01352	0,234257	-0,01289
SEBASTIANOPOLISSUL	2049018	1372,509	166,8	0,004901	0,251034	-0,065
MONTEAPRAZIVEL	2049019	1310,229	159,762	-0,04704	0,323485	-0,03177
SJRP	2049020	1220,363	120,585	-0,07749	-0,07588	-0,00361
MIRASSOL	2049021	1334,877	164,253	0,034061	0,187533	-0,02396
MACAUBAL	2049022	1364,836	164,812	-0,12497	0,208471	-0,16327
SJRP	2049023	1216,893	130,87	-0,2016	0,113538	-0,13767
SJRP	2049024	1235,906	173,245	-0,1207	0,222368	-0,05043
MIRASSOL	2049025	1131,229	113,522	-0,04891	0,187496	-0,10697
SJRP	2049026	1384,208	161,578	0,159086	0,06034	0,055655
NIPOA	2049028	1260,845	151,987	-0,07789	0,184225	0,007049
TABAPUA	2049029	1345,604	120,646	-0,06934	0,183748	-0,08545

UCHOA	2049030	1514,84	221,757	0,064677	0,271858	0,063757
VOTUPORANGA	2049032	1366,97	155,926	-0,09499	0,269334	-0,08348
SJRP	2049034	1154,396	120,979	-0,03389	0,125407	-0,101
MONTEAPRAZIVEL	2049035	1180,95	146,534	-0,00734	0,16425	0,079504
SJRP	2049037	1255,839	131,007	-0,10318	0,274861	0,008518
ONDAVERDE	2049039	1259,847	114,829	0,024835	0,094694	0,083352
NOVAGRANADA	2049043	1250,233	125,769	-0,14281	0,073591	-0,14265
UCHOA	2049046	1004,632	209,026	-0,01827	0,010249	0,016535
NOVAGRANADA	2049047	1136,937	129,37	-0,12185	-0,03091	0,035357
MONTEAPRAZIVEL	2049048	1241,47	148,091	0,128216	0,206424	0,137574
CEDRAL	2049051	1450,53	159,615	0,014865	0,225472	-0,07936
PALESTINA	2049054	1362,816	170,953	-0,08937	0,238166	-0,15515
OLIMPIA	2049055	1388,824	175,619	-0,09666	0,257151	-0,06751
PAULOFARIA	2049057	1311,886	152,725	-0,10981	0,235542	-0,16302
GUAPIACU	2049067	1446,434	161,809	-0,1566	0,215066	-0,10503
VOTUPORANGA	2049068	1336,031	111,719	0,047105	0,218614	-0,00022
FRONTEIRA	2049070	1285,533	137,961	0,003637	0,066684	-0,05546
FRONTEIRA	2049072	1399,905	174,944	0,065584	0,222849	-0,02778
SANTAALBERTINA	2050001	1211,755	166,883	-0,18774	0,200409	-0,14061
DOLCINOPOLIS	2050003	1290,525	153,676	-0,03678	0,179983	-0,08599
MACEDONIA	2050004	1312,606	152,509	-0,01508	0,093907	0,008917
FERNANDOPOLIS	2050005	1218,302	127,372	-0,05486	0,16563	-0,0821
URANIA	2050006	1266,11	124,18	-0,20348	0,202875	-0,10997
SANTANAPONTEPENSA	2050007	1319,3	145,015	0,090129	0,044304	-0,03141
FERNANDOPOLIS	2050008	1193,564	134,636	-0,02914	-0,0174	0,031639
VOTUPORANGA	2050009	1358,444	162,988	0,036559	0,249359	-0,03742
VALENTIMGENTIL	2050010	1162,027	169,107	0,076957	-0,00582	0,138911
VALENTIMGENTIL	2050011	1270,326	149,222	-0,00868	0,272631	0,012255
PALMEIRADOESTE	2050012	1447,295	147,927	0,067693	0,096519	0,025718
JALES	2050013	1293,935	107,632	0,105428	0,112681	0,047492
GENERALSALGADO	2050014	1307,745	169,983	-0,16799	0,287081	-0,10321
AURIFLAMA	2050015	1314,183	128,335	0,013879	0,188246	-0,03074
SUDMEN	2050016	1318,336	132,891	-0,13859	0,227314	-0,17026
GENERALSALGADO	2050017	1314,656	122,489	0,128244	0,077242	-0,09747
GASTAOVIDIGAL	2050018	1402,825	128,459	0,150646	0,024427	0,005296
ARACATUBA	2050019	1268,532	148,174	-0,0727	0,179387	-0,09868
ARACATUBA	2050020	1253,721	115,524	-0,21881	0,360961	-0,2027
ARACATUBA	2050021	1314,353	133,459	-0,13542	0,363043	-0,20067
GENERALSALGADO	2050022	1324,685	135,574	0,099724	0,160411	-0,0323
SANTAFE	2050023	1248,837	154,061	-0,07724	0,19954	-0,0668
FERNANDOPOLIS	2050024	1295,636	181,073	-0,15255	0,259632	-0,06559
JALES	2050025	1217,136	164,292	-0,32364	0,267452	-0,17708
MERIDIANO	2050028	1026,836	129,949	-0,12025	0,116132	-0,01708
SANTANAPONTEPENSA	2050034	937,91	127,072	0,128575	0,243497	-0,1005
FLOREAL	2050036	1288,6	144,714	-0,21509	0,287212	-0,20148
TURIUBA	2050037	1405,581	150,928	0,174769	0,115759	0,039911

SJDUASPONTES	2050038	1386,423	148,665	0,232541	0,230429	0,159602
SANTA CLARADOESTE	2050039	1420,786	190,083	0,040076	0,328243	-0,07902
GUZOLANDIA	2050045	1346,942	113,103	0,17002	0,257074	-0,14617
APDOESTE	2050046	1254,167	125,952	0,307417	0,29291	0,075663
MAGDA	2050047	1250,044	107,109	0,133384	0,177929	-0,1128
TRESLAGOAS	2051000	1112,517	229,519	-0,08906	0,120381	0,070808
PEREIRABARRETO	2051002	1296	172,789	-0,09689	0,243159	-0,17228
PEREIRABARRETO	2051003	1286,963	164,162	-0,0158	0,193639	-0,03729
PEREIRABARRETO	2051004	1259,617	171,422	-0,10261	0,246301	-0,21985
ITAPURA	2051005	1288,128	130,022	0,084385	0,159299	0,039875
PEREIRAB	2051006	1176,768	102,234	-0,11165	0,21576	-0,01466
PEREIRAB	2051007	1190,877	121,283	-0,01077	0,253899	-0,06243
CASTILHO	2051008	1197,28	181,33	0,055644	-0,35306	-0,55159
CASTILHO	2051009	1212,848	110,075	-0,057	0,114733	-0,01334
ANDRADINA	2051012	1179,303	134,599	0,11593	0,205575	0,03063
CASTILHO	2051014	1300,855	175,337	0,295299	0,234583	0,213574
CASTILHO	2051018	1261,54	120,685	0,005004	0,133926	-0,01731
RUBINEIA	2051026	1059,356	109,189	-0,1288	-0,01481	0,064393
TRESLAGOAS	2051027	1117,98	72,858	0,08782	-0,16722	-0,14763
TRESLAGOAS	2051028	852,856	179,117	0,046463	0,030937	-0,12438
MIRANDOPOLIS	2051031	1088,118	124,351	0,101399	0,259403	0,195512
MIRANDOPOLIS	2051032	1171,781	129,946	-0,07754	0,201619	-0,08831
MIRANDOPOLIS	2051033	1224,169	127,296	0,008495	0,176115	-0,00561
ANDRADINA	2051034	1127,259	108,173	0,000534	0,020092	-0,01868
ANDRADINA	2051035	1298,541	123,663	0,079234	0,027082	-0,07715
PEREIRAB	2051036	1296,65	122,773	0,134334	0,149256	0,026891
TRESLAGOAS	2051037	1282,685	173,127	0,061566	0,207054	-0,14464
PEREIRAB	2051038	1299,781	169,665	-0,26656	0,266556	-0,14503
RUBINEIA	2051039	1218,863	181,798	-0,08511	0,272078	-0,12681
SELVIRIA	2051045	1255,291	115,323	-0,15246	0,065297	-0,0248
APDOTABOADO	2051046	1249,289	115,044	0,034793	0,225261	0,004689
ANDRADINA	2051051	1282,325	154,036	0,197681	0,437445	-0,13341
RIBASRIOPARDO	2052002	1448,008	158,002	0,132687	0,136286	0,080929
AGUACLARA	2052003	1423,541	131,672	-0,10018	0,100943	-0,05372
TRESLAGOAS	2052004	1218,653	135,628	0,148413	0,223912	0,019959
TRESLAGOAS	2052006	1317,154	95,436	-0,0781	0,103139	0,024363
RIBASRIOPARDO	2053000	1439,895	136,607	0,038349	0,243598	-0,0363
RIBASRIOPARDO	2053001	1313,252	146,81	0,03936	0,090894	-0,01173
SANTARITAPARDO	2053004	1550,725	363,843	0,162107	0,161024	0,022207
CAMPOGRANDE	2054000	1440,495	160,832	-0,1347	0,280348	-0,00853
CAMPOGRANDE	2054001	1460,152	106,158	0,049462	0,158394	0,07593
SIDROLANDIA	2054002	1321,57	200,148	0,202334	0,274659	0,144632
CAMPOGRANDE	2054010	1598,693	193,881	-0,05885	0,078543	-0,00708
CAMPOGRANDE	2054011	1446,667	124,533	0,262794	0,154979	-0,39561
CAMPOGRANDE	2054012	1429,62	292,62	-0,12918	-0,05324	0,178457
CAMPOGRANDE	2054013	1836,84	169,66	0,199458	-0,02263	1,107156

CAMPOGRANDE	2054014	1470,071	145,187	-0,0964	0,159664	0,063909
CAMPOGRANDE	2054016	1860,5	211,52	0,000946	-0,17814	1,093041
JARAGUARI	2054019	1496,103	225,897	0,014767	0,11249	0,040584
RIBASRIOPARDO	2054020	1451,796	145,185	-0,02819	0,100349	-0,02042
SIDROLANDIA	2054021	1454,453	195,841	0,043503	0,113748	0,026025
PARAISO	2148002	1289,094	174,332	-0,14408	0,214943	0,022824
BEBEDOURO	2148004	1304,667	154,21	-0,11827	0,134942	-0,01599
PALMARESPAULISTA	2148005	1336,867	158,59	-0,01898	0,331821	-0,01486
CATANDUVA	2148006	1186,925	122,059	0,137945	0,255209	0,025149
CATANDUVA	2148008	1179,589	143,006	-0,01255	0,314391	-0,00251
VISTAALLEGREALTO	2148010	1409,406	143,298	0,126196	0,189938	0,118514
PINDORAMA	2148011	1262,208	123,207	-0,00555	0,136635	-0,11501
PINDORAMA	2148012	1391,025	178,183	0,107171	0,279008	0,042483
SANTAADELIA	2148015	1293,318	166,901	-0,03309	0,227844	0,016828
MONTEALTO	2148016	1444,232	147,945	0,043724	0,21048	0,034548
FERNANDOPRESTES	2148017	1400,063	193,509	-0,06843	0,279099	-0,00913
CATANDUVA	2148054	1344,08	154,719	0,196082	0,257177	0,0636
PINDORAMA	2148055	1398,694	200,677	0,118222	0,242273	0,092679
SANTAADELIA	2148057	1243,357	225,89	-0,38301	-0,10479	0,399793
CATANDUVA	2148063	1351,633	144,331	0,180035	0,24461	0,116773
CANDIDORODRIGUES	2148065	1330,575	87,989	0,029711	0,314811	-0,37943
CATANDUVA	2148066	1213,873	118,804	0,124314	0,139345	0,126331
CATANDUVA	2148070	1335,9	110,627	-0,18983	-0,09829	0,141316
PIINDORAMA	2148088	1595,583	236,912	0,323191	0,164601	0,022449
TAIUVA	2148103	1253,468	179,847	-0,04524	0,05813	-0,07416
VISTAALLEGREALTO	2148105	1299,186	119,837	-0,22682	0,06808	0,045941
CANDIDORODRIGUES	2148106	1313,799	174,716	0,002286	0,235529	0,022199
SANTAADELIA	2148110	1138,75	129,234	-0,14159	0,123696	0,028762
SANTAADELIA	2148113	1382,267	176,301	0,043622	0,323464	-0,09464
TAIUVA	2148122	1366,396	99,586	-0,15252	0,272005	-0,05912
CATANDUVA	2148139	1243,817	154,89	0,051499	-0,42252	-0,16905
JOSEBONIFACIO	2149002	1394,2	141,337	0,145694	0,103105	0,050683
CATIGUA	2149003	1283,177	175,548	-0,10023	0,177251	-0,06506
BARBOSA	2149007	1230,185	150,692	0,054532	0,233073	0,027193
PROMISSAO	2149009	1318,436	136,22	-0,01961	0,047907	0,051789
PROMISSAO	2149013	1335,992	129,736	0,125581	0,159929	0,109498
AVANHANDAVA	2149014	1287,308	129,953	0,158477	0,067065	0,090428
CAFELANDIA	2149016	1226,092	159,859	-0,08276	0,211497	-0,1017
CAFELANDIA	2149021	1310,729	141,789	0,058185	0,085072	0,019509
GUAIMBE	2149022	1198,063	186,984	-0,13221	0,293628	-0,05629
GUAIMBE	2149024	1195,54	102,975	0,013572	0,109977	0,016055
GUAIMBE	2149025	1217,686	127,486	0,351412	0,301098	0,3956
GUAIMBE	2149028	1234,727	145,341	0,101013	0,166577	-0,04201
JULIOMESQUITA	2149030	1275,915	142,884	0,175488	0,129945	0,039004
GUARANTA	2149043	1315,466	153,261	0,049196	0,157777	-0,10095
CATANDUVA	2149045	1150,4	274,563	-0,17232	0,169336	0,072753

CAFELANDIA	2149051	1177,047	97,469	-0,02619	0,242788	0,103794
GUARANTA	2149052	1169,395	93,459	0,057975	0,205264	-0,01811
CAFELANDIA	2149054	1199,65	167,07	-0,11199	-0,11151	0,547774
CATANDUVA	2149061	1105,567	116,48	0,222155	-0,073	-0,29948
GUARANTA	2149064	1307,184	156,572	0,035868	0,08515	-0,05533
CAFELANDIA	2149067	1147,388	139,859	0,03265	0,032087	-0,12715
PROMISSAO	2149069	1164,852	156,272	-0,01439	0,181503	-0,0399
CAFELANDIA	2149071	1144,8	125,16	0,130473	-0,26358	-0,39003
CAFELANDIA	2149074	1068,508	153,045	0,112634	0,180106	0,002015
PLANALTO	2149079	1359,848	110,485	0,136884	0,116705	0,01874
PIRAJUI	2149081	1397,02	147,289	0,079415	0,111351	-0,03976
AVANHANDAVA	2149095	1351,556	139,519	0,205106	-0,12849	-0,29827
JOSEBONIFACIO	2149098	797,3143	141,605	-0,33032	0,05821	0,109123
ARACATUBA	2150001	1254,38	128,535	-0,06902	0,299362	-0,08575
BIRIGUI	2150002	1199,304	127,93	-0,02614	0,13729	-0,05302
LAVINIA	2150003	1207,356	136,647	-0,09486	0,177416	-0,09532
ARACATUBA	2150004	1256,864	202,773	0,028982	0,306586	-0,09134
COROADOS	2150005	1190,036	136,198	-0,02767	0,207233	0,046912
VALPARAISO	2150006	1238,015	127,302	-0,259	0,258517	-0,20145
COROADOS	2150007	1194,163	160,561	0,005625	-0,00732	-0,06146
COROADOS	2150008	1204,708	129,056	0,055436	0,112214	-0,0572
ARACATUBA	2150009	1210,954	117,612	-0,15285	0,140522	-0,0302
ARACATUBA	2150010	1258,595	137,792	-0,00103	0,268101	-0,06946
VALPARAISO	2150011	1108,453	115,571	-0,09993	0,195875	-0,01313
GUARARAPES	2150013	1193,102	185,412	-0,1999	0,312952	-0,0954
BENTODEABREU	2150014	1238,025	159,542	-0,08976	0,250676	-0,07824
BIRIGUI	2150015	1267,003	110,982	0,133397	0,234606	0,141233
BIRIGUI	2150016	1298,19	145,444	0,131507	0,164327	0,002086
ARACATUBA	2150017	1202,803	110,391	0,018657	0,279802	-0,1295
GUARARAPES	2150018	1209,879	162,464	-0,04439	0,231611	-0,14337
COROADOS	2150019	1205,857	122,232	0,125356	0,233804	-0,01167
COROADOS	2150020	1066,976	103,871	-0,02418	0,293293	0,199843
GUARARAPES	2150021	1295,363	140,769	0,177521	0,19849	0,038909
PENAPOLIS	2150022	1333,262	170,723	0,124774	0,150376	0,02835
PENAPOLIS	2150023	1241,122	101,654	0,087725	0,044438	0,008083
BRAUNA	2150024	1243,921	138,552	-0,02774	0,195029	-0,03473
PIACATU	2150025	1292,278	148,325	0,030397	0,355541	-0,11869
ALTOALEGRE	2150026	1253,686	131,048	-0,06043	0,195456	-0,07051
SANTOPOLISAGUAPEI	2150027	1278,579	147,547	-0,12118	0,205695	-0,16277
SANTOPOLISAGUAPEI	2150028	1260,939	157,559	0,013437	0,284728	-0,0598
GETULINA	2150029	1216,004	132,649	0,058654	0,192087	0,063189
GETULINA	2150030	1211,394	158,17	0,099296	0,1737	-0,01564
PARAPUA	2150031	1231,365	129,803	0,046112	0,214498	-0,04484
QUEIROZ	2150034	1310,162	189,982	0,040858	0,209469	0,00795
IACRI	2150035	1290,537	128,58	-0,00605	0,231522	-0,07178
QUEIROZ	2150036	1090,633	130,761	0,129535	0,323315	0,218119

IACRI	2150037	1306,812	125,605	0,065823	0,077207	0,062741
BASTOS	2150038	1309,86	145,694	-0,00513	0,159034	-0,01093
TUPA	2150039	1278,083	143,532	-0,00896	0,205364	-0,06345
RANCHARIA	2150040	1293,456	115,352	0,203007	0,173843	0,088832
TUPA	2150041	1316,91	134,195	0,021449	0,256795	-0,06778
POMPEIA	2150042	1304,014	172,421	-0,01912	0,195534	-0,09993
LUCELIA	2150043	1315,744	125,961	-0,01396	0,083157	0,069392
ARACATUBA	2150044	1206,45	149,167	-0,29336	0,232754	-0,15056
ARACATUBA	2150049	1174,548	110,321	0,01469	0,187765	-0,06486
VALPARAISO	2150050	1135,294	94,6129	-0,2174	0,247538	-0,08686
BRAUNA	2150054	1203,992	142,421	-0,17106	-0,0935	0,026183
GUARARAPES	2150055	1086,8	175,073	0,336945	0,365123	0,601367
VALPARAISO	2150057	1165,7	113,023	-0,00927	0,313542	-0,00611
BIRIGUI	2150058	1207,343	108,822	0,176329	0,160644	0,105899
ARACATUBA	2150059	1054,16	315,693	0,120064	0,259408	0,291999
VALPARAISO	2150061	1237,307	138,006	0,020153	0,237175	0,008279
VALPARAISO	2150062	1186,633	130,262	0,094366	0,216473	0,087778
RINOPOLIS	2150064	1288,437	147,843	0,062011	0,154519	-0,00198
BIRIGUI	2150065	1343,324	210,047	0,230694	0,353343	0,176438
TUPA	2150067	1363,125	182,015	0,082946	0,220444	0,031109
BURITAMA	2150069	1409,085	163,595	-0,07744	0,260674	-0,11835
RUBIACEA	2150070	1382,658	102,929	0,113273	0,086673	-0,07445
PROMISSAO	2150071	1285,81	202,454	-0,02861	0,331407	-0,0488
GLICERIO	2150074	1480,514	152,624	-0,07745	-0,14115	0,240679
BILAC	2150079	1324,925	152,933	-0,02262	0,450894	-0,06368
GLICERIO	2150083	1047,722	168,5	0,203029	-0,056	-0,09453
BURITAMA	2150085	1132,811	266,994	-0,12543	0,453663	-0,29489
VALPARAISO	2150087	1109,873	145,6	-0,21658	0,23848	-0,28908
CLEMENTINA	2150088	1135,621	227,309	-0,3847	0,353025	-0,18524
PIACATU	2150089	1271,093	143,116	-0,23908	0,298081	-0,35118
COROADOS	2150090	1238,063	108,79	0,207642	0,152445	0,017333
COROADOS	2150091	1121,56	349,06	-0,04406	-0,21899	-1,47952
MURUTINGASUL	2151003	1238,994	140,881	-0,10085	0,20905	-0,13505
NOVAINDEPENDENCIA	2151004	1256,552	135,199	-0,19989	0,289751	-0,17455
ADAMANTINA	2151005	1245,415	131,544	0,020869	0,241651	-0,03317
MONTECASTELO	2151006	1199,147	158,137	0,000329	0,112986	-0,06831
LAVINIA	2151007	1221,168	155,626	-0,00526	0,310166	-0,06423
PANORAMA	2151008	1181,662	141,445	0,00188	0,185649	-0,09527
JUNQUEIROPOLIS	2151009	1250,188	146,515	-0,03271	0,232736	-0,04579
DRACENA	2151010	1206,02	127,122	-0,17384	0,312358	-0,12994
IRAPURU	2151011	1276,493	140,03	0,027692	0,18404	0,05681
FLORIDAPAULISTA	2151012	1355,202	147,341	0,071756	0,096807	-0,03893
FLORIDAPAULISTA	2151013	1242,724	131,432	-0,05648	0,187511	0,013895
MARIAPOLIS	2151016	1280,119	135,601	-0,13482	0,291356	-0,25136
PIQUEROBI	2151019	1209,851	188,525	-0,08781	0,175544	-0,00904
PRESIDENTEVENCESLAU	2151020	1271,319	149,257	0,01797	0,054972	0,03319

ALFREDOMARCONDES	2151021	1236,981	152,756	-0,07778	0,225955	-0,0676
SANTOANASTACIO	2151022	1176,263	140,393	0,173993	0,120376	0,06094
LUCELIA	2151029	1139,229	131,465	0,173751	0,19509	-0,01646
SANTOANASTACIO	2151033	1293,54	117,77	-0,02539	0,355099	0,223656
TUPIPAULISTA	2151034	1033,257	86,295	0,167995	-0,0394	-0,46827
CAIUA	2151035	1196,014	209,131	-0,149	0,146188	-0,05797
MIRANDOPOLIS	2151036	917,767	151,969	-0,00203	0,001274	-0,14082
MIRANDOPOLIS	2151037	938,88	281,47	-0,41457	0,28074	-0,13081
LUCELIA	2151039	1285,373	159,978	0,062306	0,210079	-0,0123
PAULICEIA	2151041	1197,153	153,902	0,190693	0,111123	-0,05427
LUCELIA	2151045	1064,3	98,029	0,183174	0,505233	0,260822
PRESIDENTEVENCESLAU	2151047	1230,8	118,6	0,547242	0,376295	0,620092
MIRANDOPOLIS	2151048	1396,195	200,798	0,228497	0,074943	0,048164
VALPARAISO	2151049	1323,497	142,223	0,186671	0,205048	0,076035
PAULICEIA	2151050	1357,921	144,169	0,019623	-0,01321	-0,05128
MARTINOPOLIS	2151051	1348,814	161,251	0,012334	0,30942	0,032192
OUROVERDE	2151052	1279,922	110,859	0,121639	0,163085	-0,00323
MIRANDOPOLIS	2151053	1265,904	148,43	-0,05656	0,209757	-0,04374
PRESIDENTEVENCESLAU	2151054	1120,062	119,658	-0,33804	0,347627	-0,18259
MIRANDOPOLIS	2151055	1281,731	124,385	0,057482	0,189948	-0,09975
FLORARICA	2151056	1234,165	132,854	-0,02117	0,080493	-0,02022
SANTOANASTACIO	2151059	1218,443	154,144	-0,01126	0,151415	-0,0355
SANTOANASTACIO	2151060	1167,25	162,363	0,106449	0,418324	0,279038
TRESLAGOAS	2152000	1304,925	134,544	0,028261	0,178102	-0,03187
BATAGUASSU	2152001	1356,443	182,139	0,070938	0,196924	0,020199
PRESIDENTEEPITACIO	2152002	1199,6	147,894	-0,06745	0,285852	0,047032
PRESIDENTEEPITACIO	2152003	1321,27	127,036	-0,11851	0,06564	0,109338
SANTARITAPARDO	2152005	1391,158	116,58	0,241686	0,186992	0,028627
PRESIDENTEEPITACIO	2152006	1043,057	118,852	0,633703	0,74402	0,559157
PRESIDENTEEPITACIO	2152008	1058,79	206,243	0,051614	-0,00748	-0,09326
BRASILANDIA	2152014	1310,714	233,628	-0,13486	0,228248	0,059474
SANTARITAPARDO	2152016	1368,367	121,736	-0,05441	0,190624	-0,06556
NOVAANDRADINA	2153000	1567,837	243,532	0,169294	0,24358	0,009565
RIBASRIOPARDO	2153002	1440,404	208,543	-0,07612	0,184334	-0,07531
NOVAANDRADINA	2153003	1364,626	117,519	0,071434	0,242884	-0,03423
RIBASRIOPARDO	2153004	1473,652	224,442	0,095879	0,167286	-0,16092
CAMPOGRANDE	2153005	1317,774	134,37	-0,20057	-0,00372	0,046354
SIDROLANDIA	2154002	1401,049	150,849	-0,02076	0,043616	0,005244
SIDROLANDIA	2154007	1392,757	181,91	-0,21405	0,18274	-0,10105
CAMPOGRANDE	2154008	1322,675	208,413	0,013912	0,213933	-0,01918
PIRAJUI	2249001	1154,295	135,041	0,147067	0,119109	0,029801
PIRAJUI	2249005	1310,564	129,828	0,043452	0,118198	-0,02556
GARCA	2249006	1401,42	180,217	0,035333	0,141028	-0,03328
VERACRUZ	2249007	1188,16	177,049	-0,07361	0,297256	0,065972
MARILIA	2249008	1458,785	167,098	0,091141	0,17369	0,04246
MARILIA	2249009	1324,229	142,24	0,096779	0,183981	0,105044

GALIA	2249011	1364,824	194,617	0,077068	0,178164	-0,03902
GARCA	2249014	1618,821	157,941	0,086109	0,222693	0,040278
MARILIA	2249016	1304,222	188,339	0,13571	0,190606	0,10728
GALIA	2249017	1209,55	164,957	0,046073	0,161497	-0,09962
GALIA	2249018	1272,66	157,021	-0,03434	0,120037	-0,0797
GALIA	2249021	1354,196	166,143	-0,04284	0,225808	-0,07185
OCAUCU	2249022	1353,328	166,228	0,087812	0,276783	-0,06902
GARCA	2249045	1435,425	172,427	0,159157	0,065953	-0,10563
MARILIA	2249046	1252,057	128,658	-0,0285	0,08218	0,014584
GARCA	2249055	1273,375	89,07	-0,15162	0,288655	-0,19278
GARCA	2249061	1427,333	160,266	-0,02994	0,12112	-0,07962
MARILIA	2249062	1386,546	157,368	0,10805	0,210409	-0,04415
ALVAROCARVALHO	2249066	1414,118	112,917	0,00805	0,044762	-0,02769
PIRAJUI	2249073	1056,857	115,1	-0,12424	0,32146	0,053866
MARILIA	2249079	1228,113	193,326	0,178305	0,167288	0,092144
MARILIA	2249082	1059,363	179,384	0,159504	0,50103	0,280892
QUATA	2250001	1320,326	125,995	0,096434	0,171218	0,039478
QUINTANA	2250003	1263,98	159,177	0,029474	0,184828	0,013348
TUPA	2250004	1305,985	132,752	0,127693	0,024718	0,053257
TUPA	2250005	1193,742	144,946	-0,05019	0,180301	0,008421
POMPEIA	2250006	1428,56	261,315	0,142952	0,284398	0,000101
ORIENTE	2250007	1301,59	178,989	0,00628	0,164919	0,030005
POMPEIA	2250008	1417,48	290,21	0,168189	0,057751	0,004411
RANCHARIA	2250009	1272,486	144,358	0,049852	0,213776	-0,0585
BORA	2250010	1344,247	125,998	0,053831	0,079061	-0,08949
LUTECIA	2250011	1346,354	177,154	-0,02354	0,146941	-0,0474
ECHAPORA	2250013	1385,463	174,489	0,137138	0,193453	-0,00242
RANCHARIA	2250014	1436,658	182,031	-0,04507	0,238454	-0,12992
POMPEIA	2250042	1166,447	103,149	-0,0946	0,181188	-0,05489
RANCHARIA	2250045	1425,637	125,219	0,131896	0,122889	0,01954
MARILIA	2250046	1254,238	169,386	-0,00238	0,332646	-0,18525
LUTECIA	2250047	1436,511	162,892	-0,24882	0,217927	-0,09788
MARILIA	2250050	1071,6	69,964	-0,04171	0,200664	-0,15927
RANCHARIA	2250053	1197,413	104,207	0,221929	0,140089	0,056947
POMPEIA	2250054	1206,6	119,744	-0,06665	0,04145	0,107743
QUATA	2250062	1371,554	156,644	0,07051	0,225613	-0,01669
RANCHARIA	2250064	1306,307	126,699	0,16674	0,116841	0,020665
MARILIA	2250065	1301,935	105,641	0,011852	0,183749	0,077283
RANCHARIA	2250073	1338,769	175,905	-0,09886	0,208361	-0,00537
QUINTANA	2250083	1438,278	131,164	0,106653	0,199888	-0,05781
PRESIDENTEVENCESLAU	2251001	1313,678	163,212	-0,04015	0,125263	-0,01889
ALVARESMACHADO	2251003	1214,385	149,919	0,105138	0,100988	-0,00475
PRESIDENTEPRUDENTE	2251004	1070,233	131,741	0,055499	0,092267	0,01604
MARTINOPOLIS	2251006	1197,435	140,932	0,030025	0,245638	0,09875
MARTINOPOLIS	2251007	1294,29	159,34	-0,08175	0,188674	-0,11765
INDIANA	2251008	1278,543	143,505	-0,00898	0,113658	0,009091

INDIANA	2251009	1302,658	136,119	0,053218	0,194048	-0,01373
MARTINOPOLIS	2251010	1252,571	138,859	-0,02899	0,24624	-0,03665
PRESIDENTEPRUDENTE	2251029	1298,938	142,957	-0,03957	0,182509	-0,07091
MARTINOPOLIS	2251052	1348,489	166,7	-0,07707	0,192349	-0,10295
PRESIDENTEPRUDENTE	2251055	1174,633	260,033	0,25326	0,326821	0,141632
MARTINOPOLIS	2251060	1223,78	236,87	0,276565	0,291806	0,729008
REGENTE FEIJO	2251061	1189,733	137,175	0,050871	0,028371	-0,00384
REGENTE FEIJO	2251064	1260,9	168,24	-0,15531	0,135263	0,137601
PRESIDENTEPRUDENTE	2251066	1226,296	133,827	-0,01619	0,145234	-0,06597
CAIABU	2251074	1299,004	170,648	0,040589	0,281083	-0,06348

L1 = localização-L; L2 = escala-L; t3 = assimetria-L; t4 = curtose-L; t5 = momento de ordem 5

**APÊNDICE D – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS NA
REGIÃO ALTO RIO PARANÁ**

Região	Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude
1	1752003	MINEIROS	-17.5794	-52.6014	690
1	1752004	MINEIROS	-17.5667	-52.5500	800
1	1752006	JATAI	-17.7181	-52.1700	705
1	1851001	APORE	-18.5178	-52.0928	670
1	1851004	JATAI	-18.0931	-51.4969	645
1	1851005	SERRANOPOLIS	-18.3044	-51.9622	690
1	1852001	CHAPADAO DO CEU	-18.4067	-52.5269	715
1	1750008	RIOVERDE	-17.4658	-50.7742	680
1	1751000	JATAI	-17.9167	-51.7500	596
1	1751001	JATAI	-17.8564	-51.3967	755
1	1751002	JATAI	-17.6950	-51.8922	732
1	1852003*	CHAPADAO DO SUL	-18.6917	-52.5939	721
1	1853003	CASSILANDIA	-18.2500	-53.1000	854
1	1853004	COSTA RICA	-18.5472	-53.1353	635
1	1752002	MINEIROS	-17.6889	-52.9833	750
2	1850002	QUIRINOPOLIS	-18.5011	-50.5219	443
2	1851003	CACHOEIRA ALTA	-18.4167	-51.0333	593
2	1852000	APORE	-18.9661	-51.9267	533
2	2050039	SANTA CLARA D'OESTE	-20.1000	-50.9333	380
2	1951001	ITAJA	-19.1364	-51.5344	436
2	2051031	MIRANDOPOLIS	-20.0000	-51.0000	420
2	1849002	IPIACU	-18.6919	-49.9486	445
2	1849026	GURINHATA	-18.8869	-50.0003	450
2	1950011	SANTA VITORIA	-19.2081	-50.6628	390
2	1950017	ITURAMA	-19.6617	-50.9964	391
2	1950018	LIMEIRA D'OESTE	-19.5547	-50.5731	446
2	1951002	PARANAIBA	-19.6636	-51.1908	424
2	1951003	PARANAIBA	-19.3908	-51.6089	458
2	1951004	CASSILANDIA	-19.2292	-51.8750	734
2	1951005	INOCENCIA	-19.7364	-51.9336	502
2	1952002	INOCENCIA	-19.5536	-52.1664	401
2	2051046	AP. DO TABOADO	-20.0683	-51.1036	375
3	2054000	CAMPO GRANDE	-20.4442	-54.7225	530
3	2054001	CAMPO GRANDE	-20.4667	-54.6667	559
3	2054002	SIDROLANDIA	-20.9333	-54.9667	489
3	2054010	CAMPO GRANDE	-20.4500	-54.6333	576
3	2054011	CAMPO GRANDE	-20.4500	-54.6333	576
3	2054013	CAMPO GRANDE	-20.4500	-54.6333	576
3	2054014	CAMPO GRANDE	-20.4517	-54.6275	562
3	2054016	CAMPO GRANDE	-20.4500	-54.6333	576
3	2054019	JARAGUARI	-20.1022	-54.4347	577
3	2054020	RIBAS DO RIO PARDO	-20.4708	-54.0967	515
3	2054021	SIDROLANDIA	-20.9514	-54.9717	469

3	1852002	CHAPADAO DO SUL	-18.9978	-52.5881	570
3	1853001	CAMAPUA	-18.7333	-53.6833	501
3	1853005	FIGUEIRAO	-18.6797	-53.6378	392
3	1953000	AGUA CLARA	-19.3769	-53.5697	447
3	1953001	RIBAS DO RIO PARDO	-19.7847	-53.9639	524
3	1953003	AGUA CLARA	-19.2719	-53.4908	571
3	1953004	COSTA RICA	-19.0550	-53.0150	465
3	1954004	CAMAPUA	-19.4967	-53.9967	404
3	1954005	BANDEIRANTES	-19.9178	-54.3586	456
3	1954006	CAMAPUA	-19.3222	-54.1611	357
3	2053000	RIBAS DO RIO PARDO	-20.4447	-53.7581	373
3	2154002	SIDROLANDIA	-20.9939	-54.5081	392
3	2154007	SIDROLANDIA	-21.1828	-54.7461	368
3	1952000	CHAPADAO DO SUL	-19.4442	-52.5583	370
4	2052003	AGUA CLARA	-20.1019	-52.9258	376
4	2052004	TRES LAGOAS	-20.6028	-52.2183	391
4	2052006	TRES LAGOAS	-20.0939	-52.1603	317
4	2053001	RIBAS DO RIO PARDO	-20.6769	-53.5714	345
4	2152000	TRES LAGOAS	-20.8006	-52.3883	316
4	2152001	BATAGUASSU	-21.7258	-52.3342	293
4	2152005	SANTA RITA DO PARDO	-21.2953	-52.8106	393
4	2152016	SANTA RITA DO PARDO	-21.0697	-52.9936	352
4	2153000	NOVA ANDRADINA	-21.6153	-53.0522	271
4	2153002	RIBAS DO RIO PARDO	-21.4094	-53.6133	335
4	2153003	NOVA ANDRADINA	-21.9822	-53.4389	374
4	2153004	RIBAS DO RIO PARDO	-21.0228	-53.5369	383
4	2154008	CAMPO GRANDE	-21.3019	-54.1994	349
4	2051002	PEREIRA BARRETO	-20.4000	-51.3500	330
4	2051005	ITAPURA	-20.6500	-51.5167	280
4	2051009	CASTILHO	-20.8553	-51.6350	815
4	2051014	CASTILHO	-20.9833	-51.7167	260
4	2151006	MONTE CASTELO	-21.3000	-51.5667	330
4	2151008	PANORAMA	-21.3500	-51.8500	265
4	2151041	PAULICEIA	-21.3167	-51.8333	350
4	2151052	OUROVERDE	-21.5833	-51.7167	270
4	2152002	PRESIDENTE EPITACIO	-21.7833	-52.1333	300
4	2152003	PRESIDENTE EPITACIO	-21.9167	-52.1833	350
4	1952003	INOCENCIA	-19.9633	-52.2261	300
4	2051037	TRES LAGOAS	-20.8000	-51.6333	260
4	2051045	SELVIRIA	-20.3636	-51.4239	348
4	2052002	RIBAS DO RIO PARDO	-20.4453	-52.9019	292
5	1848000	MONTE ALEGRE DE MINAS	-18.8722	-48.8694	730
5	1848002	TUPACIGUARA	-18.5833	-48.7000	780
5	1848003	TUPACIGUARA	-18.4333	-48.5833	626
5	1848004	TUPACIGUARA	-18.6983	-48.7819	793
5	1848006	TUPACIGUARA	-18.6008	-48.6908	904
5	1848008	TUPACIGUARA	-18.4922	-48.9028	797
5	1848009	MONTE ALEGRE DE MINAS	-18.8625	-48.5839	880
5	1848055	TUPACIGUARA	-18.6217	-48.6847	917

5	1849003	MONTE ALEGRE DE MINAS	-18.5500	-49.1667	499
5	1849006	CANAPOLIS	-18.7719	-49.0697	795
5	1849017	CAPINOPOLIS	-18.6833	-49.5667	621
5	1947000	UBERABA	-19.7500	-47.7667	828
5	1947002	CONQUISTA	-19.9303	-47.5428	721
5	1947008	SACRAMENTO	-19.8786	-47.3547	1089
5	1947016	UBERABA	-19.7667	-47.9333	743
5	1947026	UBERABA	-19.5358	-47.8111	964
5	1948007	CAMPO FLORIDO	-19.7706	-48.5742	646
5	1948001	CONCEICAO ALAGOAS	-19.9094	-48.3911	465
5	1948003	VERISSIMO	-19.6731	-48.3097	696
5	1948006	UBERLANDIA	-18.9883	-48.1903	815
5	1948014	PRATA	-19.0394	-49.0425	646
5	1948016	PRATA	-19.5253	-48.4983	713
5	2047037	SACRAMENTO	-20.0136	-47.0192	960
5	1849000	ITUIUTABA	-18.9411	-49.4631	563
5	1949002	PRATA	-19.3597	-49.1803	517
5	1949003	GURINHATA	-19.2133	-49.7881	533
5	1949004	CAMPINA VERDE	-19.5422	-49.4831	525
5	1949005	COMENDADOR GOMES	-19.6981	-49.0839	573
5	1949006	ITUIUTABA	-19.0353	-49.6967	450
6	1950012	ITURAMA	-19.5289	-50.3286	512
6	1949001	RIOLANDIA	-19.9667	-49.6833	400
6	1950001	MIRAESTRELA	-19.9000	-50.1833	400
6	1950002	INDIAPORA	-19.9833	-50.2833	460
6	1950003	POPULINA	-19.9333	-50.5333	440
6	2049001	PAULO DE FARIA	-20.0333	-49.4000	410
6	2049002	CARDOSO	-20.1333	-49.9667	420
6	2049004	AMERICO DE CAMPOS	-20.3000	-49.7667	450
6	2049054	PALESTINA	-20.2500	-49.5500	480
6	2049057	PAULO DE FARIA	-20.1500	-49.5833	470
6	2050001	SANTA ALBERTINA	-20.0333	-50.7333	410
6	2050003	DOLCINOPOLIS	-20.1167	-50.5000	445
6	2050005	FERNANDOPOLIS	-20.2333	-50.3167	470
6	2050006	URANIA	-20.2333	-50.6500	470
6	2050023	SANTAFE	-20.2167	-50.9167	410
6	2050025	JALES	-20.3000	-50.5500	450
6	2050034	SANTANA DA PONTE PENSA	-20.2333	-50.7833	430
6	2050038	SJ. DAS DUAS PONTES	-20.3500	-50.3667	430
6	1949000	SÃO FRANCISCO DE SALES	-19.8167	-49.7500	450
6	1949007	ITAPAGIPE	-19.8925	-49.3714	400
6	1950000	ITURAMA	-19.7247	-50.1917	480
6	2050004	MACEDONIA	-20.1500	-50.2000	500
7	2048014	OLIMPIA	-20.6000	-48.9833	550
7	2048022	OLIMPIA	-20.7167	-48.9333	490
7	2048026	SEVERINIA	-20.8167	-48.7833	560
7	2048027	BEBEDOURO	-20.8167	-48.4833	540
7	2048028	CAJOBI	-20.8500	-48.8500	530
7	2048029	CAJOBI	-20.8500	-48.8000	600

7	2048032	MONTE AZUL PAULISTA	-20.9000	-48.6333	600
7	2048034	BEBEDOURO	-20.9997	-48.5500	560
7	2048035	TABAPUA	-20.9833	-48.9167	540
7	2048045	OLIMPIA	-20.7333	-48.9167	530
7	2048047	OLIMPIA	-20.7333	-48.9000	531
7	2048056	SEVERINIA	-20.8000	-48.8167	590
7	2049003	ORINDIUVA	-20.1833	-49.3667	500
7	2049006	PALESTINA	-20.3833	-49.4333	540
7	2049007	VOTUPORANGA	-20.4333	-49.9833	520
7	2049009	TANABI	-20.4833	-49.5667	510
7	2049010	COSMORAMA	-20.4833	-49.7833	540
7	2049011	VOTUPORANGA	-20.5000	-49.9500	470
7	2049013	ONDA VERDE	-20.6167	-49.3000	520
7	2049014	ONDA VERDE	-20.6333	-49.3333	460
7	2049015	MIRASSOLANDIA	-20.6167	-49.4667	520
7	2049016	TANABI	-20.6167	-49.6500	500
7	2049017	BALSAMO	-20.7333	-49.5833	530
7	2049018	SEBASTIANOPOLIS DO SUL	-20.6333	-49.9500	470
7	2049019	MONTE APRAZIVEL	-20.7667	-49.7000	480
7	2049020	SÃO JOSE DO RIO PRETO	-20.8000	-49.3833	480
7	2049021	MIRASSOL	-20.8167	-49.5167	550
7	2049022	MACAUBAL	-20.8000	-49.9667	510
7	2049023	SÃO JOSE DO RIO PRETO	-20.8000	-49.4000	470
7	2049024	SÃO JOSE DO RIO PRETO	-20.8000	-49.3833	470
7	2049025	MIRASSOL	-20.8167	-49.5167	573
7	2049026	SÃO JOSE DO RIO PRETO	-20.8667	-49.3000	500
7	2049026	NIPOA	-20.8667	-49.3000	500
7	2049029	TABAPUA	-20.9833	-49.0167	530
7	2049030	UCHOA	-20.9667	-49.1833	510
7	2049032	VOTUPORANGA	-20.4333	-49.9833	510
7	2049034	SÃO JOSE DO RIO PRETO	-20.8167	-49.4167	520
7	2049035	MONTE APRAZIVEL	-20.7667	-49.7167	480
7	2049037	SÃO JOSE DO RIO PRETO	-20.8167	-49.3833	500
7	2049039	ONDA VERDE	-20.6167	-49.2000	520
7	2049043	NOVA GRANADA	-20.5333	-49.3000	470
7	2049047	NOVA GRANADA	-20.5333	-49.3333	530
7	2049048	MONTE APRAZIVEL	-20.6833	-49.6833	550
7	2049051	CEDRAL	-20.9167	-49.3000	520
7	2049055	OLIMPIA	-20.7667	-49.0667	470
7	2049067	GUAPIACU	-20.8000	-49.2167	480
7	2049068	VOTUPORANGA	-20.4167	-49.9833	503
7	2050008	FERNANDOPOLIS	-20.2833	-50.2500	540
7	2050009	VOTUPORANGA	-20.3000	-50.0167	470
7	2050010*	VALENTINGENTIL	-20.4000	-50.1167	470
7	2050011	VALENTINGENTIL	-20.4333	-50.0667	480
7	2050024	FERNANDOPOLIS	-20.3000	-50.2500	520
7	2050028	MERIDIANO	-20.3500	-50.1833	520
7	2050036	FLOREAL	-20.6833	-50.1500	510
7	2148002	PARAISO	-21.0167	-48.7667	590

7	2148004	BEBEDOURO	-21.0500	-48.4667	620
7	2148005	PALMARES PAULISTA	-21.0833	-48.8000	520
7	2148006	CATANDUVA	-21.1333	-48.9667	510
7	2148008	CATANDUVA	-21.1333	-48.9833	500
7	2148010	VISTA ALEGRE DO ALTO	-21.1500	-48.6333	590
7	2148011	PINDORAMA	-21.2167	-48.9333	560
7	2148012	PINDORAMA	-21.2167	-48.9000	520
7	2148015	SANTA ADELIA	-21.2667	-48.7667	570
7	2148016	MONTEALTO	-21.2667	-48.5000	720
7	2148017	FERNANDO PRESTES	-21.2667	-48.6833	550
7	2148054	CATANDUVA	-21.1333	-48.9667	536
7	2148055	PINDORAMA	-21.1667	-48.9000	562
7	2148063	CATANDUVA	-21.1333	-48.9667	500
7	2148065*	CANDIDO RODRIGUES	-21.3167	-48.6167	600
7	2148066	CATANDUVA	-21.1333	-48.9667	500
7	2148070*	CATANDUVA	-21.0667	-48.9833	540
7	2148088*	PIINDORAMA	-21.1833	-48.9167	500
7	2148103	TAIUVA	-21.1333	-48.4500	620
7	2148105	VISTA ALEGRE DO ALTO	-21.1667	-48.6333	600
7	2148106	CANDIDO RODRIGUES	-21.3333	-48.6333	600
7	2148110	SANTA ADELIA	-21.2333	-48.8000	600
7	2148113	SANTA ADELIA	-21.3333	-48.8500	480
7	2148122*	TAIUVA	-21.1167	-48.4167	620
7	2149003	CATIGUA	-21.0500	-49.0667	480
7	2149061*	CATANDUVA	-21.1167	-49.0000	520
7	1948010	PIRAJUBA	-19.9075	-48.6936	539
7	2048049	FRUTAL	-20.0333	-48.9333	544
7	2048096	PLANURA	-20.1192	-48.5731	481
7	2048102	FRUTAL	-20.0200	-48.9431	491
7	2049070	FRONTEIRA	-20.2925	-49.1967	454
7	2049072	FRONTEIRA	-20.2842	-49.2011	485
8	2050012	PALMEIRA D'OESTE	-20.4167	-50.7667	430
8	2050013	JALES	-20.4333	-50.5333	380
8	2050014	GENERAL SALGADO	-20.5000	-50.3167	370
8	2050015	AURIFLAMA	-20.7000	-50.5500	450
8	2050016	SUDMEN	-20.6833	-50.9167	390
8	2050017	GENERAL SALGADO	-20.7667	-50.3167	440
8	2050018	GASTAO VIDIGAL	-20.8000	-50.1833	390
8	2050019	ARACATUBA	-20.8667	-50.4833	415
8	2050020	ARACATUBA	-20.9167	-50.8333	330
8	2050021	ARACATUBA	-20.9667	-50.6833	350
8	2050022	GENERAL SALGADO	-20.4839	-50.4219	340
8	2050037	TURIUBA	-20.9500	-50.1000	435
8	2050045	GUZOLANDIA	-20.6500	-50.6667	450
8	2050046	APARECIDA D'OESTE	-20.4500	-50.8833	420
8	2050047	MAGDA	-20.5667	-50.2167	420
8	2051003	PEREIRA BARRETO	-20.4167	-51.1000	360
8	2051004	PEREIRA BARRETO	-20.6167	-51.2333	340
8	2051006	PEREIRA BARRETO	-20.6833	-51.1000	290

8	2051007	PEREIRA BARRETO	-20.7333	-51.1333	350
8	2051012	ANDRADINA	-20.9167	-51.3667	370
8	2051018	CASTILHO	-20.8667	-51.4833	380
8	2051032	MIRANDOPOLIS	-20.9333	-51.1167	420
8	2051033	MIRANDOPOLIS	-20.9167	-51.0167	390
8	2051034	ANDRADINA	-20.9000	-51.3833	390
8	2051035	ANDRADINA	-20.7167	-51.3333	310
8	2051036	PEREIRA BARRETO	-20.7833	-51.1167	380
8	2051038	PEREIRA BARRETO	-20.5167	-51.1833	350
8	2051039	RUBINEIA	-20.3000	-51.0500	350
8	2051051*	ANDRADINA	-20.9167	-51.3833	379
8	2149002	JOSE BONIFACIO	-21.0500	-49.6833	430
8	2149007	BARBOSA	-21.2667	-49.9333	400
8	2149009	PROMISSAO	-21.2500	-49.8000	380
8	2149013	PROMISSAO	-21.4167	-49.8000	410
8	2149014	AVANHANDAVA	-21.4500	-49.9500	430
8	2149016	CAFELANDIA	-21.5833	-49.4333	400
8	2149021	CAFELANDIA	-21.8167	-49.6333	440
8	2149051	CAFELANDIA	-21.7333	-49.6500	480
8	2149054*	CAFELANDIA	-21.6667	-49.4333	420
8	2149067	CAFELANDIA	-21.8000	-49.6000	440
8	2149069	PROMISSAO	-21.5333	-49.8667	420
8	2149079	PLANALTO	-21.0500	-49.9667	400
8	2149095	AVANHANDAVA	-21.3667	-49.8833	410
8	2149098*	JOSE BONIFACIO	-21.0739	-49.6661	472
8	2150001	ARACATUBA	-21.0500	-50.4667	320
8	2150002	BIRIGUI	-21.2833	-50.3333	380
8	2150003	LAVINIA	-21.0000	-50.9167	400
8	2150004	ARACATUBA	-21.0833	-50.3833	380
8	2150005	COROADOS	-21.1167	-50.1833	320
8	2150006	VALPARAISO	-21.1167	-50.8333	380
8	2150007	COROADOS	-21.1500	-50.1833	370
8	2150008	COROADOS	-21.1667	-50.2333	370
8	2150009	ARACATUBA	-21.2000	-50.4167	370
8	2150010	ARACATUBA	-21.2000	-50.4500	390
8	2150011	VALPARAISO	-21.2333	-50.8667	440
8	2150013	GUARARAPES	-21.2667	-50.6333	410
8	2150014	BENTO DE ABREU	-21.3167	-50.8667	430
8	2150015	BIRIGUI	-21.2833	-50.3333	390
8	2150016	BIRIGUI	-21.3333	-50.3667	430
8	2150017	ARACATUBA	-21.3333	-50.5167	410
8	2150018	GUARARAPES	-21.2500	-50.7167	390
8	2150019	COROADOS	-21.3500	-50.2833	410
8	2150020	COROADOS	-21.3500	-50.2833	400
8	2150021	GUARARAPES	-21.3500	-50.6833	410
8	2150022	PENAPOLIS	-21.4333	-50.0667	430
8	2150023	PENAPOLIS	-21.4833	-50.1167	440
8	2150024	BRAUNA	-21.5667	-50.3333	480
8	2150025	PIACATU	-21.6000	-50.6000	420

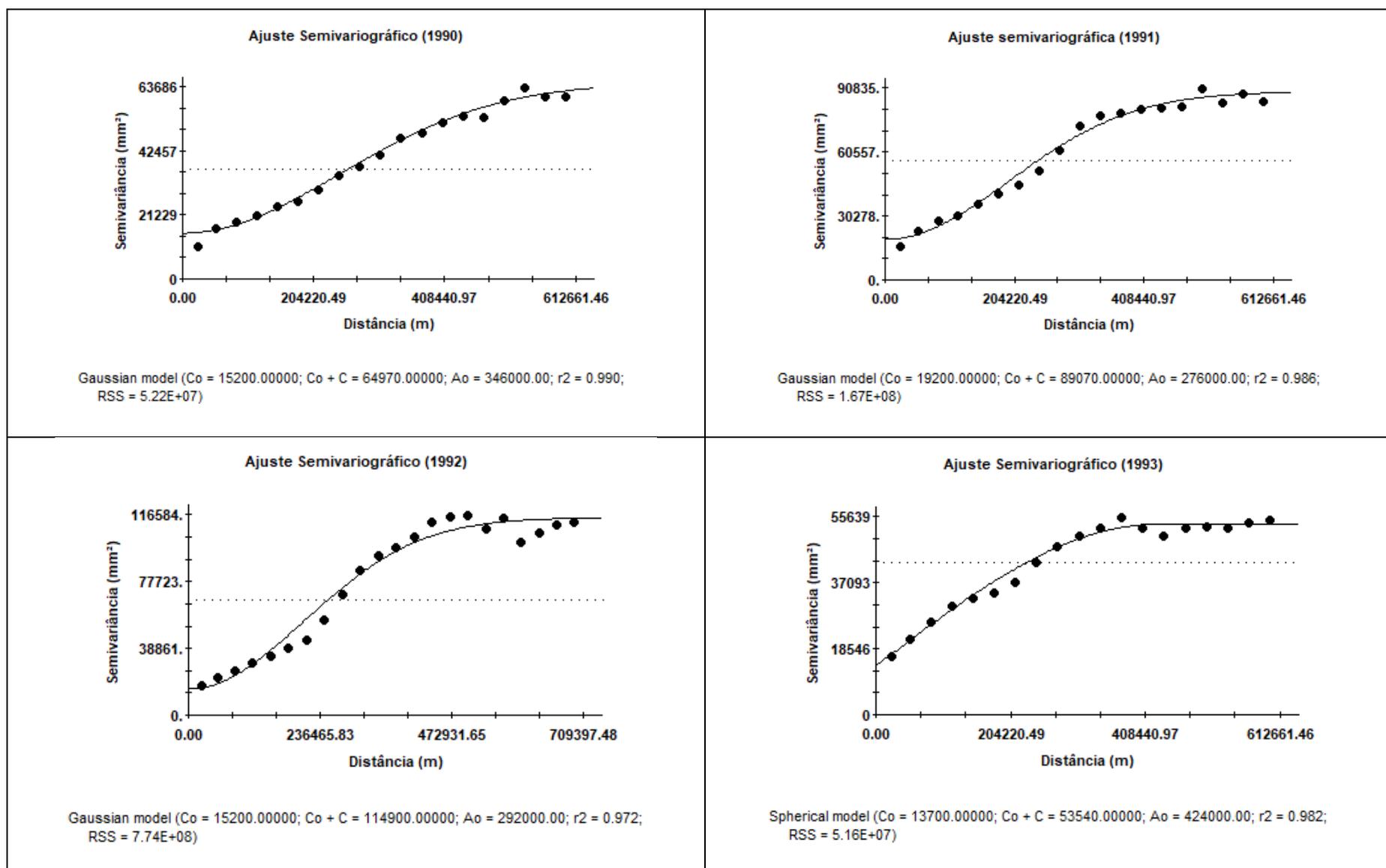
8	2150027	SANTOPOLIS DO AGUAPEI	-21.6333	-50.5000	420
8	2150044	ARACATUBA	-21.2000	-50.4333	398
8	2150049	ARACATUBA	-21.2000	-50.4333	390
8	2150050	VALPARAISO	-21.2000	-50.9500	440
8	2150054	BRAUNA	-21.5333	-50.3333	480
8	2150057	VALPARAISO	-21.2333	-50.8333	450
8	2150058	BIRIGUI	-21.2833	-50.3500	390
8	2150061	VALPARAISO	-21.2500	-50.8667	446
8	2150062	VALPARAISO	-21.1833	-50.8000	400
8	2150065*	BIRIGUI	-21.3000	-50.3333	376
8	2150069	BURITAMA	-21.0667	-50.1500	380
8	2150070	RUBIACEA	-21.4167	-50.8333	400
8	2150074*	GLICERIO	-21.3833	-50.2167	370
8	2150079	BILAC	-21.4000	-50.4833	450
8	2150083*	GLICERIO	-21.3833	-50.1667	390
8	2150089	PIACATU	-21.5167	-50.6167	430
8	2150090	COROADOS	-21.1333	-50.2000	370
8	2151003	MURUTINGA DO SUL	-21.0833	-51.3333	370
8	2151007	LAVINIA	-21.2833	-51.1333	370
8	2151009	JUNQUEIROPOLIS	-21.4333	-51.3667	390
8	2151010	DRACENA	-21.4667	-51.5333	415
8	2151034	TUPI PAULISTA	-21.3833	-51.5667	400
8	2151048	MIRANDOPOLIS	-21.2167	-51.3000	350
8	2151053	MIRANDOPOLIS	-21.0167	-51.1000	420
8	2151055	MIRANDOPOLIS	-21.1333	-51.1000	430
8	2151036*	MIRANDOPOLIS	-21.1333	-51.1000	420
9	2149022	GUAIMBE	-21.7833	-49.8000	440
9	2149024	GUAIMBE	-21.9167	-49.8667	480
9	2149028	GUAIMBE	-21.9167	-49.9000	440
9	2149030	JULIOMESQUITA	-21.9167	-49.7833	460
9	2149043	GUARANTA	-21.9167	-49.6500	470
9	2149052	GUARANTA	-21.8667	-49.6333	490
9	2149064	GUARANTA	-21.8833	-49.5333	450
9	2149074	CAFELANDIA	-21.8500	-49.7000	480
9	2149081	PIRAJUI	-21.9833	-49.4500	480
9	2150026	ALTO ALEGRE	-21.5833	-50.1667	510
9	2150028	SANTOPOLIS DO AGUAPEI	-21.6167	-50.9167	370
9	2150029	GETULINA	-21.7000	-50.3000	420
9	2150030	GETULINA	-21.7500	-50.1167	430
9	2150031	PARAPUA	-21.7833	-50.7833	490
9	2150034	QUEIROZ	-21.8000	-50.2333	430
9	2150035	IACRI	-21.8000	-50.6167	440
9	2150036	QUEIROZ	-21.8333	-50.2167	390
9	2150037	IACRI	-21.8667	-50.7000	510
9	2150038	BASTOS	-21.9167	-50.7333	440
9	2150039	TUPA	-21.9333	-50.5333	510
9	2150040	RANCHARIA	-21.9500	-50.9333	320
9	2150041	TUPA	-21.9667	-50.4500	480
9	2150042	POMPEIA	-21.9833	-50.1000	460

9	2150043	LUCELIA	-21.4525	-50.9194	290
9	2150064	RINOPOLIS	-21.7333	-50.7167	410
9	2150067	TUPA	-21.9000	-50.6000	510
9	2150071	PROMISSAO	-21.6500	-50.0167	450
9	2150087	VALPARAISO	-21.3333	-50.9500	340
9	2151005	ADAMANTINA	-21.6833	-51.0833	440
9	2151011	IRAPURU	-21.5667	-51.3500	440
9	2151012	FLORIDA PAULISTA	-21.7244	-51.2767	287
9	2151013	FLORIDA PAULISTA	-21.5000	-51.1500	380
9	2151016	MARIAPOLIS	-21.7833	-51.1833	370
9	2151019	PIQUEROBI	-21.8833	-51.7333	420
9	2151020	PRESIDENTE VENCESLAU	-21.8833	-51.8333	400
9	2151021	ALFREDO MARCONDES	-21.9500	-51.4167	440
9	2151022	SANTO ANASTACIO	-21.9667	-51.6500	430
9	2151029	LUCELIA	-21.7333	-51.0167	460
9	2151039	LUCELIA	-21.7333	-51.0167	460
9	2151049	VALPARAISO	-21.4333	-51.0167	280
9	2151051	MARTINOPOLIS	-21.9997	-51.1333	440
9	2151056	FLORARICA	-21.7333	-51.4500	300
9	2151059	SANTO ANASTACIO	-21.9667	-51.6500	450
9	2249001	PIRAJUI	-22.0333	-49.4667	550
9	2249005	PIRAJUI	-22.0500	-49.6167	550
9	2249006	GARCA	-22.2000	-49.6500	680
9	2249007	VERA CRUZ	-22.2167	-49.8167	630
9	2249008	MARILIA	-22.2167	-49.9333	640
9	2249009	MARILIA	-22.2333	-49.9333	660
9	2249011	GALIA	-22.3167	-49.5333	560
9	2249014	GARCA	-22.3167	-49.7667	480
9	2249016	MARILIA	-22.3167	-49.9997	390
9	2249017	GALIA	-22.2333	-49.5667	650
9	2249018	GALIA	-22.3667	-49.5167	570
9	2249021	GALIA	-22.4167	-49.6667	600
9	2249022	OCAUCU	-22.4333	-49.9167	540
9	2249045	GARCA	-22.2167	-49.6500	678
9	2249046	MARILIA	-22.1833	-49.9667	619
9	2249061	GARCA	-22.1833	-49.5833	640
9	2249062	MARILIA	-22.1333	-49.9167	440
9	2249066	ALVARO CARVALHO	-22.0833	-49.7167	580
9	2249073	PIRAJUI	-22.0333	-49.6500	550
9	2249079*	MARILIA	-22.2167	-49.9500	650
9	2250001	QUATA	-22.0633	-50.6094	340
9	2250003	QUINTANA	-22.0667	-50.3000	600
9	2250004	TUPA	-22.0667	-50.5333	430
9	2250005	TUPA	-22.0833	-50.5500	390
9	2250007	ORIENTE	-22.1500	-50.0833	590
9	2250009	RANCHARIA	-22.2167	-50.8833	550
9	2250010	BORA	-22.2500	-50.5500	470
9	2250011	LUTECIA	-22.3667	-50.3833	500
9	2250013	ECHAPORA	-22.4333	-50.2167	680

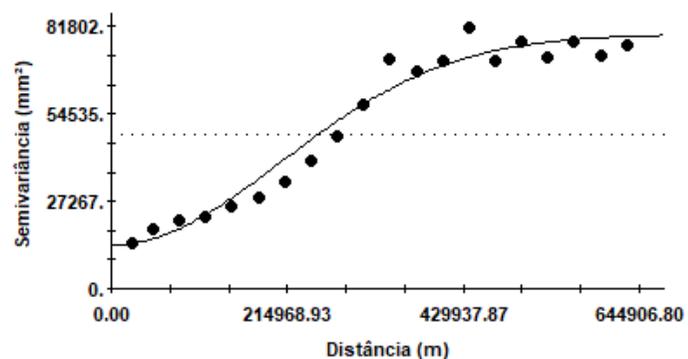
9	2250014	RANCHARIA	-22.4333	-50.9997	470
9	2250042	POMPEIA	-22.1000	-50.1667	581
9	2250045	RANCHARIA	-22.6333	-50.9000	330
9	2250046	MARILIA	-22.3500	-50.0500	440
9	2250050*	MARILIA	-22.2667	-50.1500	400
9	2250053	RANCHARIA	-22.0000	-50.0000	479
9	2250054	POMPEIA	-22.1000	-50.1833	580
9	2250062	QUATA	-22.2333	-50.7000	520
9	2250064	RANCHARIA	-22.1167	-50.8333	430
9	2250065	MARILIA	-22.2667	-50.1000	500
9	2250073	RANCHARIA	-22.1667	-50.9833	440
9	2250083	QUINTANA	-22.1833	-50.4000	400
9	2251001	PRESIDENTE VENCESLAU	-22.0000	-51.9000	350
9	2251003	ALVARES MACHADO	-22.0833	-51.4667	480
9	2251004	PRESIDENTE PRUDENTE	-22.1333	-51.3833	460
9	2251006	MARTINOPOLIS	-22.1500	-51.1667	480
9	2251007	MARTINOPOLIS	-22.1667	-51.7667	415
9	2251008	INDIANA	-22.1833	-51.2500	470
9	2251009	INDIANA	-22.1500	-51.2500	520
9	2251010	MARTINOPOLIS	-22.2500	-51.1667	430
9	2251029	PRESIDENTE PRUDENTE	-22.1167	-51.3833	436
9	2251052	MARTINOPOLIS	-22.4167	-51.1667	440
9	2251061	REGENTE FEIJO	-22.2000	-51.3333	460
9	2251064	REGENTE FEIJO	-22.0000	-51.0000	407
9	2251066	PRESIDENTE PRUDENTE	-22.1000	-51.3833	460
9	2251074	CAIABU	-22.0167	-51.2333	520

* Posto discordante

APÊNDICE E – AJUSTES SEMIVARIOGRÁFICOS DAS CHUVAS TOTAIS ANUAIS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ

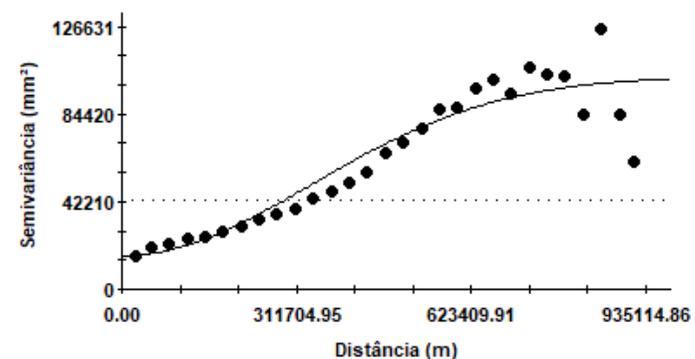


Ajuste Semivariográfico (1994)



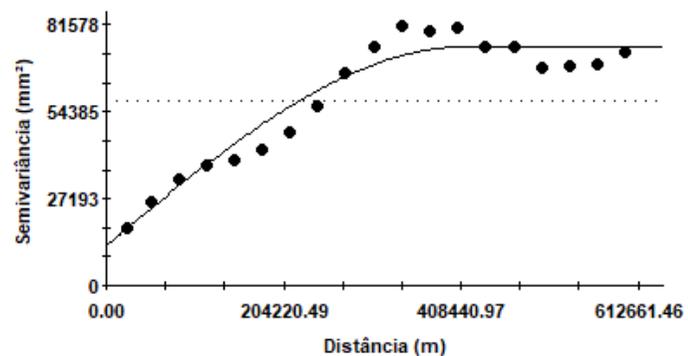
Gaussian model (Co = 13600.00000; Co + C = 79400.00000; Ao = 293000.00; r2 = 0.964;
RSS = 4.03E+08)

Ajuste Semivariográfico (1995)



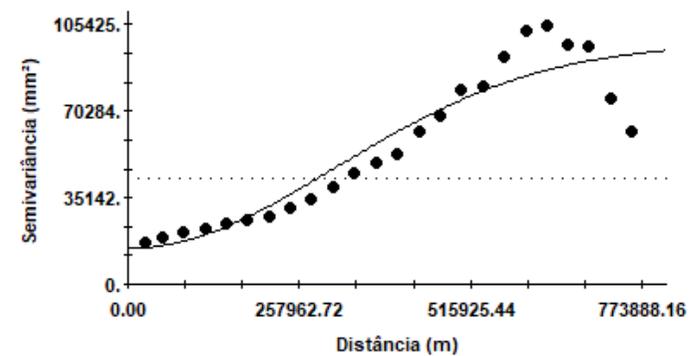
Gaussian model (Co = 16200.00000; Co + C = 102600.00000; Ao = 476000.00; r2 = 0.876;
RSS = 3.59E+09)

Ajuste Semivariográfico (1996)



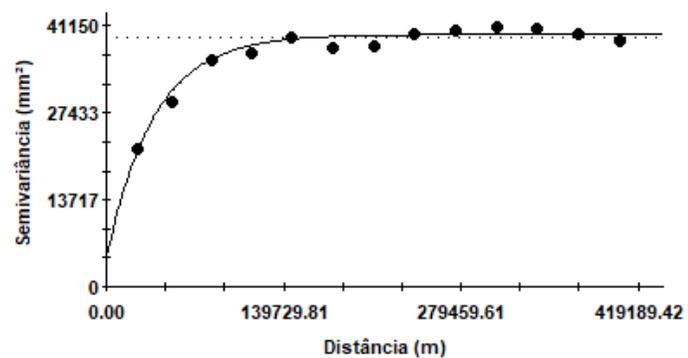
Spherical model (Co = 12600.00000; Co + C = 74810.00000; Ao = 415000.00; r2 = 0.936;
RSS = 4.69E+08)

Ajuste Semivariográfico (1997)



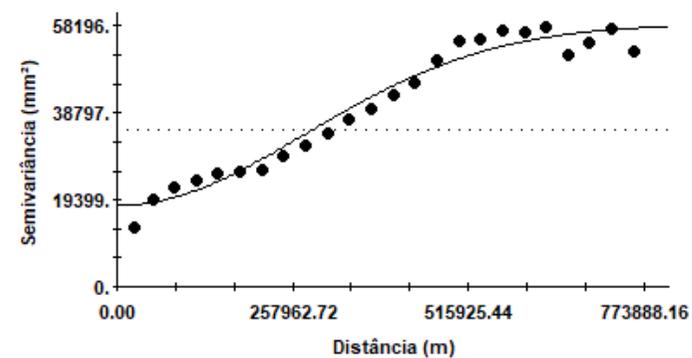
Gaussian model (Co = 14600.00000; Co + C = 97800.00000; Ao = 442000.00; r2 = 0.875;
RSS = 2.55E+09)

Ajuste Semivariográfico (1998)



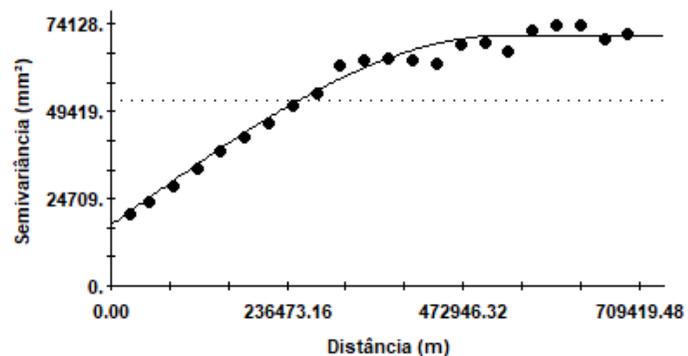
Exponential model ($C_0 = 4500.00000$; $C_0 + C = 39820.00000$; $A_0 = 37600.00$; $r_2 = 0.961$;
 RSS = $1.51E+07$)

Ajuste Semivariográfico (1999)



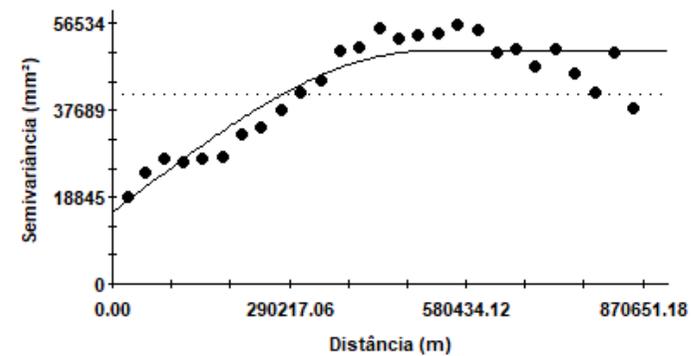
Gaussian model ($C_0 = 18100.00000$; $C_0 + C = 58690.00000$; $A_0 = 391000.00$; $r_2 = 0.964$;
 RSS = $1.78E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2000)



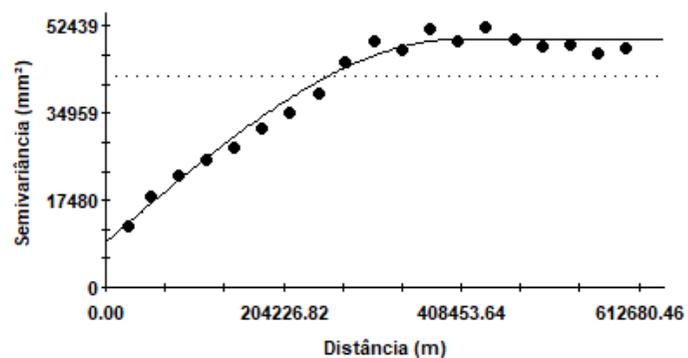
Spherical model ($C_0 = 17200.00000$; $C_0 + C = 71110.00000$; $A_0 = 533000.00$; $r_2 = 0.983$;
 RSS = $1.04E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2001)



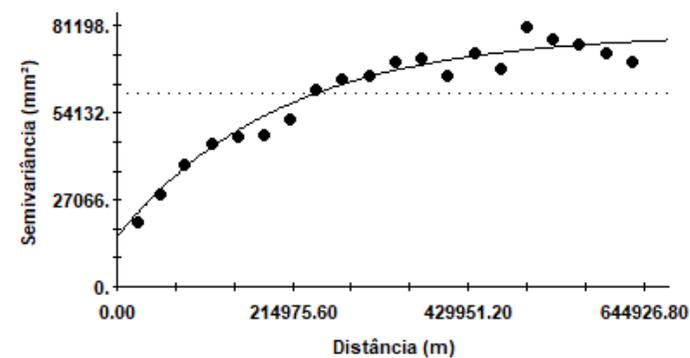
Spherical model ($C_0 = 15500.00000$; $C_0 + C = 50680.00000$; $A_0 = 518000.00$; $r_2 = 0.848$;
 RSS = $5.21E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2002)



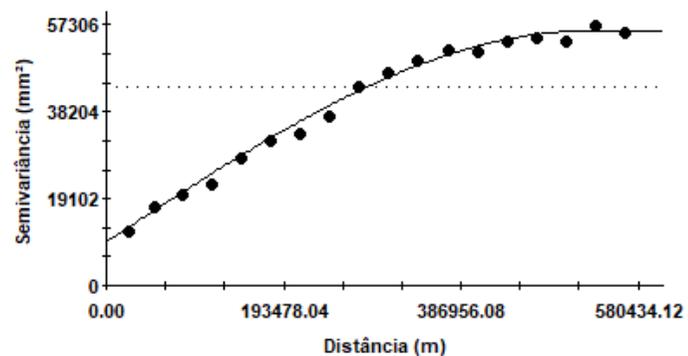
Spherical model ($C_0 = 9100.00000$; $C_0 + C = 49870.00000$; $A_0 = 408000.00$; $r^2 = 0.979$;
RSS = $5.99E+07$)

Ajuste Semivariográfico (2003)



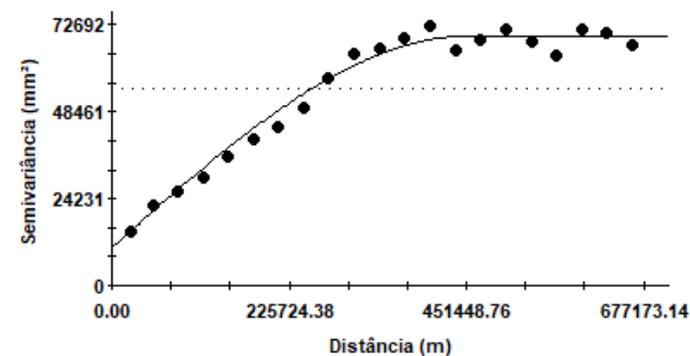
Exponential model ($C_0 = 15500.00000$; $C_0 + C = 79040.00000$; $A_0 = 200000.00$; $r^2 = 0.958$;
RSS = $2.30E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2004)



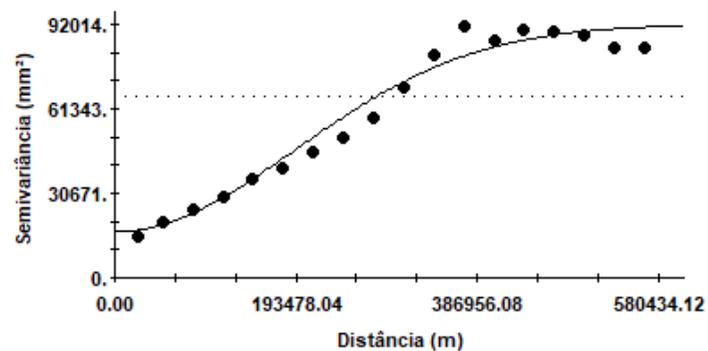
Spherical model ($C_0 = 9600.00000$; $C_0 + C = 55980.00000$; $A_0 = 524000.00$; $r^2 = 0.992$;
RSS = $2.97E+07$)

Ajuste Semivariográfico (2005)



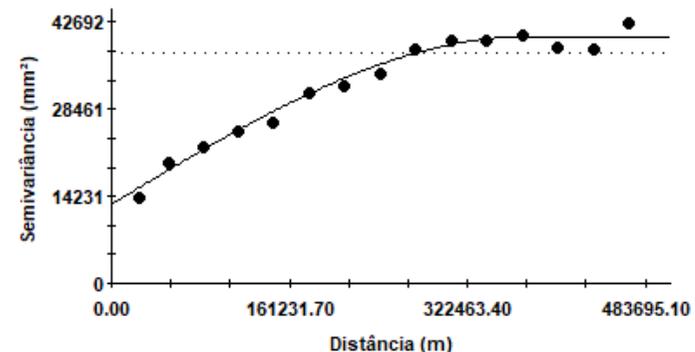
Spherical model ($C_0 = 10600.00000$; $C_0 + C = 69680.00000$; $A_0 = 456000.00$; $r^2 = 0.980$;
RSS = $1.41E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2006)



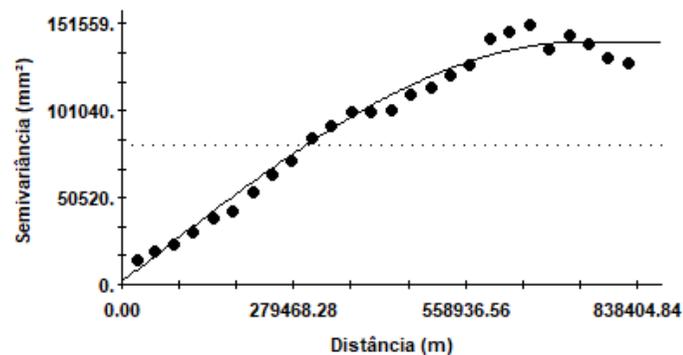
Gaussian model ($C_0 = 16700.00000$; $C_0 + C = 92050.00000$; $A_0 = 272000.00$; $r^2 = 0.969$;
 RSS = $3.93E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2007)



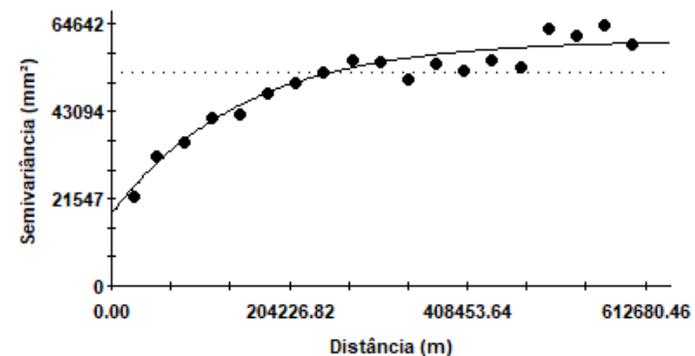
Spherical model ($C_0 = 12900.00000$; $C_0 + C = 40390.00000$; $A_0 = 377000.00$; $r^2 = 0.980$;
 RSS = $2.15E+07$)

Ajuste Semivariográfico (2008)



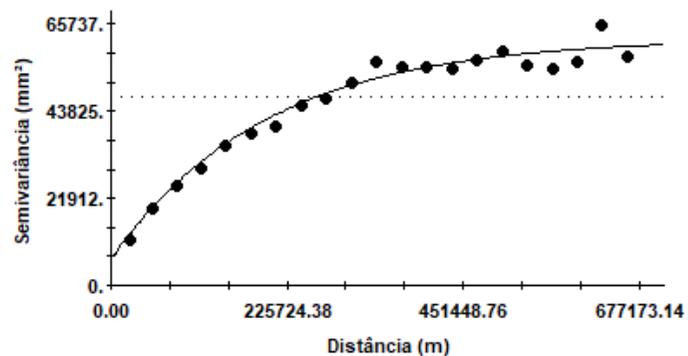
Spherical model ($C_0 = 1700.00000$; $C_0 + C = 141100.00000$; $A_0 = 747000.00$; $r^2 = 0.981$;
 RSS = $9.46E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2009)



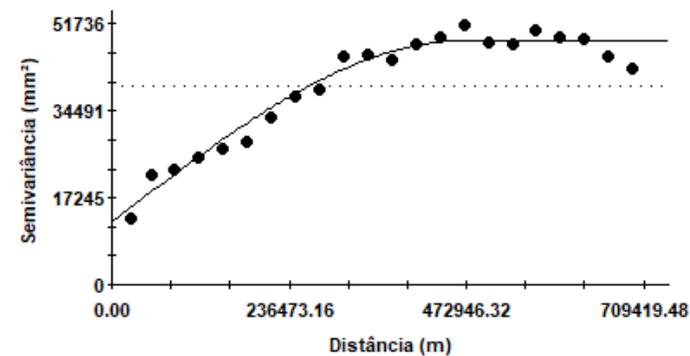
Exponential model ($C_0 = 17700.00000$; $C_0 + C = 60810.00000$; $A_0 = 150000.00$; $r^2 = 0.937$;
 RSS = $1.41E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2010)



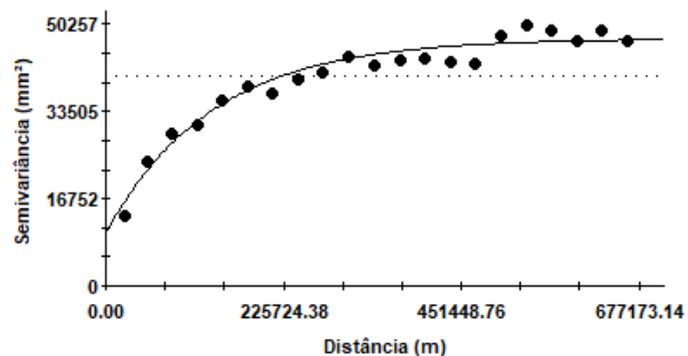
Exponential model ($C_0 = 6500.00000$; $C_0 + C = 62160.00000$; $A_0 = 198000.00$; $r^2 = 0.974$;
 RSS = $1.08E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2011)



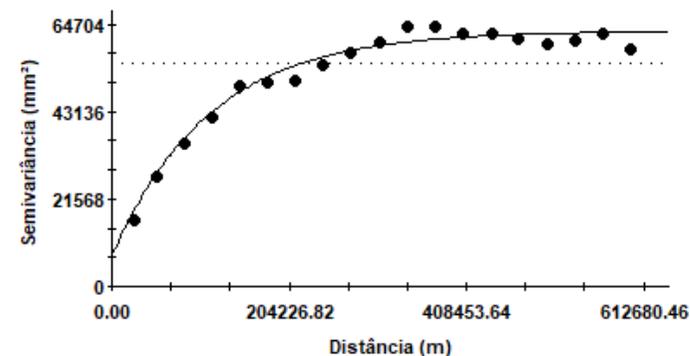
Spherical model ($C_0 = 12400.00000$; $C_0 + C = 48460.00000$; $A_0 = 471000.00$; $r^2 = 0.962$;
 RSS = $1.03E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2012)



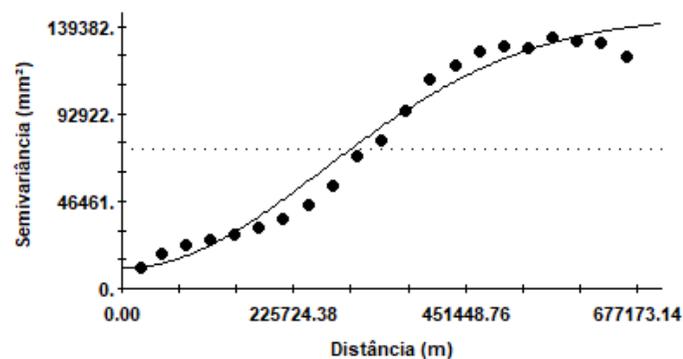
Exponential model ($C_0 = 10200.00000$; $C_0 + C = 47540.00000$; $A_0 = 136000.00$; $r^2 = 0.950$;
 RSS = $8.38E+07$)

Ajuste Semivariográfico (2013)



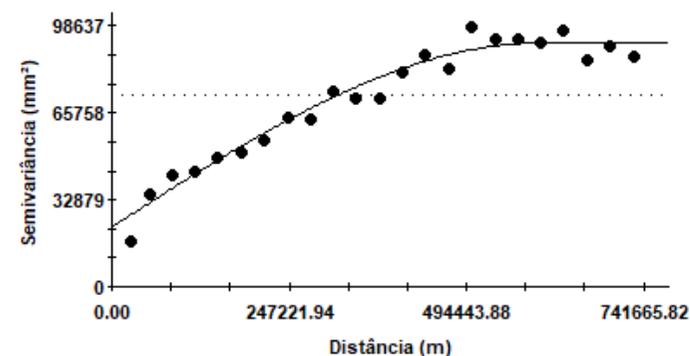
Exponential model ($C_0 = 7600.00000$; $C_0 + C = 63030.00000$; $A_0 = 113000.00$; $r^2 = 0.977$;
 RSS = $7.72E+07$)

Ajuste Semivariográfico (2014)



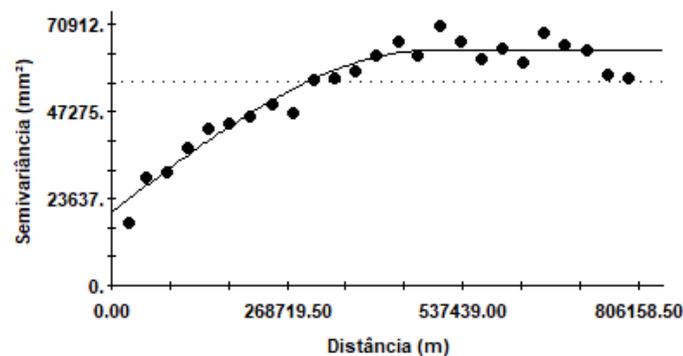
Gaussian model ($C_0 = 10900.00000$; $C_0 + C = 144600.00000$; $A_0 = 376000.00$; $r_2 = 0.975$;
 RSS = $1.07E+09$)

Ajuste Semivariográfico (2015)



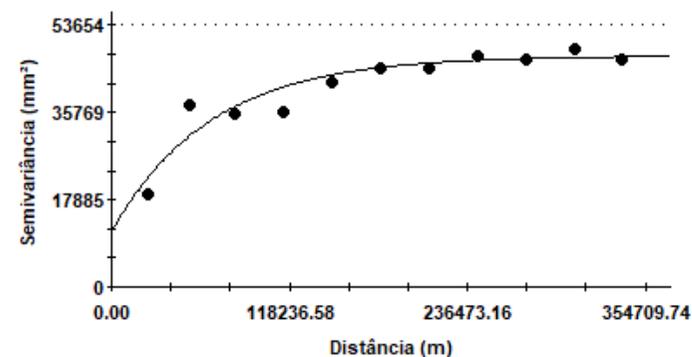
Spherical model ($C_0 = 22600.00000$; $C_0 + C = 92390.00000$; $A_0 = 600000.00$; $r_2 = 0.960$;
 RSS = $4.48E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2016)



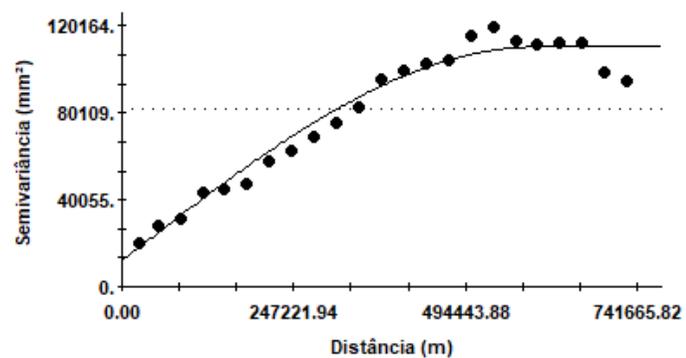
Spherical model ($C_0 = 20000.00000$; $C_0 + C = 64040.00000$; $A_0 = 489000.00$; $r_2 = 0.930$;
 RSS = $3.21E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2017)



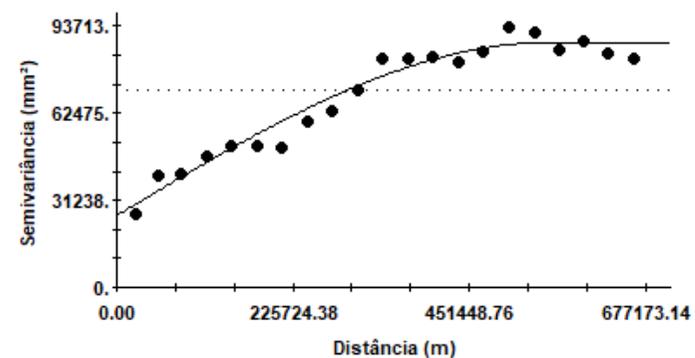
Exponential model ($C_0 = 11300.00000$; $C_0 + C = 47410.00000$; $A_0 = 65900.00$; $r_2 = 0.880$;
 RSS = $8.90E+07$)

Ajuste Semivariográfico (2018)



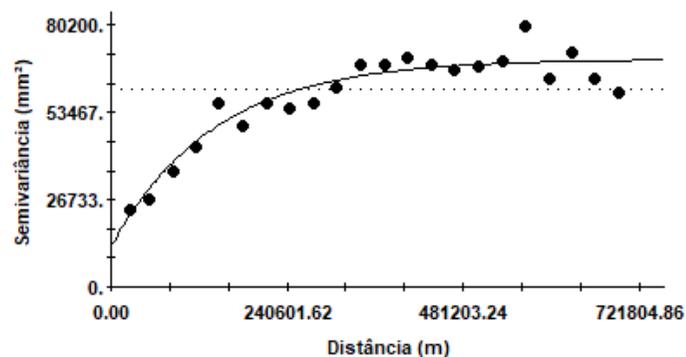
Spherical model ($C_0 = 12100.00000$; $C_0 + C = 110600.00000$; $A_0 = 596000.00$; $r^2 = 0.963$;
 RSS = $8.36E+08$)

Ajuste Semivariográfico (2019)



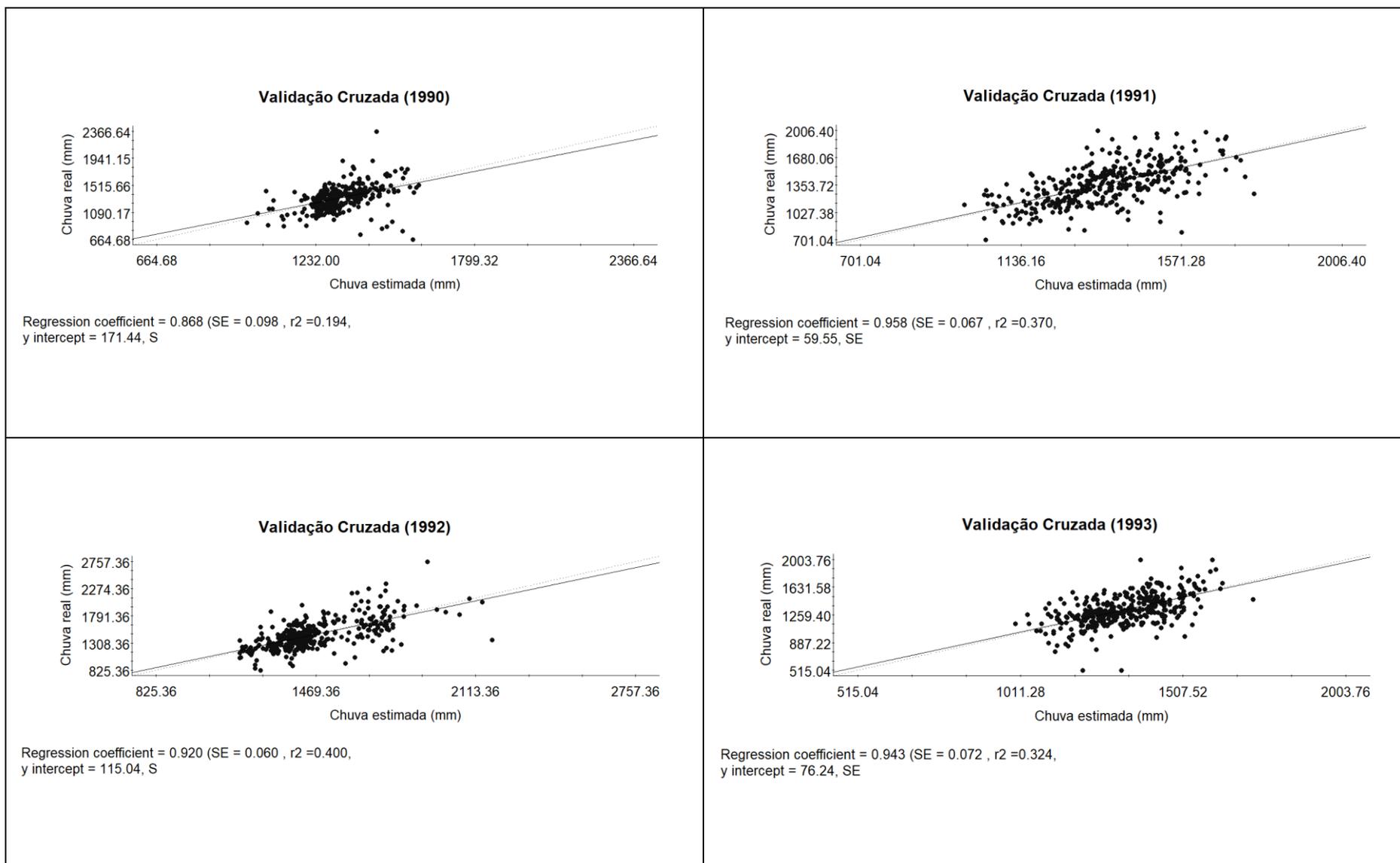
Spherical model ($C_0 = 25700.00000$; $C_0 + C = 87910.00000$; $A_0 = 553000.00$; $r^2 = 0.955$;
 RSS = $3.68E+08$)

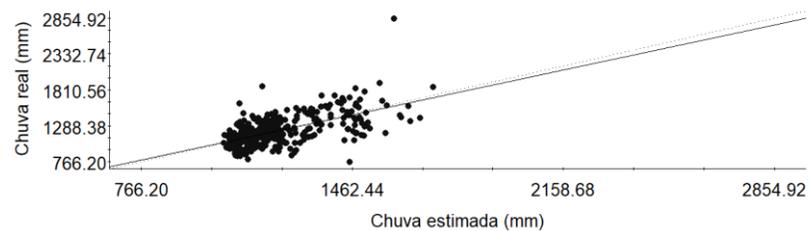
Ajuste Semivariográfico (2020)



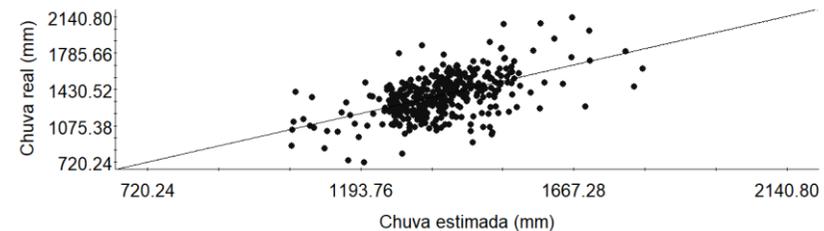
Exponential model ($C_0 = 12300.00000$; $C_0 + C = 69830.00000$; $A_0 = 141000.00$; $r^2 = 0.900$;
 RSS = $4.46E+08$)

APÊNDICE F – VALIDAÇÃO CRUZADA DAS CHUVAS TOTAIS ANUAIS NA REGIÃO ALTO RIO PARANÁ

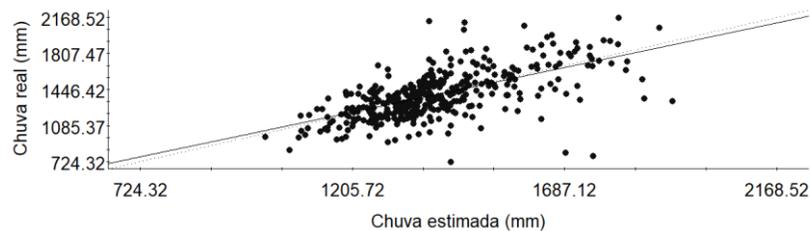


Validação Cruzada (1994)

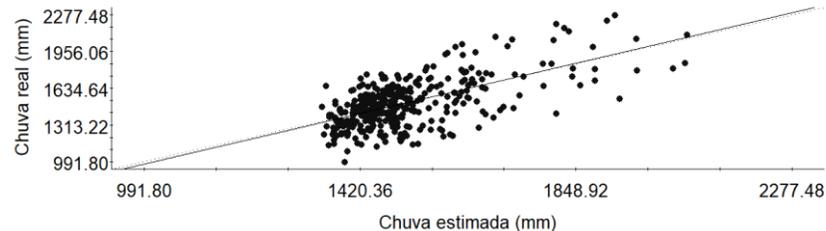
Regression coefficient = 0.942 (SE = 0.067 , r2 =0.350,
y intercept = 69.36, SE

Validação Cruzada (1995)

Regression coefficient = 1.008 (SE = 0.081 , r2 =0.296,
y intercept = -8.69, SE

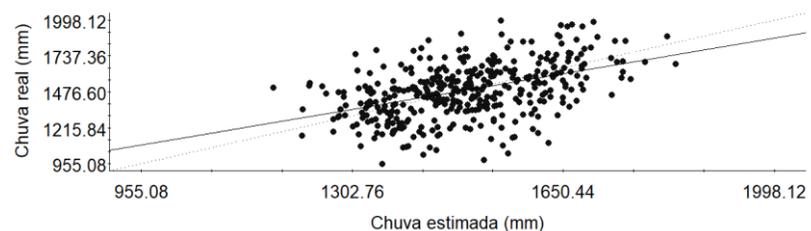
Validação Cruzada (1996)

Regression coefficient = 0.928 (SE = 0.060 , r2 =0.388,
y intercept = 99.82, SE

Validação Cruzada (1997)

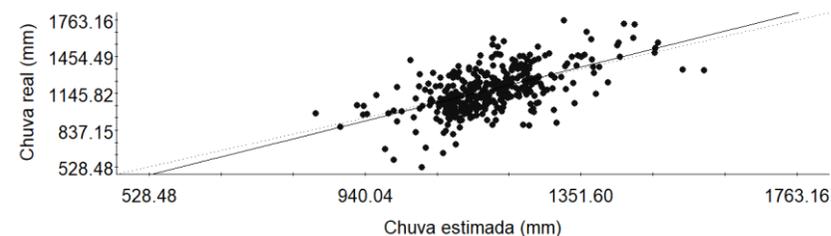
Regression coefficient = 1.031 (SE = 0.065 , r2 =0.400,
y intercept = -52.56, S

Validação Cruzada (1998)



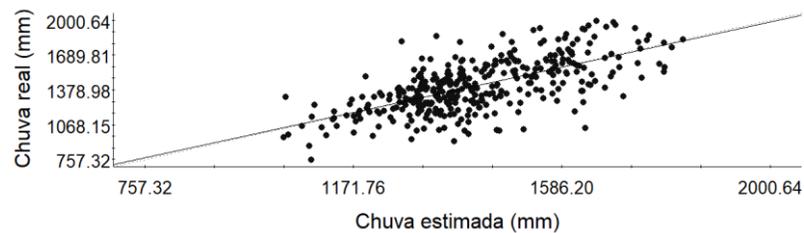
Regression coefficient = 0.747 (SE = 0.075 , r2 =0.211,
y intercept = 374.98, S

Validação Cruzada (1999)



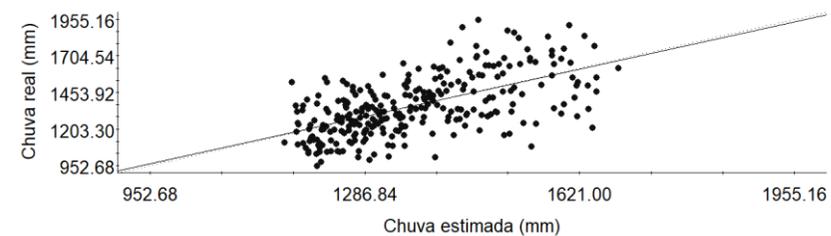
Regression coefficient = 1.101 (SE = 0.079 , r2 =0.350,
y intercept = -120.92,

Validação Cruzada (2000)



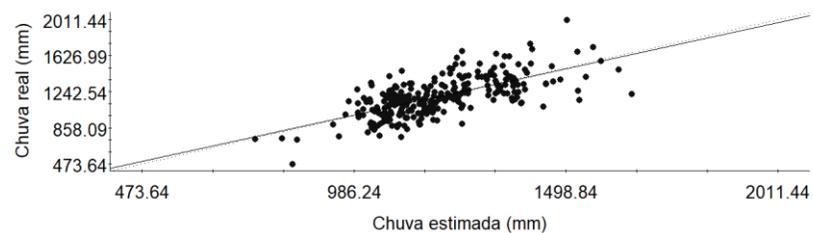
Regression coefficient = 0.971 (SE = 0.058 , r2 =0.433,
y intercept = 40.49, SE

Validação Cruzada (2001)



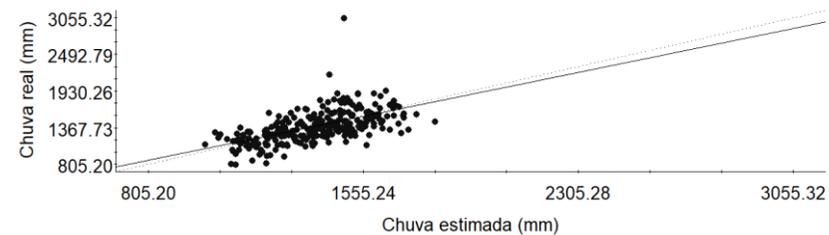
Regression coefficient = 0.970 (SE = 0.078 , r2 =0.355,
y intercept = 40.51, SE

Validação Cruzada (2002)



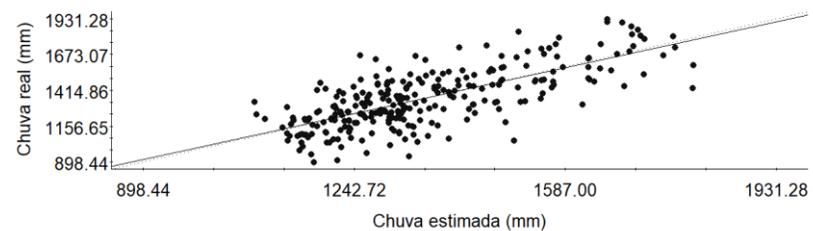
Regression coefficient = 0.964 (SE = 0.064 , $r^2=0.456$,
y intercept = 43.26, SE

Validação Cruzada (2003)



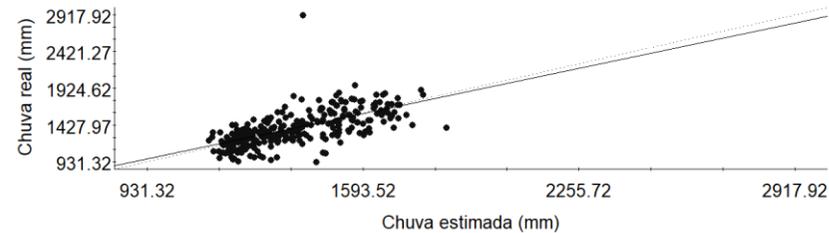
Regression coefficient = 0.902 (SE = 0.074 , $r^2=0.349$,
y intercept = 135.83, S

Validação Cruzada (2004)



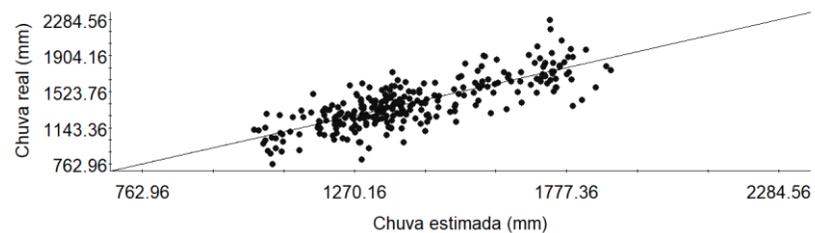
Regression coefficient = 0.961 (SE = 0.055 , $r^2=0.525$,
y intercept = 52.08, SE

Validação Cruzada (2005)



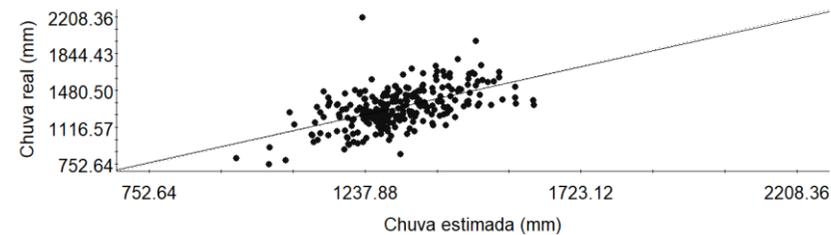
Regression coefficient = 0.925 (SE = 0.065 , $r^2=0.424$,
y intercept = 104.58, S

Validação Cruzada (2006)



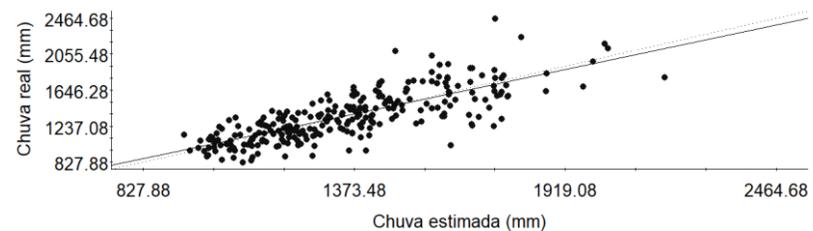
Regression coefficient = 1.001 (SE = 0.046 , $r^2 = 0.635$,
y intercept = -3.14, SE

Validação Cruzada (2007)



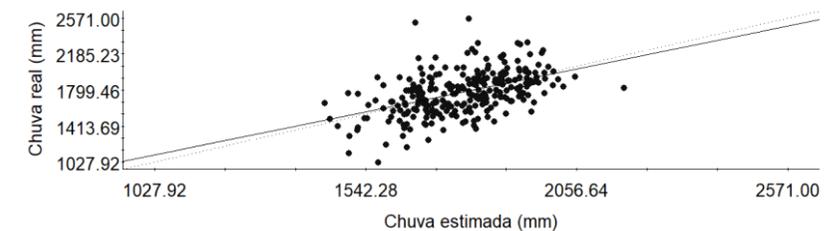
Regression coefficient = 0.981 (SE = 0.092 , $r^2 = 0.300$,
y intercept = 25.33, SE

Validação Cruzada (2008)



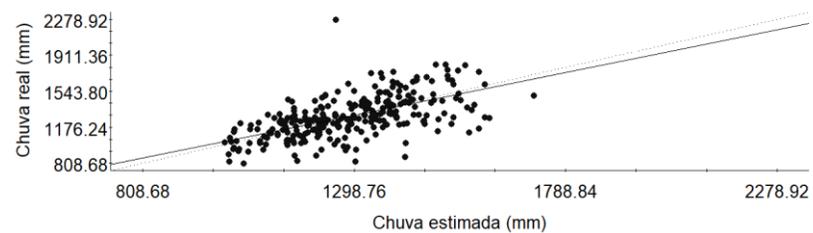
Regression coefficient = 0.932 (SE = 0.045 , $r^2 = 0.616$,
y intercept = 92.59, SE

Validação Cruzada (2009)



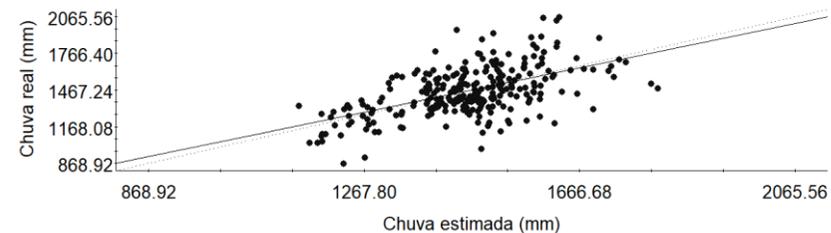
Regression coefficient = 0.898 (SE = 0.099 , $r^2 = 0.235$,
y intercept = 180.99, S

Validação Cruzada (2010)



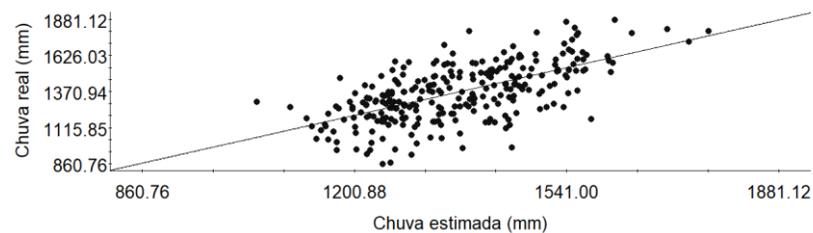
Regression coefficient = 0.893 (SE = 0.073 , $r^2=0.357$,
y intercept = 137.57, S

Validação Cruzada (2011)



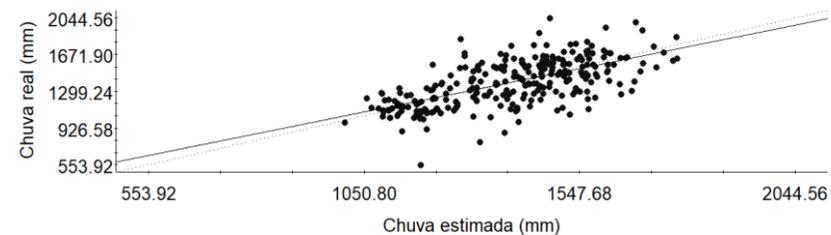
Regression coefficient = 0.909 (SE = 0.083 , $r^2=0.308$,
y intercept = 132.39, S

Validação Cruzada (2012)



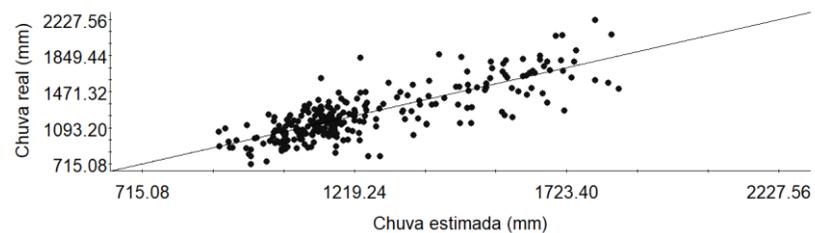
Regression coefficient = 0.991 (SE = 0.075 , $r^2=0.395$,
y intercept = 10.90, SE

Validação Cruzada (2013)



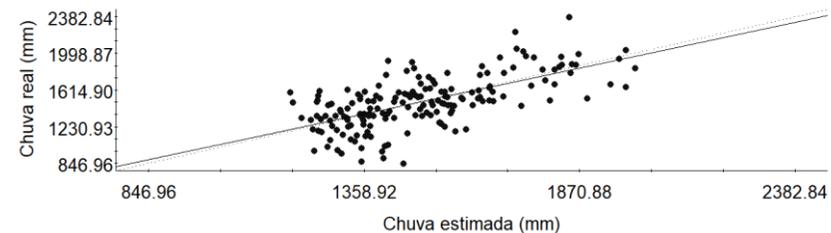
Regression coefficient = 0.887 (SE = 0.066 , $r^2=0.406$,
y intercept = 156.78, S

Validação Cruzada (2014)



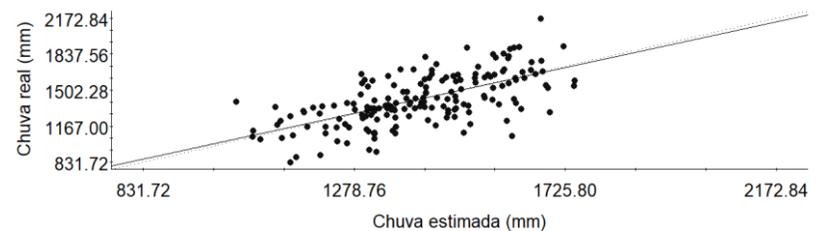
Regression coefficient = 1.000 (SE = 0.045 , $r^2=0.649$,
y intercept = -1.94, SE

Validação Cruzada (2015)



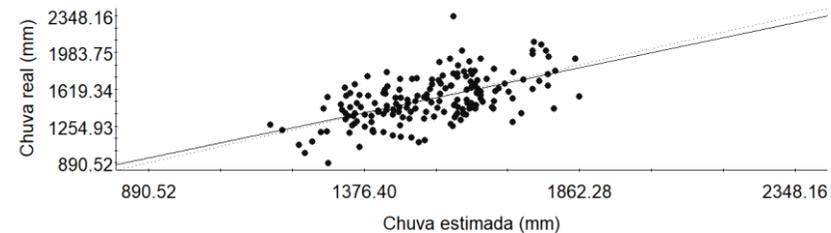
Regression coefficient = 0.936 (SE = 0.083 , $r^2=0.423$,
y intercept = 93.33, SE

Validação Cruzada (2016)

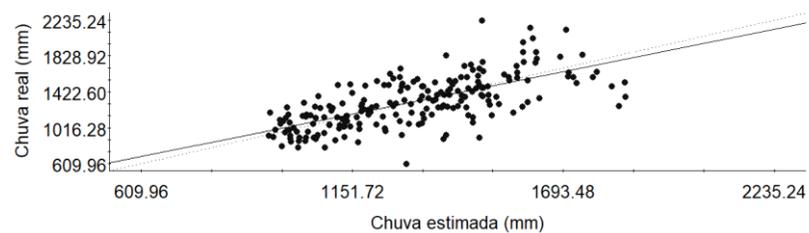


Regression coefficient = 0.952 (SE = 0.087 , $r^2=0.408$,
y intercept = 67.53, SE

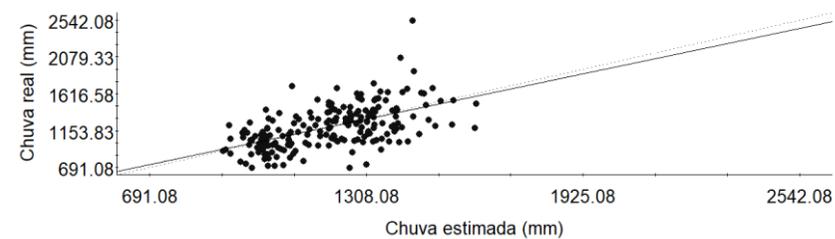
Validação Cruzada (2017)



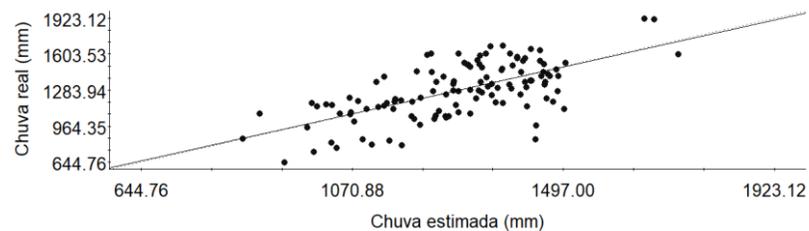
Regression coefficient = 0.920 (SE = 0.102 , $r^2=0.321$,
y intercept = 120.81, S

Validação Cruzada (2018)

Regression coefficient = 0.885 (SE = 0.065 , r2 =0.470,
y intercept = 150.85, S

Validação Cruzada (2019)

Regression coefficient = 0.921 (SE = 0.095 , r2 =0.315,
y intercept = 93.42, SE

Validação Cruzada (2020)

Regression coefficient = 0.977 (SE = 0.106 , r2 =0.421,
y intercept = 27.62, SE

