



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL: MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

(DES)CONTINUIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO
DE MATO GROSSO – BRASIL

JANIEL LOPES DE OLIVEIRA
UBERLÂNDIA-MG, 2024

JANIEL LOPES DE OLIVEIRA

(DES)CONTINUIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO
DE MATO GROSSO – BRASIL

Tese de Doutorado apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGeo, da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de Concentração: Dinâmicas Territoriais e Estudos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Orientador: Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva.

UBERLÂNDIA-MG, 2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

O48
2024

Oliveira, Janiel Lopes de, 1984-
(Des)continuidade espacial da precipitação pluvial no
Estado de Mato Grosso - Brasil [recurso eletrônico] /
Janiel Lopes de Oliveira. - 2024.

Orientador: Claudionor Ribeiro da Silva.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Geografia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.284>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Silva, Claudionor Ribeiro da, 1975-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, Número 256 , PPGGEO				
Data:	18 de março de 2024	Hora de início:	14h:00min.	Hora de encerramento:	18h:00min.
Matrícula do Discente:	12013GEO012				
Nome do Discente:	JANIEL LOPES DE OLIVEIRA				
Título do Trabalho:	(DES)CONTINUIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DE MATO GROSSO – BRASIL				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Campus Santa Mônica Sala 14 (Online - conferenciaweb.rnp.br) do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em **GEOGRAFIA**, assim composta: Professores Doutores: [Evaldo de Paiva Lima - EMBRAPA](#); [Renato Farias do Valle Junior - IFTM - MG](#); [Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG - UFU](#); [Alan Silveira - IG - UFU](#) e [Claudionor Ribeiro da Silva - IG-UFU](#) (orientador do(a) candidato). Os membros participaram de forma remota.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, [Professor Claudionor Ribeiro da Silva - IG-UFU](#), apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Doutor**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Claudionor Ribeiro da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 18/03/2024, às 18:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanderlei de Oliveira Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 18/03/2024, às 18:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Evaldo de Paiva Lima, Usuário Externo**, em 18/03/2024, às 18:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renato Farias do Valle Junior, Usuário Externo**, em 18/03/2024, às 18:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alan Silveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 18/03/2024, às 18:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5200361** e o código CRC **7A8C2772**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a força maior que move o Universo por conceder-me entendimento e sabedoria para superar os obstáculos que fazem parte da busca, do objetivo, do caminhar no processo de desenvolvimento de uma pesquisa. Essa é uma trilha na qual por muitos momentos olhamos para todos os lados e temos o sentimento de estar sozinho na quase escuridão, frente ao abismo.

A minha família, em especial ao meu pai, companheiro de luta que nos ensinou a trabalhar com dignidade e nos deu exemplos de vida para superarmos as adversidades vividas, quebrando paradigmas sociais. A minha mãe (*in memoriam*), aquela que sempre nos mostrou caminhos a seguir, nos dotou de ensinamentos demonstrando a importância de ir à escola estudar para entender a dinâmica da ‘vida’ em suas diferentes faces, sendo a leitura do mundo real e vivido uma página que nunca se fecha por completo.

Aos professores e pesquisadores Dr. Claudionor Ribeiro da Silva, Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira, Dr. Evaldo de Paiva Lima, Dr. Renato Farias do Valle Junior, Dr. Alan Silveira (bancas de qualificação e defesa de tese), ao professor Dr. Luiz Antônio de Oliveira pelas contribuições na parte inicial do projeto de desenvolvimento da pesquisa, aos avaliadores pelas sugestões de melhorias nas avaliações da tese.

Agradeço aos colaboradores da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao Instituto de Geografia (IG) e ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO).

Aos colegas do curso de Pós-graduação em Geografia (turma 2020-2024), a todos que de forma direta ou indiretamente cooperaram para que eu pudesse conduzir e realizar as atividades no doutoramento, desenvolver e concluir a pesquisa (tese).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo recurso financeiro (bolsa de estudo) concedida para a sustentação das atividades discentes no período de desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

A precipitação pluvial é uma variável atmosférica que apresenta grande variabilidade temporal e espacial, ela tem importância para a sustentabilidade ambiental. Há uma busca continuada por identificar e compreender dinâmicas espaciais e tendências das chuvas ao longo do tempo, e entender a relação dessa variável com outros fatores do meio físico, bem como prever situações futuras com base em conjuntos de registros históricos. Nesse contexto, esta pesquisa foi realizada para identificar a continuidade espacial das precipitações pluviais no Estado de Mato Grosso, bem como estimar valores médios de precipitação para locais não amostrados no período de 1985 a 2020. Nessa perspectiva foram utilizadas séries históricas de 109 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), atentando-se aos critérios da Organização Meteorológica Mundial (OMM), com registros de no mínimo de 30 anos corridos e percentual de falhas de 10% dos dados. No tratamento e processamento dos dados foram utilizados recursos da Estatística e da Geoestatística, aplicações em planilha eletrônica e uso de ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG). A pesquisa seguiu delineamento partindo da tabulação e correção das falhas nas séries históricas, seguindo com a estatística descritiva, distribuição de frequência e a preparação dos dados segundo preceitos da Geoestatística, modelagens com uso de semivariogramas experimentais, interpolação com a krigagem ordinária e análise dos dados de precipitação média anual em diferentes cenários. Nos resultados, destaca-se a estatística descritiva onde as médias mensais de novembro até março variam de 136,2 a 296,7 mm, e julho teve a menor média para o período com 7,1 mm. Para as médias anuais, o valor máximo foi de 1.971,6 mm em 2013, e o mínimo de 1.511,4 mm em 2015. Quanto a distribuição de frequência, 81,48% das precipitações tiveram médias variando de 1.373,3 mm a 2.159,6 mm. Já no coeficiente de correlação (r) entre as variáveis dependentes (y) e independentes (x), os valores foram: 0,681 (chuva e latitude) e 0,483 (chuva e longitude). Entretanto no cálculo da dependência entre x e y , o coeficiente de determinação r^2 foi de 0,667, o erro padrão de 165,87. Na continuidade espacial modelada com semivariograma para a escala regional o alcance do fenômeno foi de 336,1 km, com r^2 de 0,973, IDE equivalente a 0,14, e validação cruzada com r^2 de 0,996. Na escala local, o alcance foi 174,3 km, com r^2 de 0,995, IDE equivalente a 0,04, validação cruzada com valor de r^2 de 0,253. Na krigagem, para as escalas regional e local foram estimados mais de 36.000 valores, representando a precipitação média anual para todos os municípios de Mato Grosso, em específico aqueles que não têm estações pluviométricas. Cabe destaque às médias estimadas dos municípios de Colniza–MT, com valor estimado de 2.406,03 mm (máxima) e Alta Taquari–MT, com 1.135,84 mm (mínima). A análise dos dados em diferentes cenários teve indicadores e desvios médios dos dados de chuvas quando relacionados os períodos de 12 anos frente ao período de 36 anos, indicando comportamentos que se alteram em intervalos de tempos menores que 30 anos.

Palavras-chave: Estatística; Geoestatística; Semivariogramas Experimentais; Krigagem Ordinária; Desvios Médios; Precipitação Média Anual.

ABSTRACT

Rainfall is an atmospheric variable that presents great temporal and spatial variability and is important for environmental sustainability. There is a continued search to identify and understand spatial dynamics and rainfall trends over time, and understand the relationship of this variable with other factors in the physical environment, as well as predict future situations based on sets of historical records. In this context, this research was carried out to identify the spatial continuity of rainfall in the state of Mato Grosso, as well as to estimate average precipitation values for non-sampled locations in the period from 1985 to 2020. From this perspective, historical series from 109 rainfall stations in the state were used. National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), taking into account the criteria of the World Meteorological Organization (WMO), with records of at least 30 consecutive years and a failure rate of 10% of the data. In the treatment and processing of data, Statistics and Geostatistics resources, spreadsheet applications and the use of Geographic Information System (GIS) tools were used. The research followed a design starting from the tabulation and correction of flaws in the historical series, followed by descriptive statistics, frequency distribution and data preparation according to geostatistics precepts, modeling using experimental semivariograms, interpolation with ordinary kriging and data analysis of average annual precipitation in different scenarios. In the results, the descriptive statistics stand out where the monthly averages from November to March range from 136.2 to 296.7 mm, and July had the lowest average for the period with 7.1 mm. For annual averages, the maximum value was 1,971.6 mm in 2013, and the minimum was 1,511.4 mm in 2015. As for frequency distribution, 81.48% of precipitation had averages ranging from 1,373.3 mm to 2,159.6 mm. As for the correlation coefficient (r) between the dependent (y) and independent (x) variables, the values were: 0.681 (rain and latitude) and 0.483 (rain and longitude). However, when calculating the dependence between x and y , the coefficient of determination r^2 was 0.667, the standard error was 165.87. In the spatial continuity modeled with semivariogram for the regional scale, the range of the phenomenon was 336.1 km, with r^2 of 0.973, IDE equivalent to 0.14, and cross validation with r^2 of 0.996. At the local scale, the range was 174.3 km, with r^2 of 0.995, IDE equivalent to 0.04, cross-validation with an r^2 value of 0.253. In kriging, for regional and local scales, more than 36,000 values were estimated, representing the average annual precipitation for all municipalities in Mato Grosso, specifically those that do not have rainfall stations. It is worth highlighting the estimated averages for the municipalities of Colniza–MT, with an estimated value of 2,406.03 mm (maximum) and Alta Taquari–MT, with 1,135.84 mm (minimum). The analysis of data in different scenarios had indicators and average deviations of rainfall data when relating periods of 12 years to a period of 36 years, indicating behaviors that change in time intervals shorter than 30 years.

Keywords: Statistics; Geostatistics; Experimental Semivariograms; Ordinary Kriging; Average Deviations; Average Annual Precipitation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CV	Coefficiente de Variação
FA	Função Aleatória
GS+	Gamma Design Software
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
N	Norte
NE	Nordeste
QGIS	Sistema de Informação Geográfica Livre
S	Sul
VA	Variável Aleatória
VR	Variável Regionalizada
OMM	Organização Meteorológica Mundial
gl	graus de liberdade
SQP	Soma do Quadrado da Superfície Polinomial (Regressão)
SQR	Soma do Quadrado do Resíduo
SQT	Soma do Quadrado Total
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
IVDN	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
Z	Variável amostrado
Z*	Variável estimado
E	Leste
W	Oeste
SW	Sudoeste
NW	Noroeste
SE	Sudeste
EPSG	<i>European Petroleum Survey Group</i>
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
n	número de dados
MQ	Média quadrada
IDE	Índice de Dependência Espacial
ANOVA	Análise de Variância
Z(xi)	Valor amostrado no ponto <i>i</i>
IT	Instabilidades Tropicais
CIT	Convergência Intertropical
FP	Frente Polar
°C	Grau Celsius
mEc	Massa de Ar Equatorial Continental
mTc	Massa Tropical Continental
mPa	Massa Polar Atlântica

SEPLAN-MT	Secretaria de Planejamento do Estado do Mato Grosso
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido nitroso
r	Coefficiente de correlação linear
r ²	Coefficiente de determinação
Y	Variável independente
X	Variável dependente
$2\gamma(h)$	Variograma
$\gamma(h)$	Semivariograma
α	Alcance ou amplitude
C	Patamar ou soleira
C ₀	Efeito Pepita
C ₁	Contribuição
h	Distância
lag	Passo
BLUE	<i>Best Linear Unbiased Estimator</i>
Σ	Soma

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do estado de Mato Grosso	23
Figura 2 – Representação das propriedades gráficas do semivariograma.....	51
Figura 3 – Localização das estações pluviométricas na área de estudo.....	67
Figura 4 – Processos realizados com métodos da estatística.....	72
Figura 5 – Parâmetros de modelagem realizada no GS+.....	74
Figura 6 – Modelagem e raio de buscas definidos no GS + para identificar a anisotropia.	75
Figura 7 – Fluxo de processos realizados com métodos da geoestatística.....	81
Figura 8 – Processamentos realizados no SIG.....	82
Figura 9 – Representação de modelagens realizadas por meio do semivariograma.....	105
Figura 10 – Modelagem e representação da isotropia do fenômeno em escala regional.	108
Figura 11 – Modelagem dos dados de precipitação pluvial em escala regional.....	110
Figura 12 – Índices de precipitação pluvial em escala regional em Mato Grosso.....	112
Figura 13 – Representação de modelagens realizadas com o semivariograma – resíduos	115
Figura 14 – Modelagem da anisotropia para o conjunto dedados dos resíduos.....	118
Figura 15 – Modelagem das flutuações das chuvas em escala local.....	119
Figura 16 – Flutuações pluviométricas do Estado de Mato Grosso, escala local.....	120
Figura 17 – Valores amostrados (a) e valores estimados por meio da krigagem(b).....	124
Figura 18 – Altura pluviométrica do Estado de Mato Grosso, período de 1985 a 2020...	126

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores de precipitação média mensal para o período investigado.....	88
Gráfico 2 - Valores de precipitação média anual.....	89
Gráfico 3 – Consistência dos dados para o posto com menor número de falhas.....	90
Gráfico 4 – Consistência dos dados para o posto com maior número de falhas.....	91
Gráfico 5 – Medidas de tendência central: média anual de precipitação.....	92
Gráfico 6 – Histograma destacando o comportamento dos dados analisados.....	94
Gráfico 7 – Distribuição de frequência e histograma acumulado.....	94
Gráfico 8 – Indicadores de correlação entre precipitação (Y) e latitude (X1)	96
Gráfico 9 – Indicadores de correlação entre a variável chuva (Y) e longitude (X2)	96
Gráfica 10 – Comportamento dos dados amostrados; estimados e dos resíduos.....	102
Gráfico 11 – Validação de modelo para os dados sem tendência.....	112
Gráfico 12 – Validação do modelo para a tendência local.....	121
Gráfico 13 – Flutuações cenário I x cenário geral (resíduos).....	129
Gráfico 14 – Flutuações: cenário I x cenário geral (dados sem tendência)	129
Gráfico 15 – Flutuações: cenário II x cenário geral (resíduos).....	130
Gráfico 16 - Flutuações: cenário II x cenário geral (dados sem tendência)	131
Gráfico 17 – Flutuações: cenário III x cenário geral (resíduos).....	131
Gráfico 18 – Flutuações: cenário III x cenário geral (dados sem tendência)	132
Gráfico 19 – Indicadores de precipitação média anual para a estação 1059000.....	133

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conjunto de materiais obtidos para o desenvolvimento da pesquisa.....	64
Quadro 2 – Níveis de correlação linear a ser considerado entre variáveis x e y.....	70
Quadro 3- Exemplos do processo de validação cruzada	80
Quadro 4 – Identificação das estações utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.....	85
Quadro 5 – Percentuais de falhas mensais de cada série histórica analisada.....	87
Quadro 6 – Parâmetros analisado no processo de regressão múltipla.....	98
Quadro 7 – Resultados alcançados por meio da regressão múltipla.....	100
Quadro 8 – Estatística descritiva dos dados após a remoção da tendência	103
Quadro 9 – Modelagens de dados sem tendência – modelos selecionados	104
Quadro 10 – Modelagens de dados que representam a dinâmica local das precipitações	114
Quadro 11 – Maiores e menores médias de chuvas estimada por município	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de frequência das médias anuais de chuvas.....	93
Tabela 2 – Parâmetros da análise de variância entre variáveis y e x	102
Tabela 3 - Distância média e variância entre os pares amostrados de acordo com os lags	107
Tabela 4 - Distância média entre os pares amostrados de acordo com os lags	117

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3	REFERENCIAL CONCEITUAL.....	29
	3.1 Mudanças climáticas e precipitação pluvial.....	29
	3.2 A relevância das precipitações pluviais.....	32
	3.2.1 Séries temporais de precipitação pluvial.....	35
	3.3 Análise dos dados de precipitação pluvial com uso da estatística.....	38
	3.3.1 Análise de tendência dos dados de precipitação pluvial.....	40
	3.4 Análise da precipitação pluvial como variável regionalizada.....	42
	3.4.1 Modelagem com uso do semivariograma.....	49
	3.4.2 Modelos de semivariogramas.....	52
	3.4.3 Anisotropia na representação de fenômenos especializados.....	54
	3.4.4 Interpolação com uso da krigagem.....	55
	3.4.5 Krigagem ordinária.....	58
	3.4.6 Validação cruzada.....	59
	3.5 Análise de dados espaciais.....	60
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	63
	4.1 Métodos.....	63
	4.1.1 Fontes de dados e coleta de informações.....	64
	4.1.2 Descrição e tabulação dos dados.....	65
	4.1.3 Estatística básica dos dados.....	68
	4.1.4 Relação dos dados de precipitação pluvial e a localização geográfica.....	69
	4.1.5 Modelagens e aplicações com uso da Geoestatística.....	72
	4.1.6 Validação dos processos e modelagens.....	78
	4.2 Processamento e análise de dados estimados.....	80
	4.3 Análise dos dados de precipitação pluvial em diferentes cenários.....	83
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
	5.1 Estatística descritiva dos dados.....	84
	5.1.1 Correlação entre os dados de precipitação pluvial e a localização geográfica.....	95
	5.2 Continuidade espacial das precipitações pluviais.....	103
	5.2.1 Continuidade espacial das precipitações pluviais em sua dinâmica regional.....	104
	5.2.2 Interpolação dos dados de precipitação pluvial em sua dinâmica regional.....	109
	5.2.3 Validação cruzada.....	112
	5.2.4 Continuidade espacial: dinâmica das precipitações pluviais em escala local.....	113
	5.2.5 Interpolação: dados das precipitações pluviais em escala local.....	118

5.2.6 Validação cruzada	121
5.2.7 Considerações sobre a continuidade espacial das precipitações pluviiais.....	122
5.3 Valores estimados para municípios não amostrados no Estado de Mato Grosso ...	123
5.4 Análise dos dados de precipitação pluvial em diferentes cenários.....	128
6 CONCLUSÃO.....	135
REFERÊNCIAS	139
ANEXOS	148

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas é tema de debates entre pesquisadores do meio científico. Há nesse sentido, aqueles que citam os sistemas econômico/produtivo como responsáveis por tais mudanças e outros que destacam as forças da natureza no processo de evolução natural do planeta como responsáveis por tais alterações. O tema debatido envolve escalas distintas (temporal e espacial), mesmo assim é consenso entre as partes que o clima e suas alterações não ocorrem de forma isolada às demais variáveis do meio físico, influenciando e também sendo influenciado em diferentes escalas: global, regional e local (Barry e Chorley, 2013; IPCC, 2014; IPCC, 2021).

A precipitação pluvial é uma das variáveis atmosférica que faz parte dos debates sobre as mudanças climáticas em curso. A chuva tem relação direta ou indireta com outras variáveis que envolvem a temperatura, as massas de ar, a dinâmica do relevo e a cobertura vegetal. Sendo citado ainda as intervenções antrópicas nos processos de desenvolvimento das civilizações como fatores que são influenciados e influenciam o comportamento do fenômeno em escala maior (Tucci e Braga, 2003; Marengo, 2003). As variáveis citadas não foram objeto de investigação nesta pesquisa, elas são apresentadas para situar o leitor, mostrando que as chuvas não acontecem forma isolada no meio físico.

Para realizar pesquisas sobre as precipitações pluviais como variável climática é necessário a existência de registros ou informações sobre a ocorrência do fenômeno ao longo do tempo no território, sendo as séries históricas um elemento fundamental nesse processo. Formadas por sequências de valores ordenados no tempo e espaço com registros contínuos e discretos em intervalos regulares ou irregulares, as séries descrevem parte do comportamento e a dinâmica do fenômeno gerador, possibilitam analisar fatores como: tendência, anomalias, regularidade e sazonalidade (Araujo, 2016; Baturim, 2016).

Ainda no contexto citado, a precipitação pluvial ganha notoriedade em debates nos dias atuais tendo em vista que ela é uma das variáveis hidrológicas que têm papel determinante para a sustentação de cadeias produtivas. A sua importância é acompanhada por alto nível de variabilidade espacial e temporal que dificulta previsões determinísticas com grande antecedência. Assim, a Estatística e a Geoestatística desempenham papel fundamental para entender o fenômeno, possibilitam a tabulação e o processamento dos dados oriundos das séries históricas que demonstram o comportamento da precipitação pluvial ao longo do tempo e no espaço definido (Bertoni e Tucci, 2009).

Estudos e pesquisas que destacam as precipitações pluviais e utilizam métricas da estatística e da geoestatística, trazem contribuições que viabilizam planos de trabalhos, a organização e a condução de projetos em diferentes campos: produtivo, econômico, social e ambiental. Contribuem à projeção de cenários e aplicações de técnicas que minimizam os impactos gerados por excesso ou escassez de chuvas em um período e lugar específico (Carvalho e Assad, 2005; Bertoni e Tucci, 2009).

Além das métricas mencionados deve ser citado ainda a importância dos recursos e ferramentas do Sistema de Informação Geografia (SIG), que possibilitam a análise espacial das precipitações pluviais como fenômeno que corre no tempo em um dado lugar. Permitem processar e modelar conjuntos de dados (séries) amostrados no território, que podem ser plotados em diferentes configurações, representando indicadores médios das chuvas em gráficos e mapas. São recursos indispensáveis em estudos que envolvem espacialização de fenômenos no ambiente considerando o espaço, o tempo e a localização dos eventos (Câmara et al. 2001; Longley et al. 2013).

Dentro do contexto citado, o desenvolvimento desta pesquisa buscou identificar a continuidade espacial das precipitações pluviais no Estado de Mato Grosso, com aplicações de métricas da Estatística e da Geoestatística. Para tal, realizou-se a análise

exploratória do conjunto de dados que compõem as séries históricas de 109 estações pluviométricas (após filtros e correções) disponíveis no Estado de Mato Grosso e estados vizinhos, no período de 1985 a 2020. As séries históricas utilizadas na pesquisa foram identificadas e baixadas do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

O Estado de Mato Grosso se destaca entre grandes produtores do setor agropastoril no Brasil, seu potencial é favorecido pela dinâmica do relevo regional, solos e aspectos hidrológicos. Dessa forma é fundamental a continuação de estudos sobre a ocorrência das precipitações pluviais no Estado, com objetivos de identificar constância e/ou mudanças relacionadas à distribuição; índice precipitado; intensidade; periodicidade e sazonalidade das precipitações pluviais. Os fatores citados influenciam no sistema produtivo de forma positiva ou negativa ao longo do tempo no território.

De acordo com o contexto mencionado, o desenvolvimento desta pesquisa seguiu os direcionamentos destacados abaixo:

✓ **Problemática:**

Identificar e compreender a dinâmica das precipitações pluviais em um dado lugar demanda a existência de recursos que possibilitam investigar o fenômeno considerando a sua ocorrência no espaço e no intervalo de tempo definido. Nesse contexto é necessário a obtenção de dados confiáveis e a aplicação de métodos científicos que nos dê respostas próximas ao que ocorre no meio físico, sendo estes um dos desafios a serem discutidos e superados no estudo das precipitações em Mato Grosso. Nesse sentido as séries históricas de precipitação pluvial se mostram como recurso indispensável para esse fim.

O Estado de Mato Grosso possui a terceira maior extensão territorial do Brasil, apresenta ao longo da sua extensão fitofisionomias diversas sob influência de três Biomas (Amazônico, Cerrado e Pantanal), além das faixas de transição. São fatores do meio físico

sustentados por dinâmicas climáticas tendo a chuva como uma das variáveis de maior potencial à alteração em escala de tempo humana. Apesar de sua dimensão e riquezas ecológica, mineral e ambiental, o Estado tem poucas estações pluviométricas com dados em séries históricas superiores a 30 anos. Outro problema é a distribuição espacial das estações, onde existe regiões que têm malha densa e outras que não possuem estações, dificultando o monitoramento das chuvas ao longo do tempo (escala temporal).

As chuvas no Estado de Mato Grosso têm apresentado alterações relacionadas a distribuição e intensidade, acompanhadas de eventos extremos como as inundações acima das médias históricas e estiagens que favorecem as queimadas em escalas local e regional. Processos que geram incertezas no planejamento de atividades produtivas dependentes da regularidade das chuvas, bem como prejuízos ambientais e econômicos em decorrência da falta ou excesso de água em intervalos de tempos distintos (curto, médio, longo prazo).

Os problemas citados ocorrem em algumas microrregiões do estado de forma mais intensa, gerando questionamentos sobre alguns fatores ou variáveis que diferenciam os eventos de precipitação pluvial na extensão territorial de Mato Grosso. Dessa forma, a análise da continuidade espacial das chuvas é um fator a ser identificado e que pode trazer respostas que explicam parte dos questionamentos e problemáticas apresentados.

✓ **Justificativa:**

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis climáticas determinante para as questões de produtividade agroindustrial e a sustentabilidade do meio físico no Estado de Mato Grosso, sendo necessário a continuação de pesquisas que permitam entendimento sobre os níveis de ocorrência do fenômeno com destaque para fatores como: regularidade, periodicidade, sazonalidade e continuidade espacial da variável no território ao longo do tempo.

O desenvolvimento desta pesquisa no intervalo de tempo definido entre os anos de 1985 a 2020, com aplicações de recursos matemáticos (estatística e geoestatística), traz contribuições metodológicas, resultados/discussões com o preenchimento de lacuna onde há poucos trabalhos realizados e publicados no período de referência e na temática citada. Dessa forma, a pesquisa soma-se aos estudos já realizados neste tema para o Estado de Mato Grosso.

✓ **Objetivo geral:**

Analisar a continuidade espacial e o comportamento das precipitações pluviais no Estado de Mato Grosso, em escala temporal de 36 anos, período de 1985 a 2020.

✓ **Objetivos específicos:**

- i. Organizar a base de dados com as séries históricas das precipitações pluviais do Estado de Mato Grosso, em escala temporal de 36 anos, período de 1985 a 2020;
- ii. Identificar as falhas existentes nas séries históricas das estações pluviométricas dentro do Estado de Mato Grosso e estações dos estados vizinhos que foram integradas à base de dados da pesquisa;
- iii. Analisar a continuidade espacial das precipitações pluviais na extensão territorial do Estado de Mato Grosso;
- iv. Estimar valores médios de precipitações pluviais para locais não amostrados devido à ausência de estações pluviométricas no Estado de Mato Grosso;
- v. Identificar tendências que caracterizam o comportamento das chuvas no Estado de Mato Grosso considerando diferentes cenários.

✓ **Hipótese:**

As médias anuais de precipitações pluviais no Estado de Mato Grosso apresentam continuidade espacial e tendências com alterações nos níveis de ocorrência para o período

de 1985 a 2020 (36 anos). Dessa forma, as aplicações dos métodos da estatística e da geoestatística (semivariograma e krigagem ordinária) contribuem para identificar a continuidade ou (des)continuidade espacial das precipitações pluviais no território e no período mencionado.

✓ **Organização da tese:**

De acordo com a proposta da pesquisa desenvolvida, a tese foi organizada em partes que descreve os processos realizados, sendo: introdução; caracterização da área de estudo; referencial conceitual; procedimentos metodológicos; resultados e discussão; e conclusões.

A caracterização da área de estudo apresenta informações básicas sobre o Estado de Mato Grosso, abordando o clima, aspectos do meio físico e situações relacionadas à ocupação e uso da terra ao longo do processo histórico de desenvolvimento do Estado.

No referencial conceitual pauta-se em primeiro momento referências direcionadas aos debates envolvendo mudanças climáticas (tema global), sendo as chuvas e os recursos matemáticos (estatística e geoestatística) que possibilitam a investigação e entendimento dessa variável, o foco das discussões apresentadas no capítulo.

Nos procedimentos metodológicos são apresentados recursos, materiais e métodos utilizados na realização da pesquisa, descreve a aquisição de dados e processos realizados com destaque às aplicações dos recursos da estatística e geoestatística.

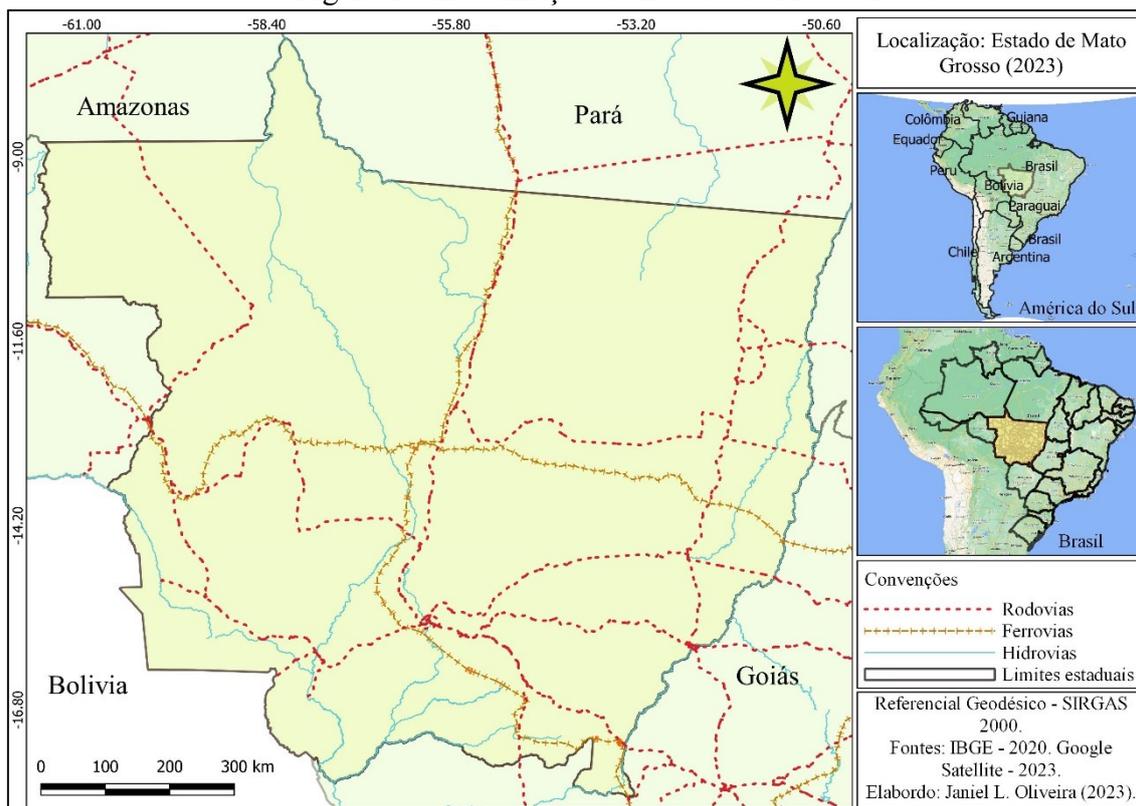
Na parte dos resultados e discussão, respondendo aos objetivos da pesquisa cabe destaque à estatística descritiva, seguida da continuidade espacial das chuvas e estimação de valores (média anual de chuvas) para locais não amostrados, e a análise dos dados (séries históricas) de precipitação pluvial em diferentes cenários.

Na conclusão consta comentários sobre o tema da pesquisa, situações e problemas identificados, bem como os desdobramentos frente aos resultados alcançados.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida no Estado de Mato Grosso, que faz parte da região Centro-Oeste do Brasil, localizado entre as coordenadas 06° 00' a 19° 00' de latitude Sul, e 60° 00' a 49° 00' de longitude Oeste (Figura 1). Mato Grosso tem limite político administrativo com os estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Pará, Amazonas, Rondônia e a Bolívia. A extensão territorial do estado é de 903.207,047 km², dividido em 141 municípios, tem uma população de 3.658.649 habitantes, com densidade demográfica de 4,05 hab./km² (IBGE, 2022).

Figura 1 – Localização do Estado de Mato Grosso.



Fonte - IBGE, (2020). Elaborado: Oliveira, J. L de (2023).

Apresentando singularidades quanto a extensão territorial e localização geográfica na América do Sul, o Estado de Mato Grosso apresenta riqueza ecológica e diversidades

associadas à dinâmica do clima e aspectos do meio físico natural, fatores que impulsionam o crescimento produtivo e o desenvolvimento regional. Estes serão destacados a seguir.

Clima: Em Mato Grosso predomina duas zonas climáticas de acordo com o IBGE (2002): a Zona Tropical do Brasil Central com regimes de umidades classificados como úmido e semiúmido, que tem variações de 3 a 5 meses secos, e a Zona Equatorial com regime úmido e variações de 1 a 3 meses secos. Alves (2009) destaca dois tipos de clima no Estado, segundo a classificação climática de Köppen, sendo: o Tipo Am, que apresenta temperaturas elevadas e altos índices pluviométricos, ocorrendo com dominância na parte norte do Estado; e o tipo Wm, que tem temperaturas elevadas com chuvas no verão e seca no inverno predominando nas demais regiões de Mato Grosso.

Nimer (1979) abordando a climatologia da região Centro-Oeste, cita a condição de tempo; domínio de temperaturas e pluviosidades, fatores influentes do clima em Mato Grosso. Observa a estabilidade do tempo ensolarado que pode sofrer mudanças bruscas a qualquer momento, impulsionadas por diferentes sistemas de circulação, com destaque para o sistema de correntes perturbadas de leste – linhas de instabilidades tropicais (IT); sistemas de correntes perturbadas de norte – da convergência intertropical (CIT); sistemas de correntes perturbadas de sul – do anticiclone polar ou frente polar (FP).

De outra forma, Silva et al, (2008) destacam os aspectos de circulação atmosférica que são importantes e influenciam o clima na área de abrangência do Cerrado brasileiro. Cintam eventos relacionados a Baixo do Chaco; Alta da Bolívia; Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). São fenômenos que ocorrem em diferentes zonas, escalas espaciais e temporais sob influência ou não da altitude, geram mecanismos que influenciam o comportamento do clima em Mato Grosso.

Quanto as temperaturas destaca-se questões da continentalidade e as latitudes, sob influência do relevo e da altitude, bem como as sazonalidades marcantes para as estações

do ano. Em Mato Grosso, já foram observadas temperaturas máximas de 40°C a 42°C, ocorridas no nordeste do Estado e no Pantanal matogrossense. Entretanto as temperaturas baixas de inverno trazem em seu histórico mínimas de 0°C nas chapadas do centro sul do estado (Nimer, 1979; Alves, 2009). Para as médias nos últimos anos, segundo o INMET (2023), o Estado apresentou temperaturas (médias) máximas e mínimas anuais de 33° C e 22° C, respectivamente nessa ordem para o período de 1991 a 2020.

Referente as chuvas, é destacado as médias superiores a 2.750 mm, no norte de Mato Grosso e médias inferiores a 1.250 mm, no Pantanal. São indicadores que marcam as desigualdades na distribuição regional das precipitações pluviais sob influência do sistema de circulação perturbada de oeste que decresce em importância de N para S e, de W para E (Nimer, 1979). Alves (2009) destaca a influência dos sistemas da Amazônia nos índices de precipitação para a região norte do Estado matogrossense. O mesmo autor cita médias de chuvas anuais superiores a 1.800 mm.

Ainda no mesmo contexto, como fatores condicionantes das precipitações pluviais no Estado de Mato Grosso, cabe destaque a atuação e/ou deslocamento das massas de ar no território: Massa de Ar Equatorial Continental (mEc); Massa Tropical Continental (mTc); Massa Polar Atlântica (mPa), fenômenos geradores e/ou condutores de correntes atmosféricas que podem influenciar as precipitações pluviais como fator negativo e/ou positivo (mais ou menos chuvas) na área de influência do Estado (Marcuzzo, Melo e Rocha, 2011; Borsato e Mendonça, 2014).

Meio físico: O Estado de Mato Grosso está em região estrutural que apresenta formações rochosas ou unidades geológicas de períodos distintos (ÉONS): Fanerozoico; Proterozoico e Arqueano. Estruturas e formações que fazem parte do denominado Maciço do Brasil Central ou Maciço Mato-Grossense. Estruturas que foram soergidas em escala de tempo geológico sendo testemunhadas por províncias como: Amazônia; Cobertura

Cenozoica; Paraná; Parecis; Tocantins, além das sub-províncias: Alto Guaporé; Pantanal; Bauru-Caiuá e, Corumbá-Alto Paraguai (IBGE, 2021).

No mesmo contexto, a dinâmica do relevo é composta por serras residuais e blocos planálticos no norte e centro-norte; planalto de leste a oeste (Parecis); província serrana de centro-sudoeste; superfícies rebaixadas do norte; depressões e planícies no centro-sul (Alto Paraguai), sudeste-nordeste (Araguaia), sudoeste-noroeste (Alto Guaporé) e blocos planálticos de sudeste. O pantanal está localizado na depressão do Alto Paraguai, tem influência no centro-sudoeste da província serrana e de sudoeste a noroeste da depressão do Alto Guaporé e, blocos planálticos de sudeste (IBGE, 2002; Santos, 2012).

Referente à hidrografia, Mato Grosso tem rede hídrica diversificada e malhas de drenagens que o torna referência nacional. O Estado comporta parte dos rios das maiores bacias sulamericana: Rio Amazonas, da Prata, Tocantins-Araguaia e seus afluentes. Cabe destaque aos rios: Uruguai, Paraná, Negro, Madeira, Tapajós, Xingu, Mortes, Pacajá e Ararandeuá, respectivamente nesta ordem segundo as bacias hidrograficas citadas. São sistemas de drenagem que correm em diferentes direções, sendo o Planalto dos Parecis no centro norte matogrossense o marco dos divisores de águas no Estado (IBGE, 2021).

Quanto a pedologia, ocorrem classes de solos distintos em Mato Grosso. Cita-se: Argissolos Vermelho-Amarelo comum na região norte, com manchas distribuídas no eixo sul-sudeste, locais de relevo suave ondulado e ondulado; Cambissolos Háplicos na parte central e eixo sudeste-leste, locais de relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado. Entretanto, os Gleissolos Háplicos ocorrem de forma distribuída em regiões de vales e topografias plana; os Latossolos Vermelhos e os Latossolos Vermelhos Amarelos são distribuídos em regiões do Estado em que predomina o Bioma Cerrado (IBGE, 2021).

A cobertura vegetal do Estado apresenta alta diversidade devido aos aspectos da geologia e do relevo. Essa é composta por três biomas: Amazônico, Cerrado e Pantanal.

O Bioma Amazônico ocorre na região norte, é parte da floresta equatorial amazônica e tem locais que formam faixas de transição com o Bioma Cerrado. Este último predomina no sentido centro-oeste; centro-leste e recobre áreas formadas por planaltos, chapadões e depressões. O Pantanal, ocorre no sentido centro-sul e sudoeste, locais com domínio de topografias planas. Além das formações citadas ocorrem também as faixas de transição com singularidades em escala maior (IBGE, 2002; Santos, 2012; IBGE, 2021).

Investigando a dinâmica das queimadas e as relações com as atividades antrópicas e a economia local, Coutinho (2005) enfatiza as formações naturais de Mato Grosso, sob influências dos cerrados, da floresta tropical úmida e da planície do pantanal. São fatores e/ou elementos que compõem o meio ambiente do Estado e que apresentam faces distintas entre riquezas ecológicas, questões sociais, econômicas e culturais, regida por processos e transformação do espaço geográfico nas últimas décadas, seguindo o ritmo da orquestra produtiva do setor agropastoril no Brasil.

Ocupação e uso das terras: A ocupação e uso das terras de Mato Grosso remete ao processo histórico de ocupação do Brasil, período colonial, com participação direta das expedições de bandeirantes que além de prover a ocupação de novas áreas devido os tipos de explorações (mineral, escrava/comercial, pastoreio/agrícola), deixaram marcas no território com formação de Vilas e Cidades. Assim, houve períodos de alternâncias produtivas e comerciais. Destaca-se a exploração de Ouro, Diamante e a Poaia (*Cephaelis ipecacuanha*). Cabe citar as regiões do Pantanal; Depressões do Alto Paraguai, Cuiabana e Guaporé, locais de exploração mineral, práticas agrícolas e/ou pastoril rudimentares (SEPLAN-MT,2002; Coutinho, 2005).

O processo de ocupação citado entremeia períodos dos séculos XVII; XVIII; XIX, estendeu-se da porção sul-sudeste para leste, seguindo cursos de rios e vales. Entretanto no século XX, destacaram-se atividades agrícolas e a pecuária, tendo ênfase a cultura da

cana-de-açúcar. Cabe citar as expedições exploratórias e científicas como a Expedição Roncador-Xingu e Expedição Rondon, com avanço no setor de comunicação (telegrafia) e a criação de novos núcleos urbanos. Esses foram providos por programas de colonização sob tutela do Estado em ações direcionadas para ocupar os vazios demográficos com avanços no sentido norte-noroeste (SEPLAN-MT, 2002; Coutinho, 2005).

Dentro do contexto mencionado, cabe destaque a abertura das rodovias na década de 70 do século XX, estruturas que favoreceram a expansão das atividades produtivas no Estado, agricultura e pecuária, bem como a consolidação das cidades antigas do sul, sudeste e do sudoeste, respectivamente. Provendo também o surgimento de novos núcleos urbanos (colonização) no eixo centro-norte do Estado, avançando sobre áreas recobertas pela floresta amazônica e Cerrado. (SEPLAN-MT, 2002; Coutinho, 2005).

Entre as décadas de 70 e 80 do século XX, com o advento de novas tecnologias e a adaptação de sementes, junto a correção ou enriquecimento dos solos, houve avanços significativos nos sistemas de produção em Mato Grosso. Situação que potencializaram a expansão da fronteira agrícola e a pecuária providas de modernidade, substituindo práticas rudimentares, avançando sobre áreas antes recobertas por formações florestais e vegetação do Cerrado. Mato Grosso se destaca entre os grandes produtores de grãos e proteína animal do Brasil (SEPLAN-MT, 2002; Coutinho, 2005; IBGE, 2022).

Considerando os aspectos do meio físico e a dinâmica de ocupação e uso da terra em Mato Grosso, surgem questionamentos sobre os impactos das atividades produtivas em nichos ecológicos e hidrologia local, sendo a dinâmica das precipitações pluviais um dos temas debatidos. A chuva é uma das variáveis atmosféricas que apresentam mudanças significativas em escala de tempo humana, com a ocorrência de eventos extremos (excesso ou escassez) que são relacionados direta ou indiretamente as mudanças climáticas em curso.

3 REFERENCIAL CONCEITUAL

3.1 Mudanças climáticas e precipitação pluvial

As discussões relacionadas as mudanças climáticas e alteração na dinâmica de variáveis atmosféricas estendem-se ao longo de décadas. Existe uma busca por identificar e compreender os níveis de influência das atividades produtivas nessas mudanças. Nesse contexto são analisados registros históricos e indicadores que demonstram as alterações nos regimes das chuvas; perda de propriedades dos solos; mudanças na qualidade e disponibilidade d'água; extinção de espécies da fauna e da flora, bem como a degradação nas condições de vidas humanas (IPCC, 2014; 2021).

O aumento na extração de recursos naturais a partir do século XIX, com alteração do modo de vida de parte da população e a potencialização da cadeia produtiva com o advento das novas tecnologias, são fatores que contribuem para alterações nos fluxos de energias e matéria no meio físico e impulsionam as mudanças climáticas. De acordo com Tucci (2003) as mudanças climáticas em curso influenciam o comportamento de variáveis atmosféricas como a precipitação pluvial, temperatura, vento e umidade. Altera os níveis de vazão em bacias hidrográficas, impacta a sustentabilidade ambiental e influenciam desequilíbrios na cadeia trófica com impactos direto em nichos ecológicos.

Há diferentes posicionamentos sobre as mudanças do clima que são provocadas por ações antrópicas, sendo necessário considerar questões envolvendo escalas de tempos diferentes. Tendo em vista o potencial de transformação do ambiente em decorrência de fenômenos como: atividade solar (escala espacial/temporal), erupções vulcânicas (escala temporal/cartográfica) e as dinâmicas oceânicas (escala temporal). Segundo Portela et al. (2011), existe generalizações em relação as mudanças climáticas e suas variáveis em nível global, sendo necessário a continuação de estudos e pesquisas sobre o tema considerando

eventos e complexidades da dinâmica atmosférica, a escala do trabalho e o nível de alcance das mudanças climáticas em curso.

Tucci e Braga (2003) ao analisarem a variabilidade climática do Continente Sul-Americano, fizeram observações sobre eventos e complexidades que envolvem aspectos espaciais e temporais relacionados a radiação solar. De acordo com Marengo (2003), as alterações climáticas naturais sobrepõem-se àquelas forças de transformações provocadas pelo desenvolvimento das civilizações que impactam de forma direta a composição e a sustentação de nichos ecológicos, refletindo na fragmentação de paisagens.

As discussões sobre as mudanças climáticas e seus efeitos no Brasil fazem parte do cenário acadêmico, político e social, providas por diferentes agentes do meio científico e econômico com interesses diversos. As questões climáticas ganham maior relevância a partir de situações extremas como: os deslizamentos em encostas comuns em estados da região Sudeste, estiagem prolongada em estados da região Sul, secas intensas em parte da região Nordeste, alteração no regime hídrico e queimadas na região Norte, degradação acelerada dos solos e corpos hídricos na região Centro-Oeste (Tucci e Braga, 2003).

Souza Filho (2003) analisando os impactos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro cita alguns fatores que contribuem para tais mudanças, entre eles é destacado a emissão excessiva do Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) e Óxido Nitroso (N_2O), componentes que provocam alterações na camada de ozônio e possibilitam maior absorção de calor na atmosfera potencializando o efeito estufa. O autor observa ainda os impactos no meio físico com reflexo econômico, elevando custos em projetos voltados à disponibilidade de água potável, situação decorrente das mudanças no regime das chuvas e a má gestão dos recursos hídricos.

A região Centro-Oeste do Brasil também motiva debates em torno das mudanças climáticas, essa destaca-se no cenário produtivo do país tendo em vista as atividades

vinculadas ao setor agropastoril, com destaque a produção de grãos, proteína animal e derivados. Fatores que concretiza projetos de Estado iniciados a partir da década de 1960. Nesse período, políticas públicas impulsionaram o advento de novas técnicas e métodos de correção dos solos que transformaram áreas de baixa produtividade em áreas de alta produtividade (Ab'Saber,2012).

A alta da produtividade traz consigo preocupações frente as alterações de sistemas naturais, com substituição da vegetação nativa por campos de pastagens, área de produção agrícola e núcleos urbanos. Fatores que alteram fluxos de matéria e energia no meio físico e podem influenciar o deslocamento das massas de ar, bem como no surgimento de ilhas de calor em áreas urbanas e locais com alto nível de impermeabilização, influenciando na dinâmica de distribuição das chuvas e no regime hidrológico em escala local (Santos, Oliveira e Ignotti, 2021; Araújo et al, 2022).

O Estado de Mato Grosso, que faz parte da região Centro-Oeste, está envolvido nas dinâmicas supracitadas, esse traz em sua configuração espacial áreas que pertencem a três biomas brasileiros (amazônico, cerrado e pantanal), além das faixas de transição que têm fitofisionomias diversas e ecossistemas dependentes do regime das chuvas que compõem parte da dinâmica hidrológica local e regional (Souza, 2016; Santos, Oliveira, e Ignotti, 2021; Araújo et al, 2022).

Ainda no contexto citado, existem pesquisas que indicam mudanças nos níveis de ocorrência e distribuição das chuvas, bem como alterações das paisagens no Estado de Mato Grosso, sendo recorrente os alertas quanto a redução em fluxos fluviais e cheias acima da média anual, demonstrando mudanças no tempo de concentração da água em bacias hidrográficas. Há registros de estiagem prologada e a ocorrência de incêndios no pantanal mato-grossense, bem como a redução das áreas de inundação natural que

constituem a dinâmica singular desse bioma (Marcuzzo, Oliveira e Cardoso, 2013; Santos, Oliveira e Ignotti, 2021).

As questões mencionadas potencializam o ressecamento dos solos e processos erosivos ao longo do tempo na extensão territorial do bioma Amazônico e do Cerrado em Mato Grosso. No pantanal mato-grossense ocorre a sedimentação de áreas baixas com perda produtiva no meio ecológico e aumento no custo da produção pesqueira e pecuária local (Souza, 2016; Araujo, 2022). Esses fatores têm relação direta com a dinâmica de ocorrência, distribuição e intensidade das chuvas ao longo do tempo e no espaço, sendo influenciados e influenciando eventos do clima em escala maior e que passam a acontecer em tempo de recorrência antes não registrados.

3.2 A relevância das precipitações pluviais

A precipitação pluvial é uma das variáveis hidrológicas que sofre impacto das mudanças climáticas em diferentes escalas (espacial e temporal), com alterações nos regimes de distribuição, frequência, intensidade e sazonalidade. Ela é um fenômeno atmosférico classificado como uma das principais formas de precipitação da água, tem destaque na hidrologia devido sua capacidade de produzir escoamento contribuindo para a sustentação de curso hídricos em bacias hidrográficas. As principais características da precipitação pluvial são: o total precipitado, a intensidade, a duração, a distribuição temporal e espacial (Bertoni e Tucci, 2009).

A chuva como variável climática ocorre de forma natural e apresenta dinâmica própria, tem alto grau de variabilidade espacial e incertezas associadas as previsões. Pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas utilizando como referência informações e registros do passado, sendo realizadas também projeções para o futuro, identificaram

situações que demonstram mudanças significativas nos índices precipitados, na área de ocorrência e na periodicidade das precipitações pluviais. Estes fatores são relacionados de forma direta com as mudanças climáticas (Barry e Chorley, 2013).

A chuva é indispensável para a manutenção dos ecossistemas e a sustentabilidade das civilizações. Pinto (2013) observa a importância da chuva para a manutenção da vida em sociedade, é fundamental para os meios de produção antrópica e principalmente a produção de alimentos. A sua distribuição ao longo do tempo e no espaço influencia de forma direta no tipo de cobertura vegetal dominante, em parte da dinâmica do relevo, na pedologia, bem como as formas de uso e ocupação da terra em atividades produtivas.

Pinheiro (2016) cita as irregularidades das precipitações pluviais no Brasil, sob influência de aspectos do meio físico geográfico que compõem o território, com destaque a orografia e as massas de ar atuantes ao longo do tempo. Onde a variabilidade das chuvas se traduz em variabilidade hidrológica e irregularidades do regime hídrico no espaço e no tempo, testemunhado por falta e/ou excesso d'água em diferentes regiões do país (Tucci e Braga, 2003).

Enfatizando a distribuição espacial e temporal das precipitações pluviais, Emídio (2008) aponta fatores que influenciam a dinâmica das chuvas, sendo: as características influentes no volume e intensidade; o caráter regional e/ou local; a sazonalidade entre estações do ano; características do meio físico (altitude e relevo) e, as correntes de ventos. A autora em sua tese de doutorado, cita que para termos o conhecimento adequado sobre a distribuição espacial, temporal, bem como a variabilidade das chuvas, é necessário dispor de sistemas eficientes de medidas devido ao seu alto grau de indeterminismo em domínios de espaço e tempo.

Ayoade (2010) ao analisar variações sazonais das precipitações observou que as chuvas tendem a ser mais sazonais em sua ocorrência nos trópicos, se comparadas com

ambientes extratropicais, assim como o padrão de distribuição sazonal é mais zonal nas latitudes baixas do que nas latitudes médias. Observa-se que, quanto menor for a oscilação da chuva, maior será sua confiabilidade. Sendo assim, para analisar o comportamento ou dinâmica das chuvas é necessário dispor de sistemas de monitoramento e medidas dos índices precipitados em escala local e regional.

Quanto a medição dos índices precipitados, cita-se a pluviometria como unidade de medida. Essa quantifica a precipitação pluvial em um dado momento no espaço e, é expressa em razão da camada d'água que pode se constituir sobre a superfície horizontal plana e impermeável com dimensão de 1 m² de área, sendo adotado o milímetro (mm) como unidade de medida (Varejão-Silva, 2006).

No contexto mencionado, 1 mm de chuva corresponde a um litro de água que cai na superfície por metro quadrado. Essa é a forma de medição mais comum no Brasil, junto a qual, pode-se destacar a localização geográfica das estações de monitoramento e a altimetria, são parâmetros que podem ser analisadas de forma individual ou integrada (Varejão-Silva, 2006).

Destacando a dinâmica das precipitações no domínio de tempo e espaço, Bertoni e Tucci (2004) citam alguns recursos técnicos que podem ser utilizados para análise dos índices precipitados, sendo comum o processamento de dados com registros diários, mensal ou anual, com os quais são realizadas aplicações por meio dos seguintes métodos: método da média aritmética; método dos polígonos de Thiessen e/ou método das isoietas.

Além dos métodos citados, as aplicações com a Geoestatística (semivariograma e krigagem) têm sido utilizadas com frequência. Essas aplicações possibilitam a análise das dinâmicas espaciais das precipitações por meio da malha de pontos amostrados e sua localização geográfica. As aplicações trazem resultados com indicadores que demonstram a continuidade espacial do fenômeno, ou seja, o seu alcance no território, permitindo

também a estimação de valores (média de chuva anual) à locais não amostrados (Carvalho e Assad, 2005).

Dessa forma, a busca por entender o comportamento das precipitações pluviais como variável climática que gera impactos positivo ou negativo em sistemas natural, social e produtivo, possibilitou a criação e/ou aperfeiçoamento de metodologias para investigar suas variações ao longo do tempo em espaços definidos. Com destaque para técnicas matemáticas que envolvem a Estatística e a Geoestatística, essas têm recursos e métodos para a tabulação, processamento e modelagem de dados pluviométricos de forma individual ou associados a outras variáveis (Carvalho e Assad, 2005).

Além dos recursos mencionados, as séries históricas de precipitações pluviais são insumos básicos para as aplicações matemáticas que resultam na representação espacial e temporal das chuvas (Mello e Oliveira, 2016; Oliveira e Oliveira, 2020). Quanto a aplicação de recursos matemáticos que possibilitam estimar valores médios de precipitações anuais em um dado lugar, Bertoni e Tucci (2009) destacam a necessidade de cuidados por parte do pesquisador frente as características ambientais da região investigada e, as semelhanças desta com a região provida de estações pluviométricas para o uso adequado das séries históricas existentes.

3.2.1 Séries temporais de precipitação pluvial

O uso das séries temporais é prática comum em diferentes áreas do conhecimento, com as quais busca-se entender a ocorrência, frequência e predominância de eventos de ordem natural ou social, em aplicações que fazem uso de recursos matemáticos (estatística e geoestatística). Baturim (2016) observa que no monitoramento e gestão de recursos do meio ambiente, os modelos de séries temporais têm sido adotados para analisar e avaliar

a evolução temporal, espacial e a dinâmica de variáveis climáticas. Esses possibilitam identificar tendências ou mudanças no comportamento do fenômeno investigado ao longo do tempo e no espaço de análise.

De acordo com Araujo (2016), as séries temporais são sequências de valores ordenados no tempo e espaço com registros contínuos e, discretos a intervalos regulares e/ou irregulares, sendo possível descrever comportamentos do fenômeno gerador da série, tais como: tendência, anomalias, valores atípicos, regularidade e sazonalidade. Para Lima (2015), a análise de uma série temporal possibilita sumarizar as propriedades estatísticas, caracterizar o comportamento e identificar ou sugerir um modelo adequado considerando domínios de tempo ou frequência.

De forma geral, uma série temporal é definida como um conjunto de observações quantitativas organizadas por ordem cronológica, composta por intervalos de tempo: dias, meses, semestres etc. As preocupações com a natureza dinâmica dos fenômenos tornam infindável a lista dos domínios em que as séries temporais têm papel de relevo. Recurso que possibilita analisar mecanismos que potencializam ou potencializaram possíveis mudanças de comportamentos de um fenômeno ao longo do tempo (Baturim, 2016).

Destacando a importância das séries temporais Peneireiro e Orlando (2013) fizeram uso de séries temporais relacionadas a precipitação, temperatura e vazão com dados de estações meteorológicas e pluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, nos estados do Maranhão e Piauí. A pesquisa teve o objetivo de identificar tendências hidro climáticas. Nesse contexto, os estudos sobre variáveis do meio físico e climáticos com uso de séries temporais possibilitam entender os sistemas ambientais e as relações ecológicas. São recursos úteis para o planejamento de atividades produtivas e na gestão de projetos voltados à sustentabilidade, tendo em vista o caráter temporal e espacial que compõem as séries históricas.

Entretanto, Araujo (2016) destaca a necessidade de compreender fenômenos atmosféricos e hidrológicos, e suas interações no contexto das mudanças climáticas globais. Busca por conhecer seus efeitos quanto a disponibilidade hídrica a nível de bacia hidrográfica. O autor utilizou séries temporais de precipitação, variáveis climáticas e vazões fluviais associadas a recursos do sensoriamento remoto para análise de umidade do solo e índices espectrais da vegetação na bacia do Rio Piabanha – RJ. Foi aplicado modelo matemático hidrológico do tipo chuva-vazão parametrizado para representar simplificações dos processos envolvendo as precipitações e o escoamento superficial.

Queiroz (2013) utilizou séries temporais na análise de tendências de precipitações diárias máximas por ano hidrológico (Pdmah) e possível mudança da frequência nas séries. Foram utilizados dados de 36 estações pluviométricas da faixa central do Estado de Minas Gerais, período de 1938 a 2011. Foi avaliado também as influências do El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico para precipitação diária máxima anual. Os resultados não apontaram tendências ou padrões espaciais de variação das precipitações diárias máximas por ano hidrológico, não permitiram afirmar se as variações identificadas estavam associadas as fases extremas do El Niño Oscilação Sul.

Em análise de tendências e mudanças climáticas nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, Santos e Brito (2007) utilizaram dados de 44 estações com registros do ano 1935 ao ano 2000, e dados obtidos da NOAA/AVRRR (1980 a 2000). Analisou-se índices de detecção de mudanças climáticas dependentes da precipitação pluvial diária e suas relações com o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), e anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Verificou-se valores da precipitação total anual nos dias úmidos; índice simples de intensidade diária; dias consecutivos secos; dias consecutivos úmidos; quantidade mínima precipitada em cinco dias e número de dias com precipitação acima de 50 mm.

Utilizando dados de séries históricas de chuvas, Dourados et al. (2013) buscaram identificar zonas pluviométricas homogêneas para o estado da Bahia, considerando as condições climáticas de cada zona. Foram utilizados dados de 92 estações meteorológicas aplicando técnicas de mineração de dados, clusterização e uso do algoritmo K-means. Identificou-se 5 zonas pluviométricas e alta variabilidade na distribuição de chuvas.

Entretanto, Costa et al., (2015) analisaram séries temporais de temperatura e precipitação pluvial no município de Lages – SC, no período de 1961 a 2011. Utilizou-se metodologias de transformadas de Fourier, transformadas de Ondaletas e teste estatístico de Mann-Kendall. Houve tendência positiva de precipitação pluvial a partir de 1983. Foi destacado o mês de julho que apresentou aumento de precipitação ao longo do período. A temperatura teve tendência positiva e incremento de $0,26^{\circ}\text{C}/\text{década}$, sendo os índices de temperatura máxima absoluta observados no mês de agosto ao longo do período.

Visto o contexto apresentado, entende-se que o uso de dados oriundos das séries históricas de variáveis climáticas a exemplo das precipitações pluviais, permite obter conhecimento da realidade ambiental de territórios, processos e alterações ocorridos em intervalos de tempo específico. É um recurso útil para o entendimento da disponibilidade hídrica de dada região ou bacia hidrográfica, possibilita planejar atividades econômicas e produtivas, permite a gestão de recursos segundo preceitos da sustentabilidade ambiental.

3.3 Análise dos dados de precipitação pluvial com uso da estatística

A Estatística tem sua origem associada ao período pré-cristão, sendo aplicada para o conhecimento de dados populacionais, potencial militar e as riquezas do Estado. Entre 1885 e 1925, essa tomou forma como uma teoria coerente. Entre 1920 e 1924 foi desenvolvida a amostragem aleatória e a estratificação, estabelecendo a equação da

análise de variância em universos estratificados, e as fórmulas da variância nos casos simples e estratificado (Andriotti, 2003).

Crespo (2001) cita a importância da estatística, destaca a coleta, organização, descrição e a análise dos dados com respostas que possibilitam a tomadas de decisões. A aplicação de recursos da estatística pode ser tratada como descritiva e/ou inferencial; uma tem relação com a coleta e a organização de dados, enquanto a outra diz respeito a análise e a interpretação de dados. Para Andriotti (2003) inferência estatística é o termo utilizado na generalização de resultados de uma parte para o todo, sendo também o conjunto de procedimentos empregados na verificação da validade de uma hipótese para a população por meio dos dados disponibilizados em uma amostra.

Uma das aplicações da estatística é a análise das séries históricas de precipitação pluviométrica como evento aleatório, permite entender o comportamento do fenômeno ao longo do tempo em um espaço determinado. Nesse sentido, são utilizados parâmetros estatísticos com destaque as medidas de tendência central (estatística descritiva): média aritmética; moda; mediana; quartis; decis; percentis, bem como as medidas de dispersão: amplitude; variância; desvio padrão; coeficiente de variação; assimetria; curtose; erro padrão da média; desvio entre quartis (Lanna, 2009).

Além dos parâmetros mencionados, é possível analisar também a correlação entre variáveis (x e y), identificar proximidade ou não entre os pares de dados (pontos) amostrados. O processo é realizado por meio da plotagem dos valores de duas variáveis no sistema de eixos perpendiculares para verificar se eles se dispõem nas proximidades da reta, caso exista a aproximação, identifica-se a correlação linear (r). O coeficiente de correlação é representado por r , sendo que, os valores de r variam de -1 (correlação inversa) a $+1$ (correlação direta), sendo o valor zero representativo da ausência de correlação (Andriotti, 2003).

Além do coeficiente de correlação linear (r), destaca-se também o coeficiente de determinação (r^2), esse representa a variância total de x e y . É aplicado para identificar o grau de dependência de y em relação a x , sendo que, a dependência é representada pela porcentagem de variação da variável y , que é explicada ou influenciada por sua relação com a variável x (Landim, 2003).

O coeficiente de determinação (r^2) pode ser alcançado a partir de aplicações que envolve a regressão múltipla. Segundo Andriotti (2003), o método de regressão deve ser aplicado em situações que as variáveis em análise apresentem correlação significativa. O autor destaca a correlação (r) como o método que mede a força ou grau de relacionamento entre duas variáveis. Entretanto a regressão múltipla fornece uma equação que descreve uma possível dependência entre elas em termos matemáticos tendo como fator de medida e representação o coeficiente de determinação (r^2).

3.3.1 Análise de tendência dos dados de precipitação pluvial

Os dados de precipitação pluvial formam um conjunto de valores que apresentam tendência de acordo com a variável e o intervalo de tempo representado, essa é uma condição que pode comprometer aplicações com uso de recursos da Geoestatística. Nesse contexto, se faz necessário um tratamento específico no conjunto de dados para remoção da tendência, sendo realizado um ajuste polinomial com aplicação da regressão múltipla para os valores amostrados no território, método denominado por análise de superfície de tendência (Andriotti,2003).

Landim (2003) destaca a simplicidade do método apresentado e os seus resultados, cita a separação dos dados mapeáveis em duas componentes: uma de natureza regional, representada pela superfície e, outra que revela as tendências locais. A situação é possível

visto a correlação do processo que envolve uma variável z em função das coordenadas x no sentido Leste-Oeste, e y , no sentido Norte-Sul. O método se dá por meio de aplicações com uso dos mínimos quadrados, traz como resultado representações em duas dimensões: a regional e a local (flutuações). A técnica é aplicada no pré-processamento de dados que serão modelados por meio do semivariograma e da krigagem.

Camargo, Fucks e Câmara (2002) destacam o potencial da análise de superfície de tendência devido a simplicidade dos cálculos. É observado que na aplicação do método pode haver predominância da variação em larga escala, onde a variabilidade local não é relevante, sendo não realista para a maior parte dos dados amostrados que representam variáveis naturais. É um recurso útil para remover efeitos de primeira ordem, quando a média varia de forma consistente no espaço, possibilita analisar os resíduos de estimação que trazem consigo informações de sub-regiões que apresentam diferenças significativas na tendência geral.

Nesse contexto, o processo/modelo que possibilita a representação da superfície de tendência pelo método dos polinômios pode ser expresso por:

$$Y = [\beta_0 + \beta_1 * x_i + \beta_2 * y_i + \beta_3 * x_i^2 * y_i^2 * \dots] + u(x_i, y_i) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Y = valor previsto da variável dependente;

β_0 = representa a constante ou coeficiente linear;

β_1 (2,3...) = coeficiente de cada variável independente ou coeficientes angulares;

x_i = variável independente (coordenadas);

y_i = variável independente (coordenadas);

u = erro ou resíduos;

Cabe observar que para o cálculo de valores representando a variável em análise, considerando superfícies de grau superior a dois deve-se seguir o mesmo processo de

desenvolvimento polinomial mencionado. No mesmo contexto, Landim (2003) destaca alguns cuidados que devem ser tomados para as aplicações por meio da análise de tendência, citamos aqui alguns deles:

a) - Tecer considerações apenas em relação à área coberta pelos pontos evitando as extremidades dos mapas, pois a extrapolação pode apresentar distorções.

b) - O número de pontos deve ser maior que o número de coeficientes do polinômio a ser calculado.

c) - O arranjo dos pontos, ainda que irregular, deve ser casual e razoavelmente bem distribuído evitando agrupamentos.

A análise de tendência é útil no contexto dos métodos da estatística espacial, tendo em vista que o estudo espacial de variáveis que assumem valores definidos para cada ponto em um dado lugar, assim como aqueles dependentes da escala de tempo, tem comportamentos demasiadamente complexos para serem analisados por métodos comuns da estatística clássica (Landim, 2003). Nesta pesquisa, as aplicações realizadas por meio das funções polinomiais com extração da tendência dos valores (média anual de chuvas), caracterizam o pré-processamento dos dados e posterior processamento com métodos da Geoestatística.

3.4 Análise da precipitação pluvial como variável regionalizada

O estudo de variáveis classificadas como regionalizadas e que têm alto nível de aleatoriedade a exemplo de variáveis atmosféricas como as precipitações pluviais, podem ser realizados aplicando métodos da geoestatística. Esta é uma área da estatística espacial que tem recursos técnicos e possibilita entender a dinâmica ou a dependência espacial do fenômeno investigado em intervalo de tempo definido. Nessa teoria, as relações espaciais

existentes entre as observações que compõem uma amostra e a quantificação dos erros cometidos nas avaliações são fatores a serem destacados (Andriotti, 2023).

A origem da Geoestatística está vinculada as técnicas de estimativas e pesquisas na área de mineração do Ouro na África do Sul, em meados de 1950, com destaque aos nomes de D. G. Kring, e de H. S. Sichel, que desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimação para calcular reservas minerais. As observações de Kring e Sichel receberam tratamento formal no Centre de Morphologie Mathematique em Fontaineblau, França, onde Georges Matheron, fundamentou a Teoria das Variáveis Regionalizadas (VRs) (Clark, 1979; Landim, 2003).

Desse modo, as aplicações e/ou estudos de VRs tem relevância na análise e exploração de recursos naturais, sendo a espacialização fator crucial que viabiliza a identificação e/ou a gestão de elementos do meio ambiente. Sendo que, os dados e/ou valores que representam as VRs podem ser investigados por meio da variabilidade espacial, ou seja, aqueles dados indicadores da variável mostrados em um lugar específico, podem ser influenciados por outros valores/dados representativos em outros locais, onde a sua localização e a distância são fatores determinantes para a maior ou a menor dependência espacial (Journel e Huijbregts 1978; Goovaerts, 1997).

De acordo com o contexto citado, as VRs dizem respeito a quase todas as variáveis quantitativas que têm condicionamento espacial e são trabalhadas nas ciências da Terra com uso da geoestatística, considerando que a regionalização e o caráter estruturado delas possibilitam estudá-las por meio das Funções Aleatórias (FAs). Sendo que, as VRs trazem consigo comportamento espacial demonstrando as características intermediárias entre aquelas verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (Andriotti, 2003).

Ainda na condição apresentada, a dependência espacial que é atribuída às VRs está relacionada com a variabilidade das propriedades da amostra com respeito à distância

e a direção, ou seja, considerando o espaço investigado existe a possibilidade de tomarem valores com teor de representatividade que os aproximam (semelhanças da variável investigada) em dois pontos amostrados no território, quanto menos afastados estejam tais pontos. Cabe destacar os principais atributos que norteiam e devem ser considerados nos estudos das VRs, a exemplo das precipitações pluviais, sendo: a localização; a continuidade; a anisotropia ou a zonalidade (Yamamoto e Landim, 2013).

Localização: a variável regionalizada é definida por um valor. Esse está associado a uma amostra que pode trazer consigo um tamanho, forma e orientação específica. Essas características geométricas da amostra são denominadas suporte geométrico. O suporte geométrico compreende além dos volumes: áreas e linhas.

Continuidade: a depender do fenômeno amostrado a variação espacial por meio da variável regionalizada pode apresentar diferentes situações com indicadores em maior ou menor proporção. A existência da continuidade e seus níveis de estabilidade podem ser expressas a partir de flutuações que refletem o grau de dependência ou independência existente entre os valores investigados.

Anisotropia ou Zonalidade: é um indicador que demonstra se aqueles valores que representa as VRs trazem consigo variações significativas ao longo de uma direção específica, com mudanças em seu comportamento a depender da zona e/ou orientação.

Nesse contexto, a análise de VRs tem como ponto de partida um conjunto de observações constituindo a amostra, sendo compostas por fatores como: tamanho; forma; orientação e arranjo espacial. Fatores ou observações de natureza quantitativa que podem ser modeladas para inferir propriedades do fenômeno investigado no território, recursos que permitem a caracterização espacial da variável considerando a distância (h) mínima e máxima entre os pares de pontos amostrados (x), bem como a sua variância (γ) e as incertezas associadas (Yamamoto e Landim, 2013).

Dessa forma, a amostra é um conjunto de valores do fenômeno espacial que, se representativa, deve reproduzir a distribuição e variabilidade espaciais tanto em tamanho, isto é, número de dados, como em termos de distribuição no domínio estudado. Cabe observar que qualquer estimativa realizada ou baseada em pontos amostrais está sujeita a uma incerteza, e nesse sentido a modelagem com uso da geoestatística obtém destaque frente aos demais métodos por oferecer parâmetros associados à estimativa e aos erros resultantes dos processos realizados (Jacob e Young, 2006; Fortunato, 2010).

De acordo com Landim (2003), na análise geoestatística são aplicados recursos que permitem entender a gênese e as leis naturais que governam fenômenos interpretados como regionais. O autor destaca a estimativa das variáveis regionais e suas características espaciais utilizando informações e relações por meio do conjunto discreto de amostras e, da avaliação dos erros para estabelecer o grau de segurança em previsões e padrões ótimos de amostragem, assegurando que um erro máximo de estimativa não seja excedido.

Visto a complexidade das VRs em função de fatores como a aleatoriedade, cabe observar a determinação empírica e relativa das probabilidades presentes na variável, sendo possível fazer inferência estatística baseando-se em uma amostra. Tal inferência ocorre lançando mão de algumas hipóteses suplementares sobre as FAs em estudo, também denominada hipótese restritiva (Andriotti, 2003). É destacado que uma variável aleatória estacionária é sempre estacionária no que se refere a média e a sua função de autocovariância. Sendo assim, os tipos de estacionaridade das FAs são: a) - estacionaridade estrita; b) - estacionaridade de 2ª ordem; c) - hipótese intrínseca:

a) - **Estacionaridade estrita (1ª ordem):**

A função aleatória é considerada estacionaria estrita tendo em vista a hipótese de que o primeiro momento estatístico (média) não dependa do valor no ponto x_0 ou x_0+h , sendo que, em qualquer ponto, a constante determinística $m_{(x)}$, seja a mesma do valor da

função aleatória $Z(x)$, logo as circunstâncias que determinam os valores representados em um espaço, se repetem por todo o espaço investigado, essa pode ser expressa por:

$$E [Z^1(x)] = E [Z^1(x_1)] = E [Z^1(x_1 + h)] = \mu_1(x), \text{ para qualquer vetor } h \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: $[Z^1(x_1)]$ ou μ_1 é a esperança matemática para a variável $Z(x)$ no ponto 1.

b) - Estacionaridade de 2ª ordem:

Entretanto a Função Aleatória (FA) é estacionária de 2ª ordem quando os dois primeiros momentos estatísticos existem e são conhecidos, onde o primeiro momento (média = $\mu(x)$) é constante a partir da origem e a covariância seja um valor menor que o infinito, de modo que $C(h) < \infty$, é independente do ponto inicial (x_0), mas dependente do vetor h , ou seja, ela varia de acordo com a distância a qual as variáveis estão separadas umas das outras, sendo:

$$C(x, x + h) = E [Z(x) * Z(x + h)] - \mu^2 \quad (\text{Equação 3})$$

$$C(x, x + h) = C(h) \quad (\text{Equação 4})$$

É observado que: quando a situação de $h = 0$, a covariância é igual a variância:

$$C(0) = E [Z^2(x)] - \mu^2 = \text{Var} [Z(x)] \quad (\text{Equação 5})$$

Desse modo, pressupõem-se que a variância também seja um valor constante a partir da origem, onde se admite um valor finito:

$$\text{Var} [Z(x)] = E [Z^2 (x)] - \{E[Z(x)]\}^2 = m^2 (x) - [m^1(t)]^2 \quad (\text{Equação 6})$$

Logo, se tanto a variância quanto a covariância são estacionárias, isso implica na estacionaridade do semivariograma, sendo:

$$\gamma [Z(x_i), Z (x_i + h)] = \frac{1}{2} E [Z(x_i) - Z (x_i + h)]^2 \quad (\text{Equação 7})$$

$$C(h) = E \{Z (x + h) * Z(x)\} - m^2, \forall x \quad (\text{Equação 8})$$

A partir das aplicações realizadas e alcançados resultados satisfatórios, entende-se que a média e a covariância são independentes dos pontos iniciais, mas dependente somente da distância (h) entre as variáveis, assume-se a existência de uma variância C_0 finita entre as variáveis, essa pode ser expressa por:

$$\text{Var} \{Z(x)\} = E \{[Z(x) - m^2]\} = C_0, \forall x \quad (\text{Equação 9})$$

Dessa maneira, quando admitida a existência da variância (Var) os dados podem ser estruturados segundo o variograma:

$$2\gamma(h) = E \{[Z(x) - Z (x + h)]^2\} \quad (\text{Equação 10})$$

Dessa forma, é comum o uso da expressão variograma que representa duas vezes a diferença entre os valores localizados nos pontos $(x + h)^2$. Porém os resultados dessa variância não são ajustados a realidade dos dados, observação realizada por Matheron na década de 1960. Segundo Clark (1979), Matheron observou que a variância entre os dados

aumentava de acordo com a distância (h) entre as mesmas amostras, sendo possível obter melhor explicação pela metade da variância. Nesse sentido utiliza-se a semivariância que pode ser expressa por:

$$C_0 - C(h) = \frac{1}{2} E \{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \}, \forall x \quad (\text{Equação 11})$$

c) – Hipótese Intrínseca:

A depender do fenômeno natural em investigação há situações que dificultam a modelagem do conjunto de dados, onde a variância não estabiliza ao passo que se aumenta a área de busca dos pares (dados amostrados), ocorre o aumento proporcional da dispersão entre os dados tendendo ao infinito, sendo assim, o segundo momento estatístico não é estacionário e/ou apresenta estacionaridade fraca. Nesse cenário, considera-se a hipótese de existência do semivariograma não exigindo a estacionaridade da variância.

Para ser classificada como hipótese intrínseca, deve-se admitir que a esperança matemática exista e não dependa da posição da variável $Z(x_i)$, essa pode ser expressa por:

$$E[Z(x)] = \mu \quad (\text{Equação 12})$$

Além da condição citada, se faz necessário que exista a variância da diferença entre as realizações $Z(x_i + h) - Z(x_i)$, entretanto, não dependente da localização da variável, sendo:

$$\text{Var} [Z(x_i + h) - Z(x_i)] = E \{ [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \} = 2\gamma(h) \quad (\text{Equação 13})$$

A partir do entendimento das condições apresentadas é observado que: se uma FA apresentar estacionaridade de 2ª ordem, ela pode apresentar uma estacionaridade de 3ª ordem (hipótese intrínseca), não sendo válido a situação inversa, pois os semivariogramas de FA estacionários de segunda ordem são sempre limitados.

Como ramo da estatística espacial, considerando que a geoestatística é baseada em um conceito probabilístico, Andriotti (2003) observa que para fazer as aplicações de forma seguras com o uso desta, é necessário que o técnico ou analista tenha conhecimento prévio de conceitos da estatística. Destaca-se a importância de realizar o estudo estatístico elementar do conjunto de dados obtidos e/ou disponível, com a finalidade de testar se as condições exigidas para aplicar o formalismo próprio da geoestatística estão definidos.

De acordo com o contexto apresentado e atendido os preceitos para aplicação com a geoestatística, esta pode ser utilizada para modelar padrões espaciais (variografia); prever valores em locais não amostrados (krigagem); obter uma incerteza associada ao valor estimado em locais não amostrados (variância de krigagem) e otimizar malhas de amostragem. Concordando com Landim (2003), o estudo de VRs com ênfase na dinâmica espacial envolve duas ferramentas da geoestatística: o semivariograma e a krigagem.

3.4.1 Modelagem com uso do semivariograma

O semivariograma $\gamma(h)$ é a ferramenta básica para análise de conjunto de dados por meio da geoestatística. É uma função que expressa o grau de dependência espacial entre amostras em um campo experimental. Abordado como a esperança matemática do quadrado dos acréscimos da Variável Regionalizada (VR), este representa a estrutura do fenômeno investigado por meio de correlações estatísticas. Permite representar o alcance da variável em malha gráfica levando em consideração a distância e a direção. Viabiliza

a análise, e a interpretação da continuidade espacial do fenômeno estudado (Clark 1979; Carvalho et al, 2012).

Desse modo, para entender a variância contida nas séries históricas representando a variável regionalizada chuva $x(i)$, deve ser aplicada a função semivariograma $\gamma(h)$, onde é avaliado a distribuição e a relação de proximidade e distância dos dados amostrados (h) por meio de sua localização (x e y), a zona de influência e a semivariância com relação à distância. Esta é representada por uma curva variográfica que demonstra a continuidade espacial do fenômeno. A curva cresce conforme a distância (h), sendo reflexo de maior e/ou menor influência de uma amostra, em que, para cada valor de distância (h) é obtido o valor de variabilidade entre as amostras (Yamamoto e Landim, 2013).

Ainda no contexto citado, para entender a variação espacial ou o alcance de uma VR como a precipitação pluviométrica, deve-se considerar a relação espacial entre o valor de cada ponto amostrado (i), com valores de pontos ($i...$), situados a certa distância ($i + h$). A influência é tanto maior, quanto menor for a distância entre os pontos, considerando que o semivariograma é a medida da metade da variância média (variograma) entre os pares de pontos amostrados, indicando a estrutura de dependência espacial da variável investigada (Isaaks e Srivastava, 1989; Andriotti, 2003).

Dessa forma, deve-se considerar que a semivariância dos dados se distribui do 0 (zero), quando $h = 0$, até um valor igual à variância das observações para um alto valor de h , se os dados forem estacionários, isto é, não ocorra a presença de deriva. De acordo com Landim (2003), essas relações são mostradas e podem ser analisadas quando se coloca a função γ (variograma) em um gráfico contra h para originar o semivariograma $\gamma(h)$, este pode ser expresso por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

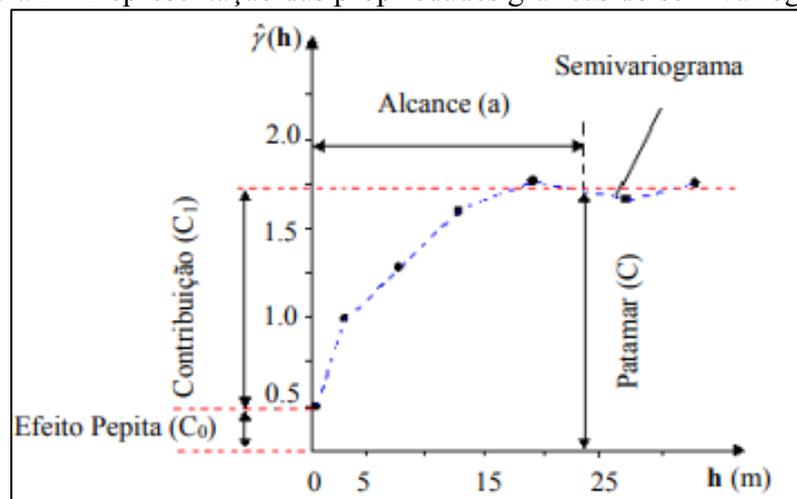
$\gamma(h)$ = valor experimental do semivariograma para o intervalo da distância h ;

$N(h)$ = número de pares de pontos amostrais separados pela distância maior de h ;

$z(x_i)$ = valor da variável de interesse em um ponto amostral x_i $z(x_i + h)$ = valor da variável de interesse no ponto amostral $x_i + h$.

Dessa maneira, os componentes gráficos que constituem a modelagem de dados por meio do semivariograma podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Representação das propriedades gráficas do semivariograma.



Fonte - Camargo (1998).

De acordo com a Figura 2, os principais componentes de um semivariograma são:

Alcance ou amplitude (*range*) (a): representa o valor da distância (h) a partir da qual, naquela direção os pares amostrados de valor $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$, apresentam correlação espacial. Demonstra que o grau de dependência entre os pontos analisados para a mesma variável diminui com o aumento da distância entre eles.

Patamar ou Soleira (*Sill*) (C): é o valor no qual a curva variográfica se estabiliza no campo aleatório, valor constante atingido no $\gamma(h)$, quando a distância entre os pontos

crece (eixo das ordenadas). A partir deste ponto (C), há o afastamento entre os pares de pontos amostrados e demonstra a não existência de correlação espacial a partir deste.

Efeito pepita (C_0): compreende o valor do variograma na origem ($h = 0$). O valor esperado na origem deve ser nulo, pois as amostras verificadas no mesmo ponto deveriam possuir os mesmos valores da variável regionalizada. É o componente que pode revelar a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

Contribuição (C_1): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0).

3.4.2 Modelos de semivariogramas

Obter uma representação por meio do semivariograma experimental seja de dados reais, e/ou de valores representativos da variável amostrada é de fundamental importância na geoestatística, faz parte da chamada análise estrutural. Em sua aplicação é indicada experiência e paciência para as modelagens, sendo necessário tentativas e avaliações dos erros em diferentes cenários (Wackernagel, 2003). Desse modo, o semivariograma experimental precisa ser ajustado a um modelo teórico. Neste trabalho, os ajustes das modelagens foram realizados com os modelos mais utilizados em pesquisas relacionadas às Ciências da Terra, sendo: o modelo esférico; modelo exponencial; modelo gaussiano.

Modelo Esférico: é o esquema mais comum e utilizado para variáveis estudadas em Geociências, apresenta crescimento rápido na origem, onde tem um comportamento linear. Esse pode ser expresso por:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left[\frac{h}{a} \right] - \frac{1}{2} \left[\frac{h}{a} \right]^3 \right], \text{ para } 0 < h < a \quad (\text{Equação 15})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ para } h \geq a$$

Onde: C_0 , é o efeito pepita; C_1 é a contribuição da dependência espacial; “a” é o alcance; $|h|$, é módulo de h.

Esse modelo é conhecido também como esquema de Matheron, onde o patamar é igual a $(C_0 + C_1)$, a inclinação da tangente para a origem ($|h| = 0$) vale $(3C/2a)$, e essa tangente corta a linha representativa do patamar no ponto em que $h = 2/3a$.

Modelo Exponencial: apresenta comportamento linear para a origem, esse pode ser expresso por:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 (1 - e^{-3|h|/a}), \text{ para } 0 < |h| < a \quad (\text{Equação 16})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ para } h \geq a$$

Onde: C_0 , é o efeito pepita; C_1 é a contribuição da dependência espacial; “e”, representa a base dos algoritmos neperianos; “a” é o alcance; $|h|$, é o módulo de h.

Nesse modelo, a tangente à origem atinge a linha que representa o patamar no ponto onde $h = a$, e sua inclinação vale C_1/a . O alcance nesse modelo tem significado puramente analítico, sendo o patamar só alcançado pela curva de forma assintótica, ou seja, quando $h = \infty$. Na prática, usa-se um alcance igual a $3a$.

Modelo Gaussiano: é o modelo que reflete mais regularidade de acordo com a variável em análise, conhecido como esquema de Gauss ou parabólico, apresenta tangente horizontal na origem. Esse modelo pode ser expresso por:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \{1 - e^{-3(|h|/a)^2}\}, \text{ para } 0 < h < a \quad (\text{Equação 17})$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ para } |h| \geq a$$

Onde: C_0 , é o efeito pepita; C_1 é a contribuição da dependência espacial; e , representa a base dos algoritmos neperianos; 'a' é o alcance; $|h|$, é o módulo de h.

Nesse modelo o alcance tem significado puramente analítico: é o alcance prático tomado como sendo $\sqrt{3} \cdot a$. Deve ser observado que a presença de efeito pepita (C_0) nesse esquema tem como única explicação a existência de erros humanos, pois, o fenômeno tratado é muito regular.

3.4.3 Anisotropia na representação de fenômenos especializados

A anisotropia tem relação com a malha de pontos que representa o conjunto de dados amostrados, demonstra uma direção preferencial ou não do fenômeno no espaço de análise. Para Andriotti (2003) os fenômenos espaciais podem apresentar anisotropias quando a função variograma muda conforme a direção, quando essa função não se altera com a direção, diz-se que o fenômeno é isotrópico. Ao detectar a presença de anisotropias elas devem ser modeladas, ou seja, ajustadas a um modelo teórico de variograma.

De acordo com Landim (2003), diante da incerteza sobre o direcionamento do fenômeno estudado quanto a isotropia ou anisotropia para a estimação no semivariograma experimental, no espaço bidimensional, deve-se considerar quatro direções básicas – E-W, N-S, NE-SW e NW-SE, em ângulo de tolerância de 45° . Quando se consta uma direção bem marcante de anisotropia deve-se adotar tal direção com pequeno ângulo de tolerância ($\alpha^0 \pm \Delta\alpha^0$) para estimar o semivariograma nessa mesma direção.

Em trabalhos que fazem uso do semivariograma é observado que muitos deles compreendem a mistura de dois ou mais modelos, cita-se aqueles que atingem patamar como o modelo esférico, no qual a função de covariância acha-se presente (Camargo, Fucks e Câmara (2002). É destacado ainda que, para um conjunto de dados que estão

irregularmente distribuídos no espaço investigado a exemplo dos valores médios de precipitação pluvial, não é possível em princípio encontrar pares de amostras suficientes com o mesmo espaçamento (h), para o cálculo em determinada direção, como acontece com dados dispostos em malha regular.

Diante do problema citado, segundo Landim (2003), define-se uma distância de tolerância Δh para a direção a considerada. Assim, para o cálculo do semivariograma de uma distribuição irregular de pontos ao longo de uma determinada direção a , considera-se todas as amostras que se encontram no ângulo $a^0 \pm \Delta a^0$, e, em seguida, classifica-se os pares em classes de distância $h \pm \Delta h$, $2h \pm \Delta h$..., onde h é a distância básica. As direções e seus respectivos ângulos de tolerância devem cobrir toda a área em análise. Dessa forma, as aplicações com o semivariograma requer algumas suposições básicas:

a) – As diferenças entre pares de valores de amostras são determinadas apenas pela orientação espacial relativa das amostras.

b) – O interesse é focado apenas na média e na variância das diferenças, significando que esses dois parâmetros dependem unicamente da orientação (hipótese intrínseca).

c) – Por conveniência, assume-se que os valores da área de interesse não apresentam tendência que possa afetar os resultados e, assim, a preocupação é apenas com a variância das diferenças entre os valores das amostras.

3.4.4 Interpolação com uso da krigagem

A representação das VRs, com a estimativa de valores para locais não amostrados, pode ser obtida a partir de aplicações utilizando métodos de interpolação. A estimativa resulta do ajuste de funções matemáticas locais e/ou globais. Yamamoto e Landim (2013)

citam ser necessária a estimativa para os locais com pontos não amostrados, considerando que as observações não são feitas em lugares muito próximos, tendo em vista o custo para fazer levantamentos em campo ou mesmo limitações de ordem natural, existindo áreas de difícil acesso que impossibilita a coleta regular de amostras no espaço investigado.

Existe diferentes métodos de interpolação, onde, cada situação representa melhor a variável investigada segundo modelo específico que resulta em diferentes tipos de representações (Journel e Huijbregts, 1978). A partir da representação obtida, a interpretação dos valores estimados deve ser baseada no conhecimento do fenômeno em análise por parte do pesquisador. De acordo com Yamamoto e Landim (2013), as estimativas geoestatística são em geral superiores aos demais métodos de interpolação numérica, pois fazem uso da função variograma, esse envolve parâmetros relacionados a existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia.

Dessa forma, a krigagem é o método que possibilita estimar (interpolar) valores representativos para um fenômeno em um lugar e tempo definidos, utilizando como referência a amostragem dos dados. Esse método é classificado como modelo estocástico, onde as amostras existentes são investigadas considerando a aleatoriedade, quantificando também as incertezas e erros de estimação. Faz uso dos resultados ótimos obtidos por meio dos semivariogramas experimentais. É normalmente comparado com os métodos tradicionais de estimativa como os das médias ponderadas e médias móveis, porém, a krigagem apresenta estimativas não tendenciosas e variância mínima (Cressie, 1993).

O processo de interpolação com uso da krigagem utiliza informações a partir dos melhores resultados obtidos por meio do semivariograma, para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras que irão estimar um ponto, um painel ou bloco (Cressie, 1993). Nesse processo considera-se que o semivariograma é uma função da distância (h)

entre os pares de pontos amostrados, onde se mantem o mesmo número de amostras e pesos diferentes segundo o seu arranjo geográfico.

A krigagem é um estimador que se baseia numa série de técnicas de análise de regressão, seja elas lineares ou não lineares, procura minimizar a variância estimada por meio de um modelo prévio que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço (Andriotti, 2003). Apresenta como diferencial a estimação de uma matriz de covariância espacial com atribuição de pesos para as diferentes amostras; o tratamento de redundância; a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial; e o erro ou incertezas associadas ao valor estimado (Wackernagel, 2003).

De acordo com Landim (2003), o método de krigagem pode ser aplicada com objetivos distintos, citamos aqui alguns deles:

a) - Previsão do valor pontual de uma variável regionalizada em um determinado local dentro do campo geométrico.

b) - Cálculo médio de uma variável regionalizada para um volume maior que o suporte geométrico. Cita-se como o exemplo, o cálculo do teor médio de uma jazida a partir de informações obtidas de testemunhos de sondagens.

c) - Estimativa da deriva, de modo similar à análise de superfície de tendência.

Camargo, Fucks e Câmara (2002) observam que a krigagem compreende um conjunto de técnicas de estimação baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial. Dessa maneira, a hipótese implícita no procedimento geoestatístico é de que o processo estudado é estacionário, onde deve-se seguir os seguintes passos: a) análise exploratória dos dados; b) análise estrutural; c) interpolação estatística da superfície.

Yamamoto e Landim (2013) destacam que a krigagem abrange uma família de algoritmos: krigagem simples, krigagem da média, krigagem ordinária e krigagem universal. Há uma gama de trabalhos que abordam a krigagem e a família de algoritmos,

entre os quais podemos citar: Andriotti (2003); Jakob e Young (2006), Santos (2010), Santos et al. (2011).

De forma geral, o estimador mais comum em aplicações que envolvem variáveis regionalizadas é a krigagem ordinária. Essa foi utilizada para as aplicações nesta pesquisa, tendo em vista o fenômeno investigado e o conjunto de dados disponível para tal, bem como as respostas que o estimador proporciona por meio de aplicações em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), e a possibilidade de processamento de valores estimados em ambiente do QGIS e, em planilha eletrônica (Excel).

3.4.5 Krigagem ordinária

A krigagem ordinária é um método univariado de inferência espacial, o mesmo utiliza a dependência expressa no semivariograma em amostras vizinhas com a estimação de valores sem tendência e variância mínima. Os valores obtidos em pontos amostrados são usados na interpolação, essa é baseada na minimização da estimativa da variância do erro sobre a suposição da não-tendenciosidade do estimador (Carvalho e Assad, 2005; Mello e Oliveira, 2016).

A krigagem ordinária é um método de estimativa linear para VRs que satisfaz a hipótese intrínseca da função. Diferente da krigagem simples que considera a hipótese da estacionaridade de segunda ordem, onde é exigido que a média seja conhecida. Entretanto nos processos de krigagem ordinária é assumido a hipótese de quase estacionaridade, também conhecida como estacionaridade regional (Landim, 2003). Camargo (1998) observa que a estimação por krigagem ordinária tem base na combinação de regressão linear, dessa forma ela pode ser expressa por:

$$Z(u) = \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i * Z(u_i) \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

u e u_i = indicam respectivamente os vetores de localização para o ponto de estimativa e pontos de dados vizinhos no número de pontos de dados, $n(u)$;

λ_i = são pesos de krigagem que são estimados como soluções do sistema de krigagem para minimizar a variância do estimador.

Mesmo classificado como um interpolador exato, a krigagem ordinária produz estimativas suavizadas de modo que pode haver subestimação ou superestimação de valores. Esta situação trata-se do efeito colateral da krigagem, conhecido como efeito de suavização (Landim, 2003; Andriotti 2003). O efeito citado não é exclusivo da krigagem ordinária e ocorre também em outros métodos baseados na média móvel ponderada.

Diante do problema citado, a correção do efeito de suavização pode ser feita com a aplicação de algoritmos de pós-processamento que envolve a adição ou subtração de quantidades de dados ou valores que, a depender da estimativa pode estar subestimada ou superestimada. Sendo assim, a validação cruzada é um dos métodos mais utilizados para esse fim (Yamamoto e Landim, 2013).

3.4.6 Validação cruzada

A modelagem de dados envolve processos que vai do variograma experimental ao modelo teórico, passo fundamental na análise variográfica, situação que envolve várias tentativas e erros. Frente aos resultados alcançados indica-se a validação dos mesmos por meio da validação cruzada, esta ocorre da seguinte forma: obtido o modelo variográfico, cada valor original é removido do domínio espacial e, utilizando os demais valores, um

novo valor é estimado para esse ponto. Desse modo, um gráfico pode ser construído mostrando a relação entre valores reais e os valores estimados (Landim, 2003).

De acordo com Andriotti (2003) no processo de validação cruzada assume-se que uma determinada amostra não tenha sido coletada, sendo necessário a estimação; após a estimação, o valor que representa a amostra é reintroduzido no sistema e se repete o processo para todas as amostras. A estimação terá sido bem-sucedida se o erro médio for zero e a sua variância estiver em torno de um.

O método de validação cruzada é aplicado para avaliar se o modelo do variograma escolhido está bem ajustado aos dados disponíveis, sem presença de viés, bem como para análise entre valores reais e krigados. Segundo James et al. (2013), a validação cruzada permite avaliar o desempenho de modelos estatísticos e algoritmos de previsão. É crucial para garantir que o modelo seja capaz de generalizar informação dos dados mostrados para locais não vistos. Esse é um modelo de validação utilizado em diversas aplicações, como classificação, regressão e seleção de modelos.

3.5 Análise de dados espaciais

Estudar a dinâmica espacial das precipitações pluviométricas, com ênfase em sua continuidade espacial requer além dos recursos da estatística, geoestatística e das séries históricas, a utilização de programas que integram o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Estes possibilitam o processamento de dados que demonstram o comportamento do fenômeno em um dado lugar, sendo possível representar cenários que se aproximam da realidade no meio físico. O SIG reúne ferramentas e integra sistemas de informação, possibilita coletar, armazenar e visualizar dados especializados (Longley et al. 2013).

Ainda no contexto citado, a análise espacial de dados se destaca como um dos processos aplicados com uso do SIG na busca por entender o comportamento das variáveis climáticas, bem como os aspectos naturais e sociais do ambiente. A ênfase da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, considerando a localização espacial da variável de forma explícita, incorporando o espaço à investigação que se deseja fazer (Câmara et al. 2002). Nesse sentido, a ênfase espacial é um dos fatores que fazem parte ou caracterizam as VRs, a exemplo da precipitação pluvial, essa é a variável objeto de investigação nesta pesquisa.

Moura (2007) destaca que, em lugar da simples descrição de elementos ou fatos, os modelos de análise espacial em SIG podem traçar cenários e simular a ocorrência dos fenômenos, tendo como referência tendências observadas e julgamentos de condições estabelecidas. Para a autora, o uso do SIG está relacionado à seleção de variáveis a serem estudadas e suas combinações, demonstra tentativas de representar a realidade de forma simplificada por meio da seleção de aspectos relevantes do fenômeno investigado.

De acordo com Câmara et al. (2002), os problemas de análise espacial lidam com dados ambientais e sociais. Em ambos os casos, a análise é composta por um conjunto de procedimentos cuja finalidade é a escolha de um modelo que considere a relação espacial presente. A tarefa envolve processos de modelagens que são precedidos de uma fase de análise exploratória associada a representação visual dos dados em forma de gráficos, mapas e a identificação de padrões de dependência espacial.

Do ponto de vista conceitual os modelos no contexto de SIG, podem ser descritos como a combinação do conjunto de dados de entrada por meio de uma função, produzindo um novo conjunto de dados de saída. As relações expressas por esta função são baseadas no entendimento teórico de princípios físicos e químicos ou são empíricas, baseadas em dados observados ou na combinação destes. É destacado a combinação de dados espaciais

para descrever e analisar interações, fazer previsões via modelos com o fornecimento de apoio às tomadas de decisões (Câmara et al. 2001; Aronoff, 2015).

A análise espacial em ambiente SIG requer a criação de um banco de dados cuja aquisição se dá por transferência ou captura. As investigações com esse tipo de análise devem considerar a natureza da variação dos fenômenos e a escala na qual uma variação não controlada ocorre, fatores cruciais para obter representações de variáveis no meio físico. É a busca por compreender a natureza de autocorrelação espacial que caracteriza aplicações em SIG, auxilia a deduzir como melhor coletar e reunir dados, e desenvolver inferências entre eventos e ocorrências no espaço de análise (Longley et al. 2013).

A análise espacial por meio de técnicas quantitativas com SIG, requer duas pré-condições: 1º) domínio dos fundamentos teóricos de Geoprocessamento e estatística espacial; 2º) metodologia de trabalho sólida obtida por meio da associação de modelos matemáticos (reducionistas) e interpretação (subjéitiva) do especialista (Câmara et al., 2002). Câmara e Monteiro (2001) observam que a modelagem possibilita traduzir o mundo real em outros domínios, destacam o paradigma dos “quatro universos” de Gomes e Velho (1995), sendo: o universo do mundo real; o universo matemático (conceitual); o universo de representação e o universo de implementação.

De forma geral, a análise de dados espaciais por meio do SIG, contribui para o entendimento de variáveis ambientais, a exemplo das precipitações. Ela se mostra como ferramenta indispensável no processo de modelagem, visto a possibilidade de obter e integrar dados e informações do espaço geográfico. A sua importância é notória tendo em vista a gama de aplicações em diferentes áreas do conhecimento, transitando desde a Geografia até a Epidemiologia (Fotheringham et al., 2000; Aronoff, 2015). Vale destacar que no desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados de forma específica o QGIS e o GS+ como ferramentas SIG.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Métodos

Esta pesquisa foi norteada por análise objetiva. Trata sobre a dinâmica espacial e tendências que caracterizam as precipitações pluviais em Mato Grosso. Contempla aquisição, organização e o processamento de dados de chuvas em período correspondente a 36 anos, séries históricas de 1985 a 2020. O trabalho tem abordagem quantitativa devido aos tipos de aplicações que foram realizadas com uso de recursos matemáticos.

Para desenvolver a pesquisa, foi realizado em primeiro momento o levantamento bibliográfico e definido as etapas de execução do trabalho. Essas podem ser divididas em:

- I - Definição da área de estudo e problemática;
- II - Aquisição de recursos, materiais, dados e informações;
- III – Tabulação, análise dos dados e informações;
- IV - Tratamento de dados e ajuste metodológico;
- V - Modelagens (semivariograma) e, interpolação de dados (krigagem);
- VI - Processamentos de dados em ambiente SIG e planilha eletrônica, índices de precipitação pluvial (média anual) para locais não amostrados;
- VII - Plotagem de gráficos e mapas que demonstram a continuidade espacial e as tendências das precipitações pluviais (SIG/planilha eletrônica);
- VIII - Análise e correção dos produtos gerados: mapas, quadros, tabelas e gráficos (resultados).

Todos os processos e técnicas aplicados nesta pesquisa foram desenvolvidos em planilha eletrônica (Excel), com aplicações da estatística, modelagem e interpolação com a utilização de métodos da geoestatística em ambiente SIG.

4.1.1 Fontes de dados e coleta de informações

Os dados de precipitação pluvial utilizados para desenvolver esta pesquisa foram baixados do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Os dados e informações sobre o Estado do Mato Grosso, municípios e sub-bacias hidrográficas foram baixados do portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), IBGE Cidades e portal de Geociências (IBGE), estudos e periódicos eletrônicos. O Quadro 1, sumariza o conjunto de materiais obtidos e que compõem a base de dados da pesquisa.

Quadro 1 – Conjunto de materiais obtidos para o desenvolvimento da pesquisa.

Material	Fonte	Método de análise	Produtos gerados
Arquivo: divisão política do Brasil.	IBGE.	Visualização em tela, localização/recorte (SIG).	Mapas: espacialização da área de pesquisa, georreferenciamento.
Arquivo: divisão hidrográfica do Brasil.	IBGE/ANA.	Visualização em tela, recorte (SIG).	Registros: Biomas Microrregiões hidrográficas.
Planilhas: dados de precipitação pluviométrica.	ANA/Hidroweb.	Tabular, modelar interpolar (Excel, SIG).	Indicadores e Gráficos, distribuição espacial de chuvas.
Textos: sobre clima e socioeconômicos.	IBGE/periódicos.	Leitura e análise conceitual.	Indicadores do clima, dinâmicas territoriais.

Fonte – Oliveira, J. L de (2022).

A organização, correção e tabulação dos dados foram realizados em primeiro momento em ambiente do Hidro versão 1.4 (tabulação preliminar) e planilhas do Excel. O Hidro é um *software* para gerenciamento de bancos de dados hidrometeorológicos, faz parte do conjunto de recursos/ferramentas disponibilizados por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), sob tutela da ANA (ANA, 2010).

Quanto ao processamento, modelagem e análise geoestatística dos dados, seguido da validação dos resultados, esses foram realizados no *Gamma Design Software* (GS+),

e no QGIS (SIG). O GS+ é um *software* utilizado em diferentes áreas do conhecimento que possibilita o processamento e a modelagem de séries de dados por meio de métodos da geoestatística: semivariograma, krigagem e outros (GS+, 2023). Entretanto o QGIS, é um *software* livre utilizado em larga escala e que contribui para o desenvolvimento de trabalhos envolvendo o geoprocessamento, a tabulação de dados, a análise espacial e o sensoriamento remoto (QGIS, 2023).

4.1.2 Descrição e tabulação dos dados

A base de dados com os índices de chuvas utilizados nesta pesquisa foi organizada tendo-se por referência as localizações espaciais, considerando as regiões e microrregiões hidrográficas que ocorrem na área de influência de Mato Grosso. Esses parâmetros foram obtidos no site da ANA – portal Hidroweb; abas Mapa e Séries históricas. Desse modo, obteve-se a identificação das bacias e sub-bacias hidrográficas e seus códigos. Essas informações são necessárias à obtenção das séries históricas de cada estação que integra a área de estudo, cujo pré-tratamento foi feito no *software* Hidro, versão 1.4.

O Hidro 1.4 possibilita o tratamento prévio de dados pluviais ou fluviais oriundos do portal Hidroweb. Esse tratamento permite identificar e levantar informações sobre cada estação, dentre as quais citam-se: estados e municípios de ocorrência; nomes de rios; nomes das estações pluviométricas; nomes de órgãos ou instituição responsável pela estação; coordenadas geográficas; período das séries históricas (ano início, ano fim), situação de funcionamento (encerrado; manutenção), sendo possível plotar gráficos que demonstram a organização dos dados contidos em cada série.

Outro critério adotado na seleção das estações foi o período mínimo de registro dos dados, sendo este de no mínimo 30 anos (tendo como teto o ano de 2020), atentando-

se a cumprir critérios estabelecidos pela OMM - Organização Meteorológica Mundial (Ayoade, 2010). Como resultado das condições citadas, foram selecionadas 180 estações pluviométricas instaladas no Estado de Mato Grosso. Nessa fase da pesquisa foram detectadas porções do território que não têm dados ou têm séries históricas com muitas falhas, situação que gera problemas como o efeito de bordas e os vazios com locais não amostrados.

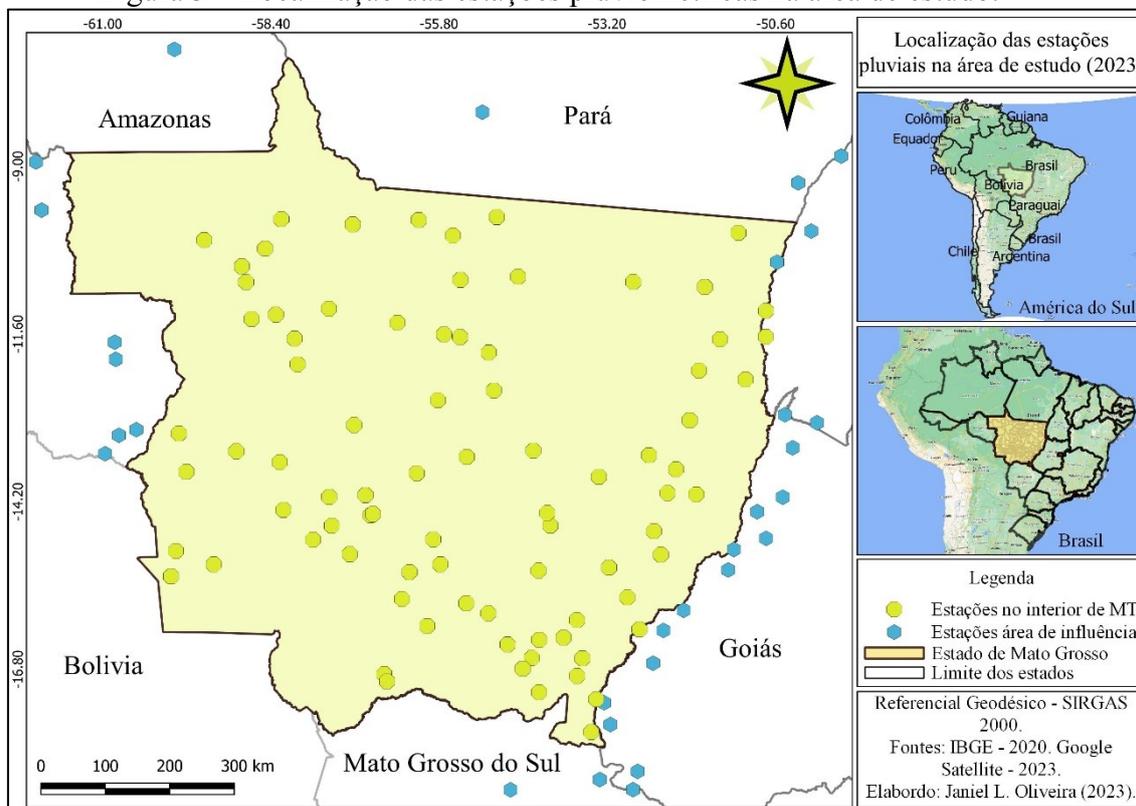
Para contornar os problemas sobre os efeitos de bordas, bem como a ausência de estações na área estudada, e séries de dados que não atendem aos critérios de seleção já mencionados, foram contempladas outras 52 estações pluviométricas, localizadas nos estados vizinhos. Apesar de estarem localizadas em estados limítrofes, tais estações se encontram em bacias hidrográficas que adentram o Estado de Mato Grosso, apresentando características ambientais e climáticas semelhantes as regiões do Estado.

As características ambientais e climáticas das áreas ou locais onde se encontram as estações pluviométricas contempladas e que tiveram suas séries históricas utilizadas nesta pesquisa atendem aos critérios da literatura. Dessa forma, caso determinada região não apresente características ambientais semelhantes às da área investigada, essas não devem ser inclusas ou utilizadas junto aos dados amostrados para o território, sob o risco de utilizar valores e/ou representações que não condizem com a realidade do meio físico objeto da pesquisa (Bertoni e Tucci, 2009).

De posse das séries históricas com os dados de precipitação foi realizada a análise de inconsistência dos dados, tendo sido descartadas aquelas com falhas superiores a 10,19% do total de valores que compõem cada série, ou seja, aquela série que tem menos de 388 dados, em um conjunto total de 432 meses. Do universo de 232 séries históricas analisadas resultaram 109 que atendem aos critérios estabelecidos (Figura 3), sendo 77 no território de Mato Grosso e 32 nos estados limítrofes. As informações sobre o número

percentual de falhas e os demais atributos de cada estação pluviométrica utilizadas nesta pesquisa foram sumarizadas no Anexo I.

Figura 3 – Localização das estações pluviométricas na área de estudo.



Fonte – IBGE; ANA, (2020); Organização - Oliveira, J. L de (2023).

Para as séries com dados falhos, mas que atendem aos critérios estabelecidos para o desenvolvimento desta pesquisa, foi feito o preenchimento de falhas com aplicação do método da média aritmética e regressão linear simples (Bertoni e Tucci, 2009; Mello, Kohls, Oliveira, 2017). Dessa maneira, a média foi aplicada em situações, em que, a série histórica de dada estação não tem no seu entorno uma estação vizinha com dados consistentes e sem falhas. De forma geral, a regressão linear (Equação 19) foi o método aplicado em maior proporção para as séries históricas com falhas (ausência) de dados mensais.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X + u \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

Y = a variável dependente (dados falhos);

β_0, β_1 = são os coeficientes de regressão;

X = variáveis independentes;

u = indica o erro residual.

A Regressão linear simples é um método aplicado para estabelecer a relação linear entre duas variáveis que podem ser tratadas como variável independente (X), e variável dependente (Y). As aplicações buscam identificar a reta de melhor ajuste aos dados processados, sendo possível estimar o valor do dado falho e que vai representar a variável dependente com base nos dados existentes da variável independente. Após a correção das falhas de cada série histórica foi realizada a análise de consistência dos dados por meio do teste de dupla massa ((Bertoni e Tucci, 2009; ANA, 2011).

4.1.3 Estatística básica dos dados

De posse dos indicadores de precipitação, segundo os critérios definidos, realizou-se a totalização mensal e anual de cada série histórica que comporão o banco de dados da pesquisa. Foram feitos cálculos dos respectivos totais anuais e mensais, teste de dupla massa e os cálculos de estatística básica: médias simples; medidas de tendência central; medidas de dispersão; e a distribuição de frequência (Andriotti, 2003; Bertoni e Tucci, 2009).

Na planilha contendo os resultados das somas mensais e médias anuais integrou-se as seguintes informações: a localização geográfica, sub-bacia hidrográfica, municípios

e estados. O arquivo extensão *CSV, resultante desse pré-processamento, foi exportado para o SIG, sendo convertido para o formato vetorial, seguido da espacialização dos dados em coordenadas geográficas (WGS 84) e posterior conversão do sistema de coordenadas, para as coordenadas métricas SIRGAS 2000 - Brazil Polyconic (EPSG:5080). Realizado o pré-processamento dos dados no ambiente SIG, foram analisadas as distâncias mínimas e máximas entre estações pluviométricas, considerando as direções Leste-Oeste e Norte-Sul para maiores distâncias.

Continuando o pré-processamento e análise dos dados de precipitação pluvial, o conjunto de informações trabalhadas no SIG foram exportados para a planilha eletrônica (Excel), na qual realizou-se testes de correlação das variáveis x (localização) e y (chuva), a regressão múltipla envolvendo as variáveis dependentes (y) e independentes (x), e a tendência dos dados (Andriotti, 2003; Landim, 2003; Bertoni e Tucci, 2009).

4.1.4 Relação dos dados de precipitação pluvial e a localização geográfica

Aplicações dos dados de precipitação pluvial (média) relacionados a localização geográfica das respectivas estações pluviométricas foram realizadas considerando três situações: a) correlação linear entre as variáveis dependente chuva (y) e a independente localização geográfica (x; y); b) relação de dependência ou influência entre as variáveis x e y, com uso da regressão múltipla; c) análise de tendência ou flutuação dos dados a partir dos resultados obtidos por meio das aplicações utilizando a regressão múltipla.

Diante do exposto, a correlação linear entre as variáveis x e y, busca identificar a paridade existente entre os dados de precipitação pluvial e a localização geográfica. Essa relação traz direcionamento que possibilita o tratamento dos dados para realizar ou não as aplicações com métodos da geoestatística. Nesse sentido, o coeficiente de correlação

linear é representado por r , e apresenta valores que variam de -1 (correlação inversa) a +1 (correlação direta). No Quadro 2 apresenta-se os níveis de correlação linear de acordo com Andriotti (2003), e que podem ser alcançados em uma análise entre variáveis x e y .

Quadro 2 – Níveis de correlação linear a ser considerado entre variáveis x e y .

Correlação Linear	Valor de r
Nula	Zero
Fraca	0-0,3
Regular	0,3-0,6
Forte	0,6-0,9
Muito forte	0,9-1
Perfeita	1

Fonte – Andriotti (2003).

No contexto mencionado, o conhecimento da correlação entre duas variáveis é um passo intermediário na análise dos dados, sendo o coeficiente de correlação r , uma medida de intensidade que pode demonstrar o grau de paridade entre as variáveis x e y . Desse modo, o cálculo da correlação linear pode ser expresso por:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (\text{Equação 20})$$

Onde: x e y representa cada observação e, \bar{x} e \bar{y} as respectivas médias aritméticas.

Quanto a relação de dependência entre as variáveis x e y , essa foi obtida por meio da análise de variância ANOVA, a regressão múltipla e o teste de significância estatística que contempla os valores de precipitação pluvial e a localização (latitude e longitude). As aplicações trazem como resposta uma equação matemática que identifica o grau de dependência entre as variáveis x e y , sendo a chuva definida como variável dependente

(Y) e as coordenadas geográficas (latitude (x) e longitude (y)) a variável independente (X_1). Nas aplicações, as coordenadas são expressas em duas ou mais dimensões de acordo com a Equação 1, que já foi apresentada na página 39 do capítulo 3.

O processamento dos dados com uso da regressão múltipla foi realizado tendo um intervalo de confiança de 95%. Além do intervalo de confiança, realizou-se o Teste F da Equação 1, citada anteriormente, sendo possível verificar se os indicadores estimados por meio dela denota os níveis de dependência e podem explicar a variável dependente Y.

Para um conjunto de dados amostrados que representam determinado fenômeno em um tempo e espaço definidos, os valores podem apresentar tendências ou flutuações em diferentes escalas: local, regional ou global, sendo estas, fatores que infringem alguns preceitos em aplicações com uso da geoestatística. Dessa forma, não existe possibilidades de considerar a estacionaridade do fenômeno representado por aqueles dados amostrados, sendo necessário a remoção da tendência ou flutuação.

A remoção da tendência diz respeito ao terceiro momento de análise entre os dados de precipitação e a localização. Essa remoção pode ser feita por meio de um ajuste polinomial aos dados e, envolve a regressão múltipla entre os valores das variáveis x e y , fazendo uso da Equação 1. De acordo com Landim (2003), a análise de tendência ou flutuação dos dados é concomitante a técnica de análise de superfície de tendência, e tem o objetivo de remover tendências dos dados com uso de equações polinomiais para que o resultado tenha erro mínimo.

No processo mencionado a validade ou acurácia dos procedimentos realizados ocorre por meio do cômputo da soma dos quadrados da variável dependente; soma de quadrados devido a superfície polinomial e, soma de quadrados dos resíduos. Esse processo indica a validade da superfície de tendência calculada por meio das aplicações polinomiais (LANDIM, 2003). De forma geral, essa validação pode ser expressa por:

$$SQT = \sum_{i:1}^n y_i^2 - \left[\frac{(\sum_{i=1}^n y_j)^2}{n} \right] \quad (\text{Equação 21})$$

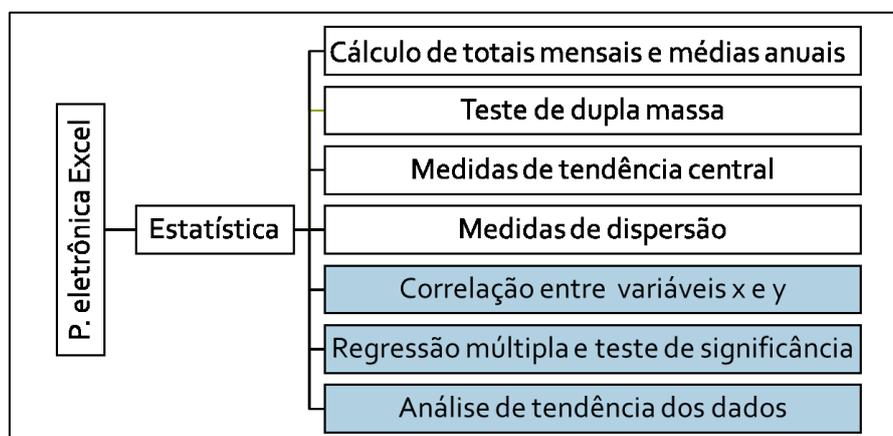
$$SQP = \sum_{i:1}^n y_i^{*2} - \left[\frac{(\sum_{i=1}^n y_j)^{*2}}{n} \right] \quad (\text{Equação 22})$$

$$SQR = SQT - SQP \quad (\text{Equação 23})$$

Onde: y_i são os valores das amostras observadas no ponto i ; e y^* são os valores previsto por meio das aplicações polinomiais no ponto i .

De acordo com contexto apresentado a Figura 4 demonstra os processos realizados nesta pesquisa com métodos da estatística descritiva.

Figura 4 – Processos realizados com métodos da estatística.



Fonte – Oliveira, J. L de (2024).

4.1.5 Modelagens e aplicações com uso da Geoestatística

Os tratamentos e processos realizados para identificar a continuidade espacial das precipitações pluviiais em Mato Grosso foram por meio da geoestatística. Nessa fase de

desenvolvimento da pesquisa os dados foram processados com ferramentas do software GS+, que envolveu aplicações e modelagens com o semivariograma e a interpolação com a krigagem ordinária. De acordo com Andriotti (2003), as aplicações que envolvem a geoestatística não ocorre de forma integrada, direta, sendo necessário ao fim de cada etapa selecionar e interpretar os resultados obtidos. Vale ressaltar que os recursos aplicados não criam dados, apenas tratam das informações disponíveis.

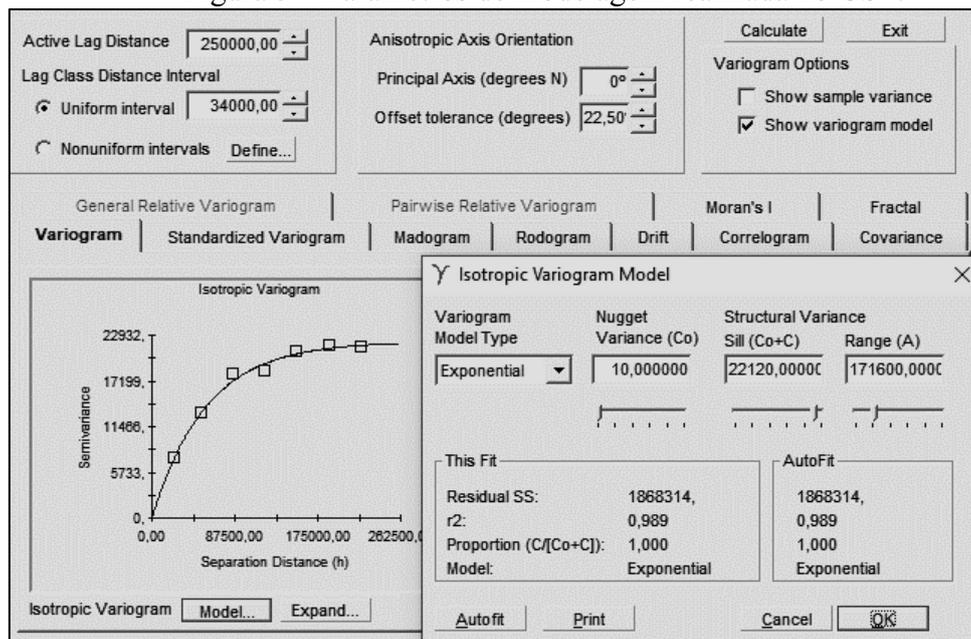
O semivariograma é uma função que possibilita analisar um conjunto de amostras de variáveis regionalizadas. Nesse caso, a precipitação pluvial distribuída espacialmente em uma malha de pontos irregulares considerando a distância (h) entre pares amostrados no território por meio da localização geográfica (x e y), e a semivariância (γ), o uso dessa função tem por pressuposto identificar a variância do fenômeno pesquisado com relação a própria distância (h). É uma função crescente de um ponto “a” até um ponto “b”, sendo denominada como amplitude ou alcance (a). A função e a estrutura do semivariograma estão descritos no item 3.4.1 do capítulo 3.

Dentro do contexto apresentado, os dados de precipitação pluvial (média anual), junto a localização das estações foram modelados considerando diferentes distâncias (*lag distance*), sendo a distância máxima de 870 km, e a distância mínima de 200 km, com intervalo máximo (*uniform interval*) de 60 km, e intervalo mínimo de 20 km. É observado que as modelagens foram realizadas em dois cenários, com uso dos mesmos parâmetros para os dados sem tendência e os resíduos. Assim, foram processadas 11 modelagens (semivariogramas experimentais) em 79 cenários que constam nos anexos II e III.

No processo mencionado, o conjunto de dados é plotado em um gráfico cartesiano, sendo que, no eixo das abscissas é determinado a distância (h), ou seja, a continuidade espacial do fenômeno e, no eixo das ordenadas é destacado os valores da semivariância γ (h). Quanto ao tipo de modelo teórico (gaussiano, esférico e/ou exponencial), o mesmo

foi definido de forma automática no *software* GS+, segundo a malha de pontos amostrada para a área de estudo. A Figura 5 apresenta os parâmetros de uma modelagem (modelo exponencial) envolvendo a distância (h) e a semivariância $\gamma(h)$ para um conjunto de dados modelados no GS+.

Figura 5 – Parâmetros de modelagem realizada no GS+.



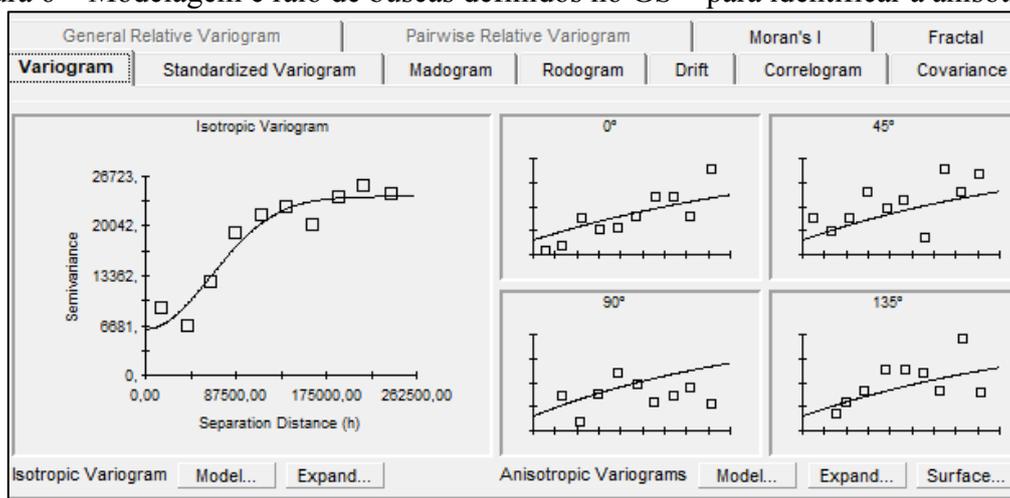
Fonte – Oliveira, J. L. de (2023).

Além da continuidade espacial do fenômeno, foi analisado também a anisotropia que demonstra a direção preferencial das chuvas no território. Sendo assim, as aplicações com o semivariograma possibilitaram respostas sobre a direção preferencial ou não da variável. Esse processo é realizado automaticamente no GS+, onde demonstra a isotropia ou a anisotropia, considerando diferentes ângulos (raio) frente a malha de pontos amostrados para o território e a localização espacial destes. Nesse processo os ângulos de busca foram: 0°, 45°, 90° e 135°, com um ângulo de tolerância de 22,5° (Figura 6).

Os parâmetros aplicados para as modelagens supracitadas têm como referências o conjunto de dados tabulados na planilha eletrônica (Excel) e os processos realizados em

primeiro momento no ambiente SIG (QGIS). A distância foi analisada com ferramentas SIG, a direção preferencial e o modelo teórico foram definidos de forma automática no GS+. As coordenadas são as mesmas constantes no banco de dados da pesquisa.

Figura 6 – Modelagem e raio de buscas definidos no GS + para identificar a anisotropia.



Fonte - Oliveira, J. L. de (2023).

Quanto a krigagem, esse é um método de interpolação que permite estimar valores para locais não amostrados por meio dos valores observados, desde que o conjunto de dados atenda aos preceitos da geoestatística. Andriotti (2003) observa que o estimador da krigagem é do tipo BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), classificado como o melhor estimador de dados não enviesados e que produz as estimativas com erro mínimo. Quando as estimativas forem não enviesadas, elas assumem a condição de universalidade, onde a soma dos pesos dadas às amostras é igual a 1, sendo está expressa por:

$$E [Z_k^*] = E[Z], \text{ onde } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (\text{Equação 24})$$

E; é a soma das distâncias entre os pares de dados que é igual a 0:

$$E \{Z - Z_k^*\} = 0 \quad (\text{Equação 25})$$

Considerando que a variância da estimativa é mínima, esta obedece à condição ótima e pode ser expressa por:

$$\sigma_k^2 = E [(Z - Z_k^*)^2] \quad (\text{Equação 26})$$

Vale destacar que a estimativa de valores com uso da krigagem pode ser realizada por diferentes técnicas de krigagem: krigagem simples, krigagem ordinária (normal), krigagem universal e krigagem indicativa. Devido os objetivos desta pesquisa para o estado de Mato Grosso, e o conjunto de dados que representam as precipitações pluviiais para o Estado, na interpolação dos dados utilizou-se o método de krigagem ordinária. Esse é um dos métodos mais utilizado nas ciências da terra, tendo em vista a simplicidade das aplicações e os resultados que proporciona (Yamamoto e Landim, 2013).

As aplicações com a krigagem ordinária são realizadas considerando as diferenças ao quadrado entre as posições dos dados (pontos) amostrados, sendo estas, os valores ótimos que foram identificados nas modelagens do semivariograma experimental. Desse modo, a fórmula para a estimação de qualquer ponto $Z_{x_0}^*$, é tida por meio de uma combinação linear dos 'n' pontos em análise, com a diferença da necessidade da adição de um parâmetro λ_0 , sendo esse expresso por:

$$\lambda_0 = 0 \text{ e } \sum_{i=1}^N \lambda_1 = 1 \quad (\text{Equação 27})$$

Levando em consideração que o estimador não seja enviesado, a condição deve ser verdadeira, sendo dado por:

$$E[Z_{x_0} - Z_{x_0}^*] = 0 \quad (\text{Equação 28})$$

A partir disso, o estimador da Krigagem Ordinária é:

$$Z_{x_0}^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (\text{Equação 29})$$

Buscando minimizar a variância dos erros $VAR [Z_{x_0} - Z_{x_0}^*]$, sob a condição de $\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$, os pesos λ são obtidos a partir de um sistema de equações denominado sistema de krigagem ordinária conforme a Equação 30.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \alpha = \gamma(x_i, x_0) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad \text{para } i = 1 \dots n \quad (\text{Equação 30})$$

Onde:

$\gamma(x_1, x_j)$ e $\gamma(x_1, x_0)$ = semivariância entre os pontos x_1, x_j , e x_1, x_0 ;

α = o multiplicador de Lagrange, necessário para minimizar o erro da variância.

Dessa forma, a variância da krigagem ordinária $\sigma_{k_0}^2$, corresponde à minimização da variância do erro e pode ser expressa por:

$$\sigma_{k_0}^2 = VAR [Z_{x_0} - Z_{x_0}^*] = y - \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_0) - a \quad (\text{Equação 31})$$

Dessa maneira, quanto menor o valor da variância da krigagem ordinária, mais confiável são as estimativas geradas por este interpolador. A operacionalização do processo de krigagem ordinária pode ser representada por um sistema matricial e, os

ponderadores λ_j são obtidos por meio de um conjunto de equações lineares do tipo $ax + b$, que compõem o sistema da krigagem, podendo ser expresso por:

$$K * \lambda = k \gg \lambda = K^{-1} * k \quad (\text{Equação 32})$$

Onde:

K e k = representam matrizes das covariâncias (ou variograma);

λ = o vetor de pesos.

Desse modo, considerando os parâmetros da modelagem, tem-se a matriz:

$$K = \begin{vmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \gamma(x_1, x_2) & \dots & \gamma(x_1, x_n) & 1 \\ \gamma(x_2, x_1) & \gamma(x_2, x_2) & \dots & \gamma(x_2, x_n) & 1 \\ & \square & & \square & \square \\ \gamma(x_n, x_1) & \gamma(x_n, x_2) & \dots & \gamma(x_n, x_n) & 1 \\ & 1 & & 1 & 0 \end{vmatrix}, \lambda = \begin{vmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \square \\ \lambda_n \\ \mu \end{vmatrix}, k = \begin{vmatrix} \gamma(x_1, x_0) \\ \gamma(x_2, x_0) \\ \square \\ \gamma(x_n, x_0) \\ 1 \end{vmatrix} \quad (\text{Equação 33})$$

Nesta pesquisa os processos de krigagem ordinária foram realizados no GS+, com aplicações dos parâmetros ótimos determinados a partir do semivariograma experimental. No processo de krigagem ordinária foram ainda calibrados os intervalos (*Interval*) de representação pixel a pixel, sendo estes de 5.000 m para os eixos nas direções x e y, com uma malha de pontos (*Points (n)*) de 276 pontos no eixo x e 255 pontos no eixo y. Esses englobam no mínimo 8 vizinhos próximos (*Max Neighbors*), com raio (*Radios*) máximo de 870 km, sendo está a distância máxima definida para a malha de pontos amostrados.

4.1.6 Validação dos processos e modelagens

A validação dos processos e modelagens que foram realizados para o conjunto de dados que representam a precipitações pluviais no Estado de Mato Grosso, de acordo com

o conjunto de dados amostrado para o território. Essa validação foi feita em momentos distintos a depender da aplicação ou modelo executado. Dessa forma, são destacados os métodos aplicados: Índice de Dependência Espacial (IDE) e a validação cruzada.

O IDE é um método que identifica o nível de dependência espacial entre os valores amostrados com base na localização e que foram modelados nos semivariogramas. Possui como parâmetro a relação entre o efeito pepita (C_0) e o efeito pepita mais o patamar ($C_0 + C$). Esse tipo de análise é utilizado aceito na literatura, sendo descrito e aplicado de início por Cambardella et al. (1994), e pode ser expresso por:

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C} * 100 \quad \text{Equação (34)}$$

Sendo que:

IDE \geq 25% - representa forte dependência espacial;

IDE entre 25% e 75% - representa moderada dependência espacial;

IDE \leq 75% - representa fraca dependência espacial;

IDE =100% - representa variável independente espacialmente (efeito pepita puro).

Quanto a validação cruzada, essa é a forma de avaliar o resultado das modelagens sem a presença de viés, indicando se o modelo obtido por meio do semivariograma está bem ajustado aos dados amostrados. A técnica é aplicada também para a análise de igualdade e diferença entre os valores observados e os valores estimados. Os resultados alcançados por meio da validação cruzada não demonstram se um modelo e/ou aplicação está certo ou errado, somente mostra que o modelo não é grosseiramente incorreto de acordo com Andriotti (2003).

A aplicação do método consiste na eliminação de um valor qualquer do banco de dados, sendo esse escolhido de forma aleatória. Nesse sentido, realiza-se a estimação com o conjunto de dados restantes, seguido do cálculo do erro de estimação para o resultado

alcançado conforme exemplo apresentado no Quadro 3. Esse processo tem uma repetição para todos os valores com a estimação dos mesmos para verificar o nível de erro, ou seja, é a diferença entre o valor amostrado e o valor estimado para o mesmo lugar (Webstter e Oliver, 2001; Landim, 2003).

Quadro 3- Exemplos do processo de validação cruzada

Amostras	Estimar e validar			Espacialização		Amostras	Estimar e validar			Espacialização	
	*D. Remov.	*D. Estima.	Erro	X	Y		*D. Remov.	*D. Estima.	Erro	X	Y
2165		2157	-8	4349146	9199139	1558	1558	1558	0	5416381	8977380
2749	2749	2749	0	4266265	9197935	1502	1502	1502	0	5439288	8894771
1886	1886	1886	0	5488948	9023725	1747		1717	-30	5315435	8890678
2490	2490	2490	0	4876651	9094473	2255	2255	2255	0	4902764	8914080
2251	2251	2251	0	4114129	9002579	2173	2173	2173	0	4124440	8919132

*D. Geral = Dado amostrado; *D. Remov. = Dado removido; D. Estima = Dados estimado

Fonte – Oliveira, J. L de (2024).

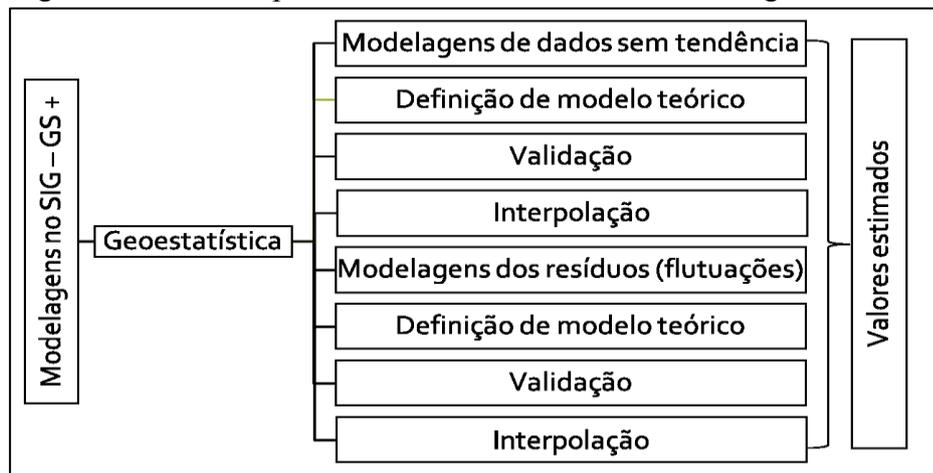
Nesta pesquisa, a validação por meio de IDE foi realizado para aqueles modelos que apresentaram os melhores resultados por meio das modelagens realizadas como os semivariogramas experimentais. Já os processos de validação cruzada foram realizados de forma automática por meio de ferramentas do GS+, para os mesmos modelos avaliados anteriormente com o IDE, segundo parâmetros previamente definidos: a direção; alcance; intervalo; o número de pontos; o raio de busca e vizinhos próximos (semivariogramas experimentais).

4.2 Processamento e análise de dados estimados

A partir dos resultados alcançados por meio das aplicações e modelagens com uso da geoestatística (Figura 7) no software GS+, o arquivo matricial gerado foi exportado para o SIG (QGIS), com a fixação do sistema de coordenadas métricas (SIRGAS 2000 - Brazil Polyconic), tendo em vista que no GS+ as coordenadas ficam oculto no produto

gerado. Esse foi o procedimento inicial para transformar os dados estimados (matricial) em valores numéricos que foram processados em planilha eletrônica, obtendo assim os dados estimados de precipitação (média anual) para os locais não amostrados.

Figura 7 – Fluxo de processos realizados com métodos da geoestatística.



Fonte – Oliveira, J. L de (2024).

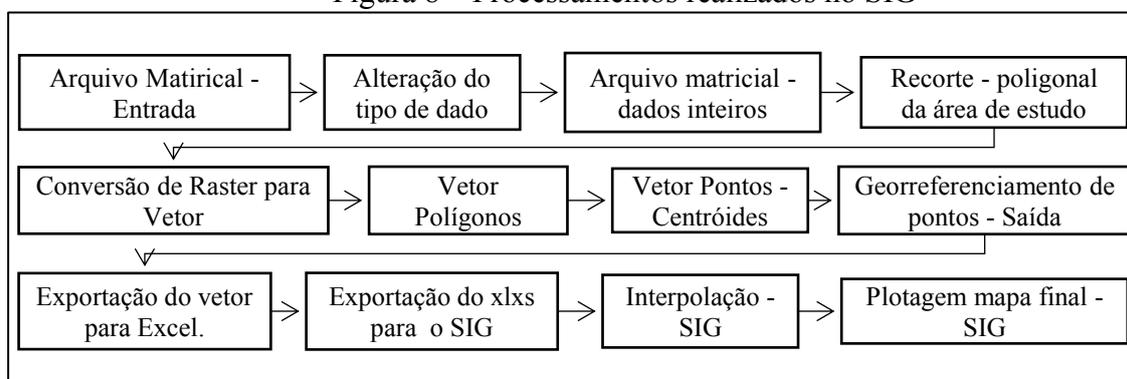
Dessa forma, o processo foi realizado a partir de rotinas no QGIS que envolveram a conversão e transformação dos arquivos. Sendo que, o arquivo matricial gerado no GS+ foi classificado como arquivo de entrada e deu origem a um arquivo vetorial (*Shapfile*), classificado como arquivo de saída. Este último arquivo guarda as mesmas informações das células (*pixels*) do arquivo matricial, visto os parâmetros definidos para a interpolação (item 4.1.5). Dando prosseguimento aos processos, foi realizada a extração dos centróides de cada célula, estes representam os valores médios estimados, ou seja, da média anual de chuvas para o período analisado na área de estudo.

A partir dos processos mencionados foi possível analisar os metadados por meio da tabela de atributos, na qual constam informações com os índices estimados (z^*) para toda a área, tendo como material de origem o conjunto de dados amostrados das estações pluviométricas do estado de Mato Grosso e estados limítrofes. Os resultados alcançados

possibilitaram a leitura e a espacialização dos dados estimados por meio da localização geográfica de cada ponto, sendo essa convertida para um sistema de coordenadas métrico contendo a latitude (x) e longitude (y).

O arquivo com valores estimados e especializados foi exportado para uma planilha eletrônica, onde os dados estimados foram processados com uso da equação matemática obtida por meio da regressão múltipla (Equação 1). Sendo assim, foram incorporados aos valores estimados a tendência antes removida, ou seja, as mesmas características daqueles dados amostrados. Dessa maneira, foram processados a partir dos valores estimados, os índices de precipitação média anual para municípios que não tem estação pluviométrica e conseqüentemente não tem dados de precipitação média para o período estudado (1985 a 2020). A Figura 8 apresenta os processos realizados no QGIS.

Figura 8 – Processamentos realizados no SIG



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Nesta pesquisa, o processo de devolução das tendências foi necessário tendo em vista que os valores observados trazem consigo essas características que foram removidas na preparação dos dados para aplicação dos métodos da geoestatística, sendo necessário devolvê-las aos valores estimados no final do processo. Desse modo, os valores estimados para a área de estudo devem se aproximar dos valores amostrados no território, tendo em vista o número de estações pluviométricas e suas séries históricas que foram utilizadas

nesta pesquisa. É válido observar que os dados de precipitação média anual que foram estimados, leva em consideração um erro médio de acordo com a Equação 1.

4.3 Análise dos dados de precipitação pluvial em diferentes cenários

A análise das precipitações pluviais para os diferentes cenários no período de 1985 a 2020, está relacionada as tendências das chuvas. Assim, as séries históricas do banco de dados desta pesquisa foram divididas em três conjuntos, compondo três cenários. Definiu-se este critério considerando o período total de 36 anos (cenário geral), que foi dividido em intervalos de tempo iguais de 12 anos. Dessa forma, os cenários foram: a) cenário I, período de 1985 a 1996; b) cenário II, período de 1997 a 2008; c) cenário III, período de 2009 a 2020. Sendo estes analisados por meio dos dados com tendência e sem tendência.

Os conjuntos de dados que representaram os intervalos de tempos menores (12 anos), foram formatados e receberam o mesmo tratamento estatístico aplicados no banco de dados geral da pesquisa (1985 a 2020). Dessa forma, analisou-se os indicadores das chuvas por estação em períodos diferentes, ou seja, considerando os cenários citados existem indicadores semelhantes na mesma estação, ou esses mudam de acordo com os intervalos de tempo definido (12 anos)? Caso sim, essa estação pode influenciar na tendência geral das precipitações pluviais para o período estudado (36 anos).

Em segundo momento, os resultados obtidos para cada cenário de 12 anos, foram cruzados com os resultados do cenário geral (36 anos). A representação desses processos foi realizada por meio de gráficos individuais para cada cenário, seguido do cruzamento dos resultados para identificar proximidade ou distanciamento entre os referidos cenários (I, II e III) e o cenário geral. Os resultados obtidos demonstram a existência ou não de mudanças na média anual das precipitações ao longo do tempo no Estado de Mato Grosso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística descritiva dos dados

A estatística descritiva dos dados diz respeito a tomada de conhecimento sobre os valores que compõem as séries históricas e suas nuances. É o ponto de partida em favor de obter respostas aos objetivos da pesquisa. Após o levantamento dos dados por meio da plataforma Hidroweb da ANA, e obtendo séries temporais de 232 estações pluviométricas do Estado de Mato Grosso e estados limítrofes. Foram verificadas quais séries obedeciam aos critérios da OMM, ou seja, séries históricas com tempo mínimo de 30 anos (Ayoade, 2010), bem como aquelas que apresentam no máximo 10,19% de falhas em seus dados.

Frente aos critérios apresentados, cada série histórica foi analisada considerando os dados de chuvas mensais, soma e média anual (valores brutos e valores consistidos). Os valores brutos dizem respeito aos registros gerais que compõem as séries históricas no período investigado. Os valores consistidos são aqueles que passaram por algum tipo de correção realizada por técnicos da ANA. Cabe destacar que o conjunto de dados consistidos representaram um intervalo de tempo menor, em período correspondente de 1985 a 2014, sendo que, nem toda série passou por o processo de consistência dos dados.

Considerando os critérios mencionados, do conjunto total de dados das estações pluviométricas baixadas do Hidroweb, restaram 109 estações conforme o Quadro 4. Dessa forma, a série histórica de cada estação foi tabulada seguido de análise da média aritmética e da regressão linear para corrigir as falhas existentes. São métodos aplicados em pesquisas que envolvem séries de dados temporais de variáveis climáticas a exemplo da precipitação pluvial, de acordo com: Bertoni e Tucci, (2009); Nascimento et al. (2010); Sanches et al. (2016); Mello, Kohls e Oliveira (2017).

Quadro 4 – Identificação das estações pluviométricas na área de estudo (Continua).

Estado	Município	S. Bacia	Código	Longitude	Latitude	Altitude
AM	NOVO ARIPUANÃ	15	759000	4349146	9199139	147
AM	APUÍ	15	760000	4266265	9197935	107
AM	APUÍ	15	760001	4274304	9142355	60
TO	ARAGUACEMA	27	849002	5488948	9023725	203
PA	ITAITUBA	17	855000	4876651	9094473	-
RO	MACHADINO D'OESTE	15	862000	4114129	9002579	96
PA	SANTANA DO ARAGUAIA	27	950001	5416381	8977380	195
TO	PIUM	26	950002	5439288	8894771	240
MT	VILA RICA	26	951000	5315435	8890678	222
MT	GUARANTÃ DO NORTE	17	954001	4902764	8914080	297
RO	MACHADINO D'OESTE	15	961003	4124440	8919132	-
MT	LUCIARA	26	1050000	5363800	8757233	182
TO	SANTA TERISINHA	26	1050002	5381808	8841033	207
MT	PORTO ALEGRE DO NORTE	26	1051001	5259063	8797211	202
MT	SÃO JOSÉ DO XINGU	18	1052000	5137122	8804577	337
MT	CARLINDA	17	1055001	4827926	8881288	254
MT	COLÍDER	17	1055002	4841579	8805435	313
MT	NOVA MONTE VERDE	17	1057001	4656438	8898976	262
MT	COTRIGUAÇU	17	1058002	4533964	8907072	220
MT	JURUENA	17	1058003	4506935	8856112	219
MT	CASTANHEIRA	17	1058004	4474786	8797739	326
MT	ARIPUANÃ	15	1058005	4467310	8824881	385
MT	ARIPUANÃ	15	1059000	4402634	8869737	242
MT	SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA	26	1150001	5363956	8712847	195
MT	ALTO BOA VISTA	26	1151000	5286052	8707573	235
MT	SANTA CARMEM	18	1154001	4891281	8680556	299
MT	SINOP	17	1155000	4814359	8710953	298
MT	TABAPORÃ	17	1156000	4734502	8730269	346
MT	PORTO DOS GAÚCHOS	17	1156001	4842066	8706650	358
MT	JUARA	17	1157001	4617105	8753256	288
MT	JUÍNA	17	1158001	4526446	8742214	250
MT	JUÍNA	17	1158002	4485060	8734202	356
MT	BRASNORTE	17	1158003	4558808	8700970	257
RO	PIMENTA BUENO	15	1160000	4253592	8661927	-
RO	PIMENTA BUENO	15	1160002	4251468	8691557	185
TO	ARAGUAÇU	26	1249001	5452551	8566226	295
GO	SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA	26	1250000	5397748	8579314	254
MT	NOVO SANTO ANTÔNIO	26	1250001	5330094	8638943	205
MT	BOM JESUS DO ARAGUAIA	18	1251000	5250653	8653693	339
MT	RIBEIRÃO CASCALHEIRA	18	1251001	5235858	8567956	391
MT	BRASNORTE	17	1257000	4564563	8656850	316
GO	SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA	26	1350002	5411742	8522787	353
MT	COCALINHO	26	1351000	5248499	8440697	321
MT	CANARANA	18	1352001	5167329	8506938	378
MT	CANARANA	18	1352002	5213454	8483391	232
MT	CAMPINÁPOLIS	18	1353001	5081981	8469012	351
MT	PARANATINGA	18	1354000	4969559	8512672	430
MT	SORRISO	17	1355001	4855864	8500342	352
MT	NOVA MUTUM	17	1356002	4770549	8471046	471
MT	NOVA MARINGÁ	17	1357000	4662349	8552901	316

Quadro 4 – Identificação das estações pluviométricas na área de estudo (Continua).

Estado	Município	S. Bacia	Código	Longitude	Latitude	Altitude
MT	CAMPO NOVO DO PARECIS	17	1358001	4535939	8487234	547
MT	SAPEZAL	17	1358002	4461351	8505215	547
MT	COMODORO	17	1359000	4362970	8534586	600
MT	COMODORO	17	1359001	4376380	8468734	548
RO	COLORADO DO OESTE	15	1360000	4290015	8540449	-
RO	CEREJEIRAS	15	1360001	4260454	8530474	-
RO	PIMENTEIRAS DO OESTE	15	1360002	4237172	8498284	-
GO	NAVA CRIXÁS	25	1450000	5352713	8412342	200
GO	MOZARLÂNDIA	25	1450001	5368548	8366823	400
GO	NOVA CRIXÁS	25	1450002	5395999	8437813	309
GO	ARUANÃ	25	1451000	5313843	8346974	200
MT	NOVA XAVANTINA	26	1452000	5177216	8376634	263
MT	ÁGUA BOA	18	1452004	5199765	8442418	430
MT	PARANATINGA	18	1453000	5000150	8383948	549
MT	PARANATINGA	17	1454000	4994668	8405430	484
MT	ROSÁRIO OESTE	66	1455008	4800352	8357456	203
MT	ARENÁPOLIS	66	1456001	4692746	8397805	268
MT	NORTELÂNDIA	66	1456003	4696584	8399883	217
MT	TANGARÁ DA SERRA	66	1457000	4594513	8354129	212
MT	BARRA DO BUGRES	66	1457001	4626334	8378847	380
MT	DIAMANTINO	17	1457003	4621447	8428532	620
MT	TANGARÁ DA SERRA	17	1458002	4543332	8404957	605
GO	BRITÂNIA	25	1551000	5304728	8311796	297
GO	ARAGARÇAS	24	1551002	5229860	8241350	299
MT	GENERAL CARNEIRO	24	1552001	5133506	8261931	366
MT	BARRA DO GARÇAS	26	1552002	5101486	8313097	438
MT	BARRA DO GARÇAS	24	1552006	5189524	8336320	291
MT	PRIMAVERA DO LESTE	26	1554005	4981117	8306179	551
MT	JACIARA	66	1554006	4896350	8231345	252
MT	CAMPO VERDE	26	1555005	4858393	8248047	797
MT	CHAPADA DOS GUIMARÃES	66	1555008	4812949	8314507	442
MT	CUIABÁ	66	1556000	4760388	8300494	240
MT	NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO	66	1556001	4748223	8253974	225
MT	BARRA DO BUGRES	66	1557001	4657855	8330056	156
MT	PONTES E LACERDA	15	1559000	4425236	8309159	236
MT	VILA BELA DA SANTÍSSIMA TRINDADE	15	1559006	4360265	8331518	209
MT	VILA BELA DA SANTÍSSIMA TRINDADE	15	1560000	4352598	8287669	151
GO	BOM JARDIM DE GOIÁS	24	1652000	5195815	8206333	402
MT	TORIXORÉU	24	1652002	5155042	8207524	307
GO	DOVERLÂNDIA	24	1652003	5179039	8149737	500
MT	TESOURO	24	1653000	5048028	8221821	399
MT	GUIRATINGA	24	1653002	5025554	8191303	485
MT	ALTO GARÇAS	24	1653004	5049678	8125813	564
MT	ARAGUAINHA	24	1653005	5058284	8156256	546
MT	RONDONÓPOLIS	66	1654000	4929941	8178109	220
MT	PEDRA PRETA	66	1654001	4971614	8155764	305
MT	PEDRA PRETA	66	1654004	4956512	8137017	287
MT	GUIRATINGA	66	1654005	4984036	8187070	-
MT	BARÃO DE MELGAÇO	66	1655002	4791993	8207947	-
MT	POCONÉ	66	1656004	4719661	8123995	-

Quadro 4 – Identificação das estações pluviométricas na área de estudo (Conclui).

Estado	Município	S. Bacia	Código	Longitude	Latitude	Altitude
GO	MINEIROS	24	1752002	5107860	8043159	-
MT	ITIQUEIRA	66	1754000	4985109	8096693	-
GO	ALTO ARAGUAIA	24	1753000	5082985	8086323	-
MT	BARÃO DE MELGAÇO	66	1756000	4724767	8111538	-
GO	CHAPADÃO DO CÉU	60	1852001	5155645	7963372	715
MS	CHAPADÃO DO SUL	60	1852003	5148320	7931874	721
MT	ALTO TAQUARI	24	1853000	5075390	8029781	-
MS	CORUMBÁ	63	1853004	5091289	7948233	635
MS	RIO VERDE DE MATO GROSSO	66	1854006	4938981	7928086	223

Fonte – ANA – IBGE (2020); Organização: Oliveira, J. L de (2023).

O Quadro 5 apresenta os percentuais de falhas existentes nas estações (séries) de forma geral. O anexo I apresenta o número e percentual de falhas e as correções para cada série histórica. Após a correção, realizou-se o processamento dos dados dessas séries em bloco único (planilha compilada). Nesta fase foi realizada a descrição dos dados; identificada a média mensal; média anual; a consistência dos dados (ANA, 2011); a distribuição de frequência; análise de correlação e a relação das variáveis dependente y (chuva) e independente x (localização) utilizando a regressão múltipla (Andriotti, 2003).

Quadro 5 – Percentuais de falhas mensais de cada série histórica analisada.

Intervalos	Percentual de falhas	Número de falhas	Quantidade de estações	Percentual do banco de dados
	0%	0	4	3,67%
	0,23% a 3,01%	1 a 13	38	34,86%
	3,24% a 5,32%	14 a 23	31	28,44%
	5,56% a 8,33%	24 a 36	25	22,94%
	8,56% a 10,19%	37 a 44	11	10,09%
Total			109	100%

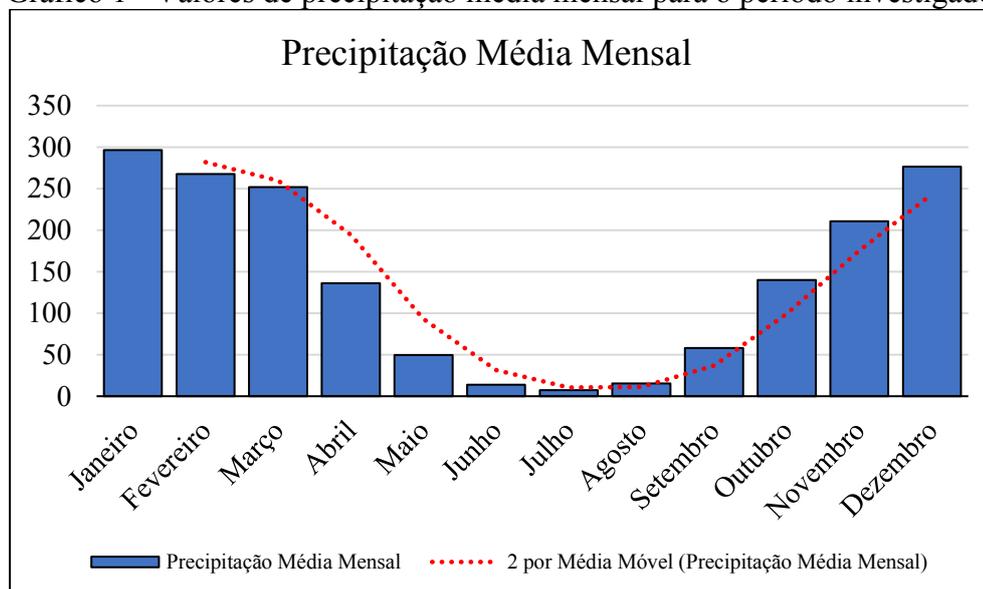
Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Do total de 109 estações, 66,97% das séries históricas amostradas têm falhas que correspondem ao máximo de 5,32% dos dados, ou seja, no universo de 432 dados que formam cada série histórica, existe a ausência máxima de 23 dados. Logo, 33,03% das séries têm ausência de dados com falhas que variam de 24 a 44, e representam percentuais

entre 5,56% a 10,19%. Das 109 estações utilizadas neste estudo, a estação Rosário Oeste (1455008) apresentou o maior número de falhas mensais. A existência de poucas séries históricas de precipitação pluvial sem de falhas (3,67%) e com dados consistentes, foi um dos gargalos para o desenvolvimento desta pesquisa.

Quanto a distribuição dos totais médios mensais de precipitações pluviais, esses foram calculados levando em consideração a soma dos índices precipitados de cada mês para o período de 36 anos (1985 a 2020). Dessa forma, obteve-se os valores médios das precipitações dos meses de janeiro a dezembro por meio da média móvel de dois períodos (Gráfico 1). Vale destacar que os valores das precipitações médias mensais de novembro a março variam de 136,2 a 296,7 mm, sinalizam a época de ocorrência da estação chuvosa na área de estudo.

Gráfico 1 - Valores de precipitação média mensal para o período investigado.



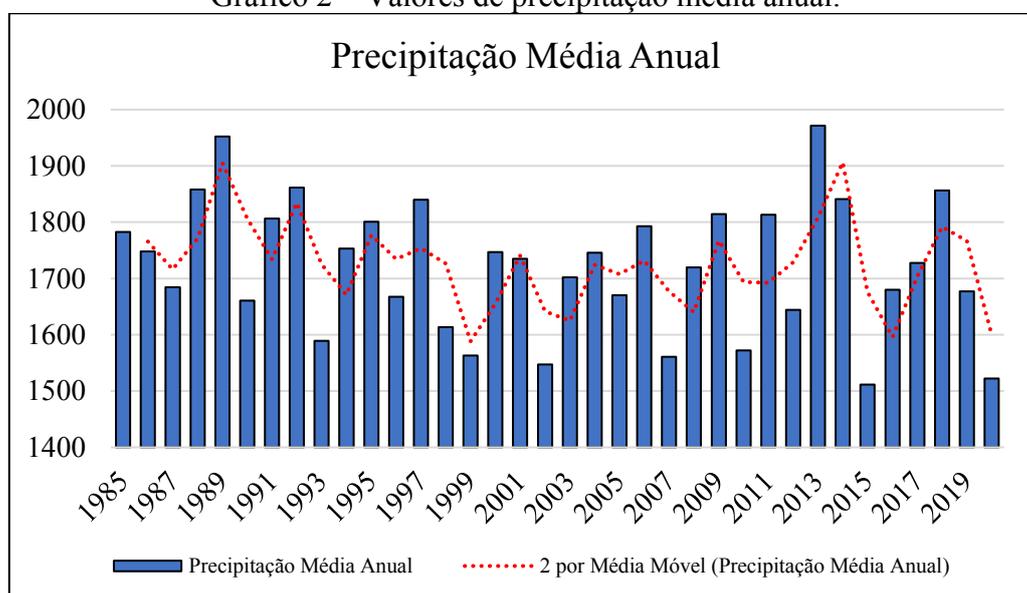
Fonte - ANA (2020); Organização - Oliveira, J. L de (2024).

Da mesma maneira, é observado que os meses de junho, julho e agosto, indicam o período de menor precipitação pluvial e integram a estação de estiagem que é definida entre os meses de maio a setembro, com destaque para o mês de julho que apresentou o

menor índice médio de precipitação no período (7,1 mm). De forma geral, segundo os resultados alcançados, existe a ocorrência de chuvas em todos os meses do ano na área de estudo, considerando os dados totais das 109 estações amostradas no território, de forma integrada sem subdivisões em bacias, regiões hidrográficas e/ou biomas.

Quanto a distribuição das médias anuais das precipitações na área de influência do Estado de Mato Grosso, essas foram alcançados a partir da soma dos índices mensais para o período de 36 anos (Gráfico 2). Desse modo, foi obtida a altura pluviométrica anual no intervalo de tempo de 1985 a 2020. Os resultados apresentam os anos com maiores e menores índices precipitados, onde se destacaram os anos de 2013, que teve média de 1.971,6 mm, valor máximo das séries analisadas, e 2015, com média de 1.511,4 mm, sendo este o menor valor observado.

Gráfico 2 – Valores de precipitação média anual.



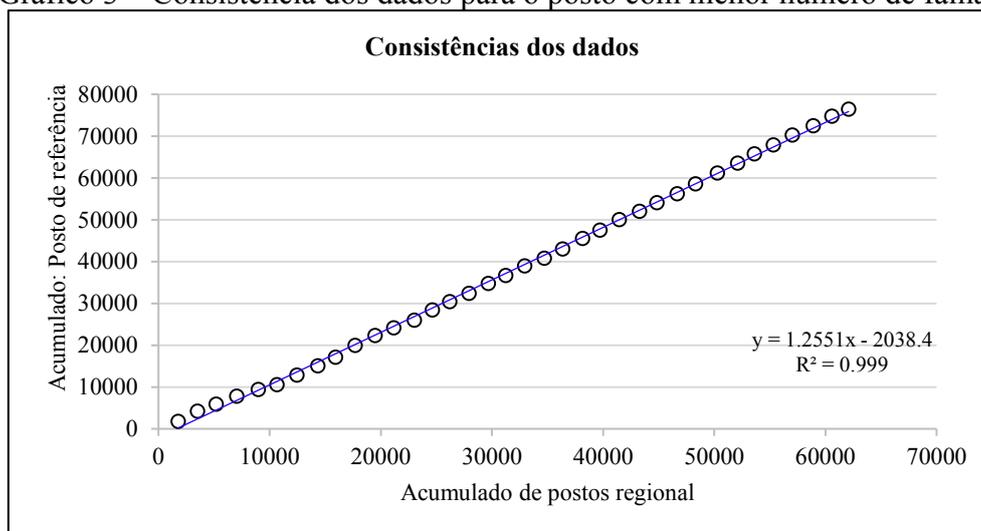
Fonte - ANA (2020); Organização - Oliveira, J. L de (2024).

Os valores apresentados no Gráfico 2 dizem respeito a altura pluviométrica de cada ano, considerando à média móvel em dois períodos. Essa não deve ser entendida como a média ou altura pluviométrica para o período total de 36 anos das séries históricas

que compõem o banco de dados desta pesquisa. Tal situação será destacada no decorrer do trabalho.

Quanto a análise de consistência dos dados, essa foi realizada com o uso do teste de dupla massa (ANA, 2011). Nesse processo, o conjunto de dados foi plotado em gráfico cartesiano, sendo que, os valores médios das precipitações pluviiais de um posto confiável e com menor número de falhas são acumulados e comparados ao acumulado médio dos demais postos da região, eixos das ordenadas e abscissas respectivamente (Gráfico 3). Dessa forma, a disposição dos pontos na reta indica a consistência para o conjunto de dados utilizados no desenvolvimento desta pesquisa.

Gráfico 3 – Consistência dos dados para o posto com menor número de falhas.



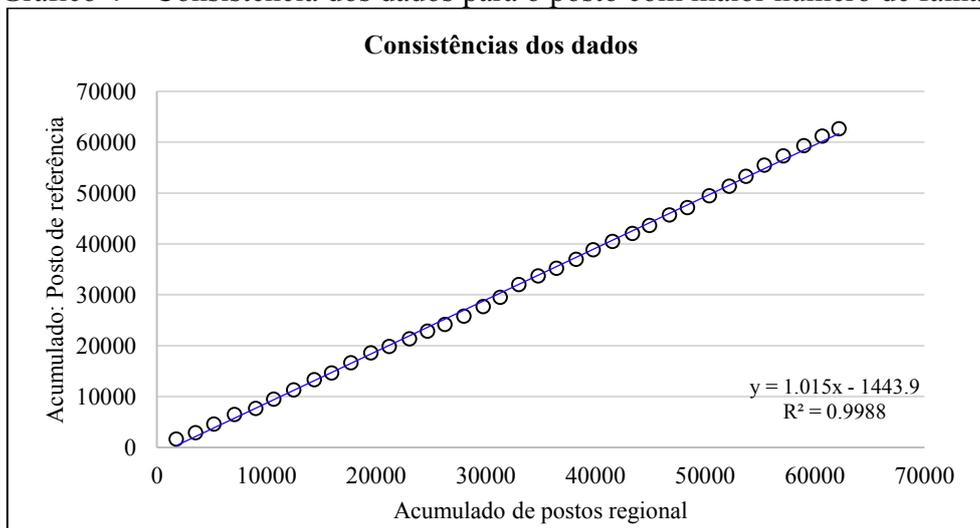
Fonte – ANA (2020); Organização - Oliveira, J. L de (2023).

O resultado da consistência entre o posto com menor número de falhas e os demais postos da região, não apresentou inconstância com quebra ou curvas acentuadas na linha gráfica traçada (Gráfico 3). Bertoni e Tucci (2004) citam a análise de consistência como fator de compreensão do grau de homogeneidade entre um conjunto de dados analisados. De acordo com os autores supracitados, o não alinhamento dos pontos na linha traçada demonstra a presença de valores anômalos ou fatores desconhecidos que influenciam o

comportamento do fenômeno estudado e evidenciam regimes pluviométricos diferentes para uma dada região ou lugar amostrado.

Além da consistência relacionada ao posto com menor número de falhas, realizou-se também a análise de consistência para o posto com maior número de falhas (Gráfico 4), e que foram preenchidas por meio da média e regressão linear. Dessa maneira, a análise visual dos Gráficos 3 e 4 contribuem para identificar possíveis discrepâncias entre as séries com maior número de dados falhos e que foram corrigidos e, aquelas com menor número de dados falhos e que integram o banco de dados desta pesquisa.

Gráfico 4 – Consistência dos dados para o posto com maior número de falhas.



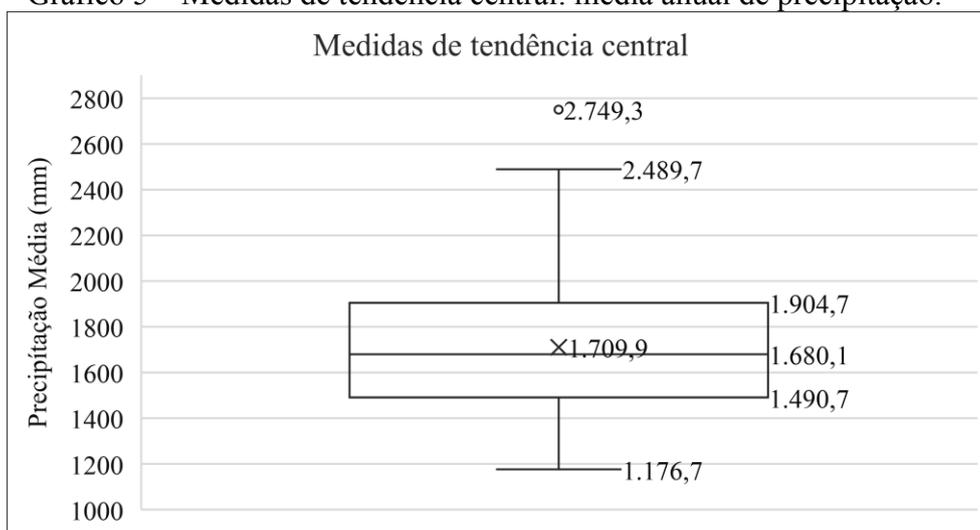
Fonte – ANA (2020); Organização - Oliveira, J. L de (2023).

Ainda no contexto citado, a análise de consistência do posto com maior número de dados falhos e demais postos amostrados (Gráfico 4) não apresentou inconsistência para o conjunto de dados analisados. Desse modo, os resultados alcançados podem ser apresentados como fator de validação ao processo de preenchimento de falhas com uso dos métodos adotados na pesquisa.

Quanto a estatística descritiva do conjunto de dados, foram identificadas por meio do Gráfico de boxplot (Gráfico 5), as médias de precipitação pluviométrica anual para o

período de 36 anos, que variam de 1.176,7 mm (mínima) a 2.749,3 mm (máxima). De forma geral, para os dados processados foram obtidos os seguintes resultados: Média 1.709,9 mm; mediana de 1.680,1 mm. No mesmo contexto, as medidas de dispersão foram: Amplitude 1.572,61; variância 78.791,87; desvio padrão 280,70; coeficiente de variação 0,16; assimetria de 0,32; curtose de 0,89; Erro Padrão da Média 27,01.

Gráfico 5 – Medidas de tendência central: média anual de precipitação.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Os resultados mencionados demonstram oscilações dos índices médios de chuvas, de acordo com o período estudado. Existe uma aproximação consistente entre a média e a mediana. O Coeficiente de Variação (0,16) demonstra a homogeneidade do conjunto de dados. A assimetria tende a positiva (à direita), onde ocorre 49% dos dados acima da média, reforçando o grau de afastamento mínimo entre a média e a mediana.

A distribuição de frequência das médias anuais das precipitações pluviais no período de 1985 a 2020, para a área de influência do Estado de Mato Grosso, é apresentada na Tabela 1. Onde pode ser visualizado: as classes; os intervalos de classes; os pontos médios (X); frequência (f); frequência acumulada (fa); frequência relativa (fr); frequência relativa acumulada (fra). São parâmetros que demonstram aproximação ou

distanciamento entre índices precipitados, destacando intervalos e percentuais da variável ao longo do tempo na área de estudo.

Tabela 1- Distribuição de frequência das médias anuais de chuvas.

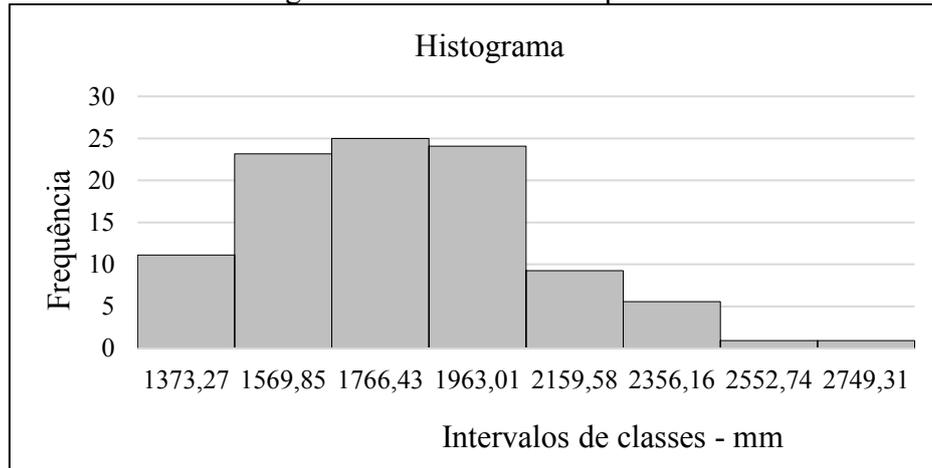
Ordem	Intervalo-classe	P. média (x)	f	fa	fr	fra
1	1176,70	1373,27	1274,99	12	12	11,1
2	1373,27	1569,85	1471,56	25	37	23,1
3	1569,85	1766,43	1668,14	27	64	25,0
4	1766,43	1963,01	1864,72	26	90	24,1
5	1963,01	2159,58	2061,29	10	100	9,3
6	2159,58	2356,16	2257,87	6	106	5,6
7	2356,16	2552,74	2454,45	1	107	0,9
8	2552,74	2749,31	2651,02	1	108	0,9
Totais				108		100

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Na Tabela 1, consta o agrupamento dos dados médios de precipitação em 8 classes (Intervalo-classe), determinado com aplicação da fórmula de *Sturges* (Andriotti, 2003). Entretanto o Gráfico 6, demonstra a distribuição de frequência desses dados. Mello e Oliveira (2016) citam a importância dos métodos de análise que envolvem a distribuição de frequência e observam que tais recursos possibilitam entender a distribuição dos valores amostrados com destaque ao índice percentual de ocorrência do fenômeno no território.

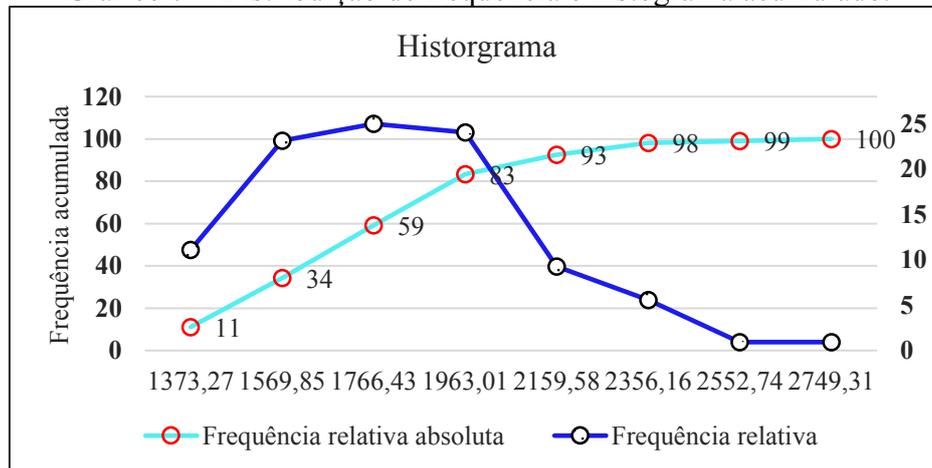
Relacionando os índices da Tabela de distribuição de frequência (Tabela 1) e sua representação no Histograma (Gráfico 6), observa-se que 11,11 % das precipitações variam de 1.176,7, a 1.373,2 mm, os menores indicadores (média de precipitação anual) para a área de estudo; 81,48 % dos eventos têm índices que variam de 1.373,2 a 2.159,5 mm, esses demonstram o tipo de precipitação pluvial (média) que predomina no território. Os maiores indicadores variam de 2.356,1 a 2.749,3 mm, representando 7,4 % das chuvas (média anual), ou seja, 92,6 % das precipitações pluviais na área de estudo têm médias inferiores a esses índices (Gráfico 7).

Gráfico 6 – Histograma destacando o comportamento dos dados.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Gráfico 7 – Distribuição de frequência e histograma acumulado.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

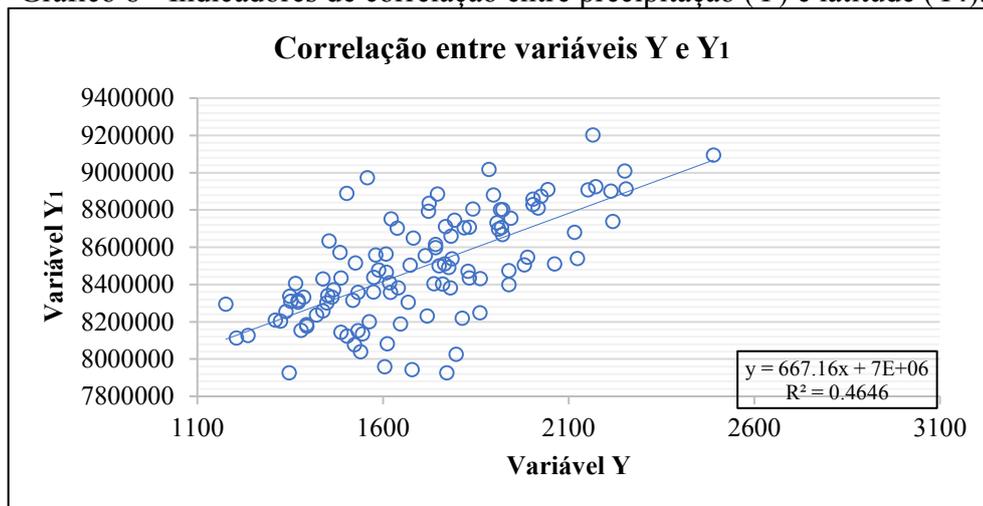
Os resultados da estatística descritiva e a distribuição de frequência representam o cômputo dos dados das séries históricas de 108 estações pluviométricas, considerando que os valores correspondentes à estação 760001 foram classificados como outliers. Entretanto os dados da estação 760000, apesar de apresentar média de precipitação anual acima das demais estações (ver Gráfico 5), esses foram mantidos tendo em vista que nos cenários testados e modelados não houve alteração de forma negativa para os resultados obtidos. Dessa maneira, a continuação desta pesquisa se deu por meio das séries históricas que representam as 108 estações mencionadas.

5.1.1 Correlação entre os dados de precipitação pluvial e a localização geográfica

A chuva é um fenômeno climático que ocorre de forma natural e pode apresentar comportamento e/ou níveis de intensidades influenciados por variáveis atmosféricas ao longo do tempo em diferentes escalas espaciais: local, regional e global. Para entender a dinâmica desse fenômeno, deve-se considerar a própria espacialização do evento ao longo do tempo investigado. Nesse sentido, para desenvolver esta pesquisa foram processados os valores médios das precipitações frente a localização geográfica de cada estação de monitoramento na área de influência do Estado de Mato Grosso.

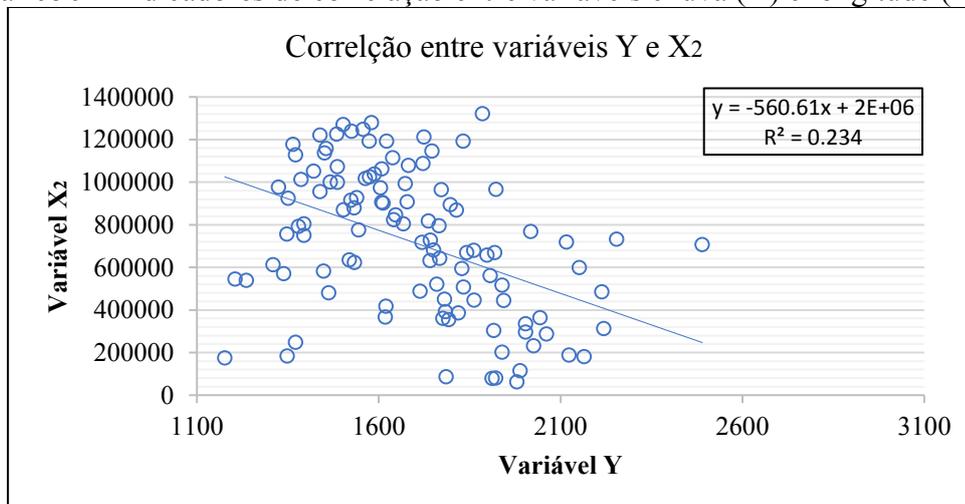
A partir do contexto apresentado, foi realizada a análise de correlação, bem como a análise de relação ou dependência entre as variáveis chuva e a localização. Sendo assim, a precipitação pluviométrica é classificada como a variável dependente (y) e a localização geográfica das estações (Longitude (x) e Latitude (y)) como a variável independente (x_i). O motivo dos fatores citados serem tratados como variáveis dependente e independente tem por base pesquisas que discutiram dinâmicas do clima e, variáveis atmosféricas como a precipitação pluvial e a temperatura, de acordo com Medeiros et al. 2005; Mello e Silva, 2009; Castro et al. 2013; Medeiros et al. 2018.

O processo mencionado é marcado por três momentos distintos de acordo com o descrito no item 4.1.4. São direcionamentos que seguem preceitos de pré-processamento dos dados às aplicações utilizando a geoestatística. O primeiro momento diz respeito a correlação onde foi avaliado o nível de paridade entre os dados de precipitação (média anual) e a localização das estações pluviométricas (Gráficos 8 e 9). Nesse contexto, caso não seja identificado nível mínimo de correlação entre as variáveis, é indicado segundo a literatura consultada utilizar métodos da estatística clássica em detrimento de métodos da geoestatística, sendo estes, recursos necessários para identificar a continuidade espacial.

Gráfico 8 - Indicadores de correlação entre precipitação (Y) e latitude (Y₁).

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Os resultados alcançados por meio dos processos supracitados apresentam graus de correlação linear (r) que variam de 0,681 (chuva e latitude), a 0,483 (chuva e longitude). Esses níveis de correlação se classificam respectivamente como forte ou regular segundo o Quadro 2 apresentado no tópico 4.1.4, de acordo com Andriotti (2003). Neste trabalho, os níveis de correlação foram calculados a partir da raiz quadrada de r^2 que constam nos Gráficos 8 e 9, ou seja, a raiz quadrada de 0,4646 e de 0,234, que denotam a correlação linear entre a variáveis Y e X₁, e Y e X₂, em seus respectivos momentos.

Gráfico 9 - Indicadores de correlação entre variáveis chuva (Y) e longitude (X₂).

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Quanto a correlação entre as variáveis chuva (Y) e localização geográfica (latitude (Y_1) e longitude (X_2)), há questionamentos se estes últimos parâmetros podem ser tratados como variáveis. Nesse sentido, realizou-se levantamento sobre estudos ou pesquisas que demonstraram a importância da espacialização dos fenômenos atmosféricos, tais como a temperatura e as precipitações pluviais e variáveis correlatas, destacando as coordenadas latitude (y) e longitude (x) como variáveis que influenciam na dinâmica desses fenômenos ao longo do tempo e no espaço investigado, citam-se: Daly, Neilson e Phillipps, 1994; Teodoro et al. 2016; Medeiros et al. 2018; Mello e Sampaio, 2019.

Ainda no contexto mencionado, Castro et al. (2013) desenvolveram pesquisa sobre a espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo - Brasil, onde as coordenadas geográficas, incluindo a altitude são tratadas como variáveis independentes que influenciam na dinâmica do fenômeno ao longo do tempo e no espaço. Por outro lado, Mello e Silva (2009) realizaram aplicações com os dados de precipitação pluvial em Minas Gerais, utilizando as variáveis supracitadas com respostas e variação do coeficiente de correlação "r" entre 0,042 e 0,694. A variabilidade espacial das chuvas é citada como fator de influência para os índices baixos de correlação entre as variáveis x e y.

Os resultados da correlação entre as variáveis independente (x) e dependente (y), na área de influência de Mato Grosso, representam o cômputo dos dados de 107 estações pluviométricas, visto que os valores médios que representavam a estação 1754000, foram retirados da base de dados por degradar os indicadores de correlação. Não foi identificado o motivo para tal degradação, tendo em vista que o conjunto de dados da série histórica citada não apresentou divergência na estatística descritiva. Dessa forma, a pesquisa foi continuada com dados das séries históricas que representam as 107 estações citadas.

Entretanto o segundo momento diz respeito a relação ou influência que existe entre os dados de precipitação pluvial e a localização das estações. Dessa forma, o conjunto de

dados que representam as variáveis dependente (chuva) e independente (localização) são calculadas por meio de funções polinomiais. A partir dos resultados alcançados, obtém-se a equação matemática que representa o grau de dependência entre as variáveis. Nesse momento é definido o intervalo de confiança para a dependência dos dados e, o teste F de significação com a possibilidade de rejeição da hipótese.

A rejeição da hipótese se dá em situações, em que, o intervalo de confiança e o F de significação apresentam valores acima do intervalo definido, ou seja, os resultados superam a proporção de 0,05% (definido previamente). Caso o percentual mencionado seja superado, trata-se da hipótese alternativa da função, sendo necessário ajuste ao conjunto de dados ou a realização do processo considerando outras proporções. Nesse sentido, o Quadro 6 apresenta os resultados alcançados por meio do conjunto de dados processados e os respectivos parâmetros que representam as precipitações pluviais na área de influência do Estado de Mato Grosso.

Quadro 6 – Parâmetros analisado no processo de regressão múltipla.

ID	Equação teórica					Nº de Graus	R ²	Erro padrão
1	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y$					3	0,583	183,861
2	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X^2$					4	0,596	181,887
3	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * Y^2$					4	0,628	174,649
4	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X * Y$					4	0,649	169,689
5	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X^2 + \beta_4 * Y^2$					5	0,641	172,349
6	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X^2 + \beta_4 * X * Y$					5	0,667	165,875
7	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * Y^2 + \beta_4 * X * Y$					5	0,661	167,564
8	$\beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * Y + \beta_3 * X^2 + \beta_4 * Y^2 + \beta_5 * Y * X$					6	0,679	163,901
	Valor - P						Significância	
ID	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	F de significação	
1	0,003251163	3,32677E-07	2,08119E-15				1,66572E-20	
2	0,025199104	0,107589584	2,71808E-15	0,073471446			3,27137E-20	
3	0,001150182	1,00803E-07	0,001323125	0,000685286			5,11818E-22	
4	1,11408E-05	6,14208E-05	1,84412E-06	2,9729E-05			2,67523E-23	
5	0,007727435	0,083792627	0,001154502	0,055014768	0,000553712		6,8398E-22	
6	6,9573E-07	8,47254E-06	3,75069E-07	0,017910695	9,07117E-06		1,43321E-23	
7	0,938202712	0,003679763	0,493255622	0,059606928	0,002173839		3,98791E-23	
8	0,495437477	0,000220313	0,581211746	0,019749235	0,06529084	0,000867	2,04151E-23	

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Cabe observar que nesta pesquisa o número de graus ou polinômios que foram definidos e aplicados por meio da função matemática levou em consideração o conjunto de dados amostrados para o território e aquela classificação das variáveis dependente (y) e independente (x).

Dessa forma, nos resultados apresentados no Quadro 6 destaca-se o modelo de regressão de ID 6, que melhor explica a relação existente entre as variáveis dependente (y) e independente (x), composto por parâmetros como: coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,667; erro padrão (u) de 165,87; p valores $< 0,05$, e F de significância $< 0,05$. O F de significância alcançado mostra que os valores obtidos por meio das aplicações com a função polinomial podem representar a variável dependente chuva (y), essa tem dependência significativa para a variável independente (x), de acordo com a Equação 1.

Dessa forma, a Equação 1 foi reescrita com os parâmetros encontrados no Quadro 6 (ID 6) temos:

$$Y=6,9573E-07+(8,47254E-06*X) + (3,75069E-07*Y) + (0,017910695*X^2) + (9,07117E-06*X*Y) + 165,875$$

O terceiro momento que foi mencionado anteriormente (processamento de dados) diz respeito a análise de tendência dos dados de chuvas (média anual), obtida por meio de aplicações da regressão múltipla, exemplificadas no Quadro 6. Sendo assim, o melhor cenário referente ao conjunto de dados processado e que obteve o valor do coeficiente de determinação (r^2) mais próximo do ideal, bem como a significância estatística com o grau de confiança de 95%, e o menor erro padrão, foi definido para continuar a pesquisa.

Nesse contexto, os resultados obtidos compõem dois conjuntos de dados, sendo: os dados sem tendência e os resíduos. Este último é a diferença entre os valores previstos e, valores observados (Quadro 7). De forma geral, obteve-se o comportamento da variável considerando três conjuntos de dados (Gráfico 10). Os resultados são insumos básicos às

aplicações relacionadas a continuidade espacial do fenômeno e suas flutuações em escala regional e local respectivamente. Esses possibilitam também a estimativa da média anual de chuvas para os locais não amostrados com aplicações de métodos da geoestatística.

Quadro 7 – Resultados alcançados por meio da regressão múltipla (continua).

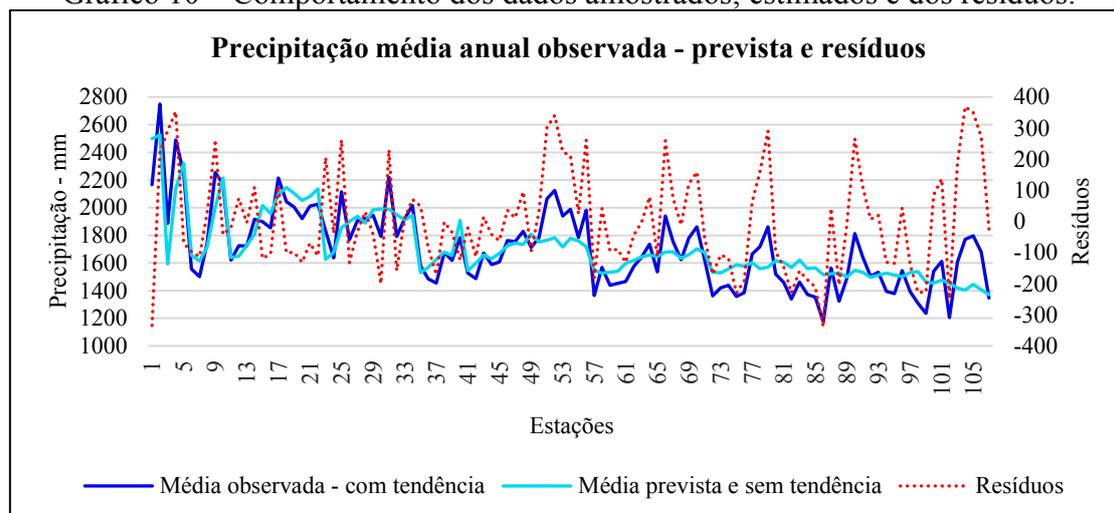
Estação	Longitude	Latitude	Média observada	Média prevista	Resíduos
759000	4349146	9199139	2165,06	2499,24	-334,18
760000	4266265	9197935	2749,31	2526,61	222,70
849002	5488948	9023725	1885,74	1594,52	291,21
855000	4876651	9094473	2489,72	2136,31	353,41
862000	4114129	9002579	2250,81	2319,96	-69,15
950001	5416381	8977380	1557,51	1655,08	-97,57
950002	5439288	8894771	1502,17	1614,69	-112,52
951000	5315435	8890678	1746,75	1717,36	29,39
954001	4902764	8914080	2254,55	2002,10	252,46
961003	4124440	8919132	2172,64	2214,43	-41,80
1050000	5363800	8757233	1621,89	1639,76	-17,87
1050002	5381808	8841033	1724,01	1649,56	74,45
1051001	5259063	8797211	1722,16	1726,50	-4,34
1052000	5137122	8804577	1917,65	1808,09	109,56
1055001	4827926	8881288	1897,67	2016,72	-119,05
1055002	4841579	8805435	1854,17	1957,67	-103,50
1057001	4656438	8898976	2213,52	2099,36	114,16
1058002	4533964	8907072	2043,91	2144,74	-100,83
1058003	4506935	8856112	2003,79	2103,07	-99,28
1058004	4474786	8797739	1921,07	2052,26	-131,19
1058005	4467310	8824881	2010,84	2080,17	-69,33
1059000	4402634	8869737	2025,65	2135,91	-110,26
1150001	5363956	8712847	1832,24	1626,89	205,35
1151000	5286052	8707573	1638,37	1676,60	-38,23
1154001	4891281	8680556	2116,25	1854,70	261,55
1155000	4814359	8710953	1768,08	1900,64	-132,56
1156000	4734502	8730269	1907,01	1938,39	-31,38
1156001	4842066	8706650	1919,44	1888,76	30,68
1157001	4617105	8753256	1944,01	1985,63	-41,62
1158001	4526446	8742214	1791,04	1991,42	-200,38
1158002	4485060	8734202	2218,87	1988,78	230,09
1158003	4558808	8700970	1791,09	1948,74	-157,65
1160000	4253592	8661927	1921,86	1911,15	10,71
1160002	4251468	8691557	2016,05	1945,21	70,84
1249001	5452551	8566226	1580,30	1531,22	49,08
1250000	5397748	8579314	1484,35	1568,37	-84,02
1250001	5330094	8638943	1455,15	1626,60	-171,45
1251000	5250653	8653693	1676,50	1678,24	-1,74
1251001	5235858	8567956	1618,27	1653,28	-35,01
1257000	4564563	8656850	1783,42	1907,73	-124,31
1350002	5411742	8522787	1525,67	1545,66	-19,99
1351000	5248499	8440697	1486,84	1598,98	-112,15
1352001	5167329	8506938	1672,89	1658,16	14,73
1352002	5213454	8483391	1588,16	1629,77	-41,60
1353001	5081981	8469012	1608,43	1669,95	-61,52
1354000	4969559	8512672	1762,03	1725,94	36,09
1355001	4855864	8500342	1754,94	1742,91	12,03
1356002	4770549	8471046	1829,23	1733,34	95,88
1357000	4662349	8552901	1713,36	1807,93	-94,57
1358001	4535939	8487234	1782,56	1751,69	30,87

Quadro 7 – Resultados alcançados por meio da regressão múltipla (conclui).

Estação	Longitude	Latitude	Média observada	Média prevista	Resíduos
1358002	4461351	8505215	2065,07	1763,64	301,43
1359000	4362970	8534586	2123,47	1782,84	340,63
1359001	4376380	8468734	1939,23	1714,81	224,42
1360000	4290015	8540449	1989,26	1777,78	211,47
1360001	4260454	8530474	1785,79	1760,69	25,11
1360002	4237172	8498284	1980,47	1718,04	262,44
1450000	5352713	8412342	1364,32	1545,53	-181,21
1450001	5368548	8366823	1567,10	1525,46	41,64
1450002	5395999	8437813	1438,34	1532,29	-93,95
1451000	5313843	8346974	1451,45	1540,98	-89,53
1452000	5177216	8376634	1466,72	1597,75	-131,03
1452004	5199765	8442418	1574,84	1618,22	-43,38
1453000	5000150	8383948	1641,15	1643,97	-2,82
1454000	4994668	8405430	1736,81	1657,34	79,47
1455008	4800352	8357456	1536,02	1647,53	-111,51
1456001	4692746	8397805	1939,27	1679,08	260,19
1456003	4696584	8399883	1756,12	1680,82	75,29
1457000	4594513	8354129	1623,87	1635,33	-11,45
1457001	4626334	8378847	1781,26	1660,09	121,17
1457003	4621447	8428532	1862,18	1702,84	159,34
1458002	4543332	8404957	1623,58	1675,63	-52,05
1551000	5304728	8311796	1363,31	1532,57	-169,25
1551002	5229860	8241350	1420,91	1528,04	-107,13
1552001	5133506	8261931	1438,39	1556,47	-118,08
1552002	5101486	8313097	1357,46	1587,04	-229,58
1552006	5189524	8336320	1386,25	1576,94	-190,70
1554005	4981117	8306179	1665,77	1601,68	64,08
1554006	4896350	8231345	1718,79	1559,58	159,21
1555005	4858393	8248047	1861,28	1570,20	291,08
1555008	4812949	8314507	1518,79	1616,30	-97,51
1556000	4760388	8300494	1459,39	1604,74	-145,35
1556001	4748223	8253974	1338,78	1568,36	-229,57
1557001	4657855	8330056	1462,41	1621,21	-158,80
1559000	4425236	8309159	1371,77	1559,66	-187,89
1559006	4360265	8331518	1354,27	1564,74	-210,47
1560000	4352598	8287669	1176,70	1515,17	-338,47
1652000	5195815	8206333	1563,23	1520,74	42,50
1652002	5155042	8207524	1324,11	1527,94	-203,83
1652003	5179039	8149737	1486,72	1499,16	-12,44
1653000	5048028	8221821	1813,34	1547,78	265,56
1653002	5025554	8191303	1646,68	1532,75	113,93
1653004	5049678	8125813	1503,54	1496,44	7,10
1653005	5058284	8156256	1532,27	1512,31	19,96
1654000	4929941	8178109	1394,74	1526,08	-131,33
1654001	4971614	8155764	1379,18	1513,30	-134,12
1654004	4956512	8137017	1544,60	1501,63	42,97
1654005	4984036	8187070	1392,84	1531,74	-138,90
1655002	4791993	8207947	1309,80	1537,87	-228,07
1656004	4719661	8123995	1236,19	1462,63	-226,44
1752002	5107860	8043159	1539,80	1454,11	85,69
1753000	5082985	8086323	1611,87	1475,54	136,33
1756000	4724767	8111538	1205,37	1453,90	-248,52
1852001	5155645	7963372	1606,60	1417,88	188,71
1852003	5148320	7931874	1772,20	1403,21	369,00
1853000	5075390	8029781	1796,91	1446,56	350,36
1853004	5091289	7948233	1678,58	1406,32	272,27
1854006	4938981	7928086	1347,18	1371,32	-24,14

Fonte - ANA, (2023); Organização - Oliveira, J. L de (2023).

Gráfico 10 – Comportamento dos dados amostrados; estimados e dos resíduos.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

No Gráfico 10 há destacamento para os resíduos, sendo a diferença entre valores amostrados com tendência e os valores previstos e sem tendências. De forma geral houve pontos com desvios médios positivo e negativo para a representação da variável (y) frente a sua dependência para a variável (x). Nesse contexto, os resultados obtidos remetem ao SQ total de 8440460; SQ regressão de 5633963; e SQ resíduo de 2806497. Parâmetros que podem ser avaliados segundo a análise de variância ANOVA, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros da análise de variância entre as variáveis y e x.

ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	4	5633963,19	1408490,80	51,19	1,43321E-23
Resíduo	102	2806496,60	27514,67		
Total	106	8440459,79			

Fonte - Oliveira, J. L de (2024).

Após remover as tendências dos dados, houve mudanças relacionadas a estatística descritiva com destaque à média das precipitações pluviais com 1.707,88 mm; o desvio padrão 229,46; a variância 52653,86; valores de mínima 1.371,32 mm; máxima 2.526,61 mm; e curtose 1,76, variações dos valores médios de acordo com o Quadro 8.

Quadro 8 – Estatística descritiva dos dados após a remoção da tendência.

Estatística de dados sem tendência				Estatística de dados com tendência			
N	107	Variância	52653,86	N	107	Variância	78433,50
Mínimo	1371,32	Desvio padrão	229,46	Mínimo	1176,70	Desvio padrão	280,06
Máximo	2526,61	Coefficiente de Variação	0,13	Máximo	2749,31	Coefficiente de Variação	0,16
Média	1707,88	Assimetria	0,84	Média	1706,76	Assimetria	0,30
Mediana	1643,97	Curtose	1,76	Mediana	1678,58	Curtose	0,98
Moda	#N/D	Erro Padrão da Média	22,18	Moda	#N/D	Erro Padrão da Média	27,07
Amplitude	1155,29	Classe	8	Amplitude	1572,61	Classe	8
Somatória	5633963,19	Intervalo de classe	144,41	Somatória	8392384,80	Intervalo de classe	196,58

Fonte - Oliveira, J. L de (2024).

É válido observar que no contexto de desenvolvimento desta pesquisa, extrair a tendência dos dados é um requisito básico de processamento ou preparação do conjunto de dados para a modelagem por meio do semivariograma e da krigagem ordinária como métodos da geoestatística.

5.2 Continuidade espacial das precipitações pluviais

A Geoestatística traz contribuições para o processamento de dados amostrados e que representam a ocorrência do fenômeno em um dado lugar. Assim como a estatística, a geoestatística contribui para o entendimento de variáveis climáticas, onde os resultados alcançados viabilizam planejamentos e a gestão de atividades. Andriotti (2003) destaca a importância do uso da geoestatística. Ela pode ser entendida como o conjunto de técnicas utilizadas para processar dados com descrição e modelagens de padrões espaciais.

Dessa forma, a continuidade espacial das precipitações pluviais para o Estado de Mato Grosso foi obtida por meio de métodos da geoestatística em ambiente do *software* GS+, onde foram trabalhados dois cenários: 1º) o alcance regional do fenômeno, 2º) o alcance local do fenômeno, utilizando dados que representam os resíduos, destacando as flutuações da variável em escala maior.

5.2.1 Continuidade espacial das precipitações pluviais em sua dinâmica regional

A continuidade espacial das chuvas em escala regional, resultou do processamento dos dados sem tendência modelados no GS+, considerando diferentes distâncias (*lag distance*), com afastamento máximo de 870 km, e intervalo máximo (*uniform interval*) de 55 km. Foram processados 5 modelos, 4 deles são formados por 8 cenários e o quinto é composto por 4 cenários, totalizando 36 cenários (*Anexo II). As distâncias e intervalos utilizados nos modelos representam a relação de maior e menor intervalo entre as estações pluviométricas amostrados na área de estudo para as direções norte e sul, leste e oeste.

Os parâmetros dos semivariogramas experimentais (modelos) que constam no Anexo II (cenário geral) e os que representam os melhores resultados das modelagens que estão representados no Quadro 9, foram definidos considerando a distribuição irregular dos dados na malha de pontos e a relação distância (h) e localização (x, y).

Quadro 9 – Modelagens de dados sem tendência – modelos selecionados.

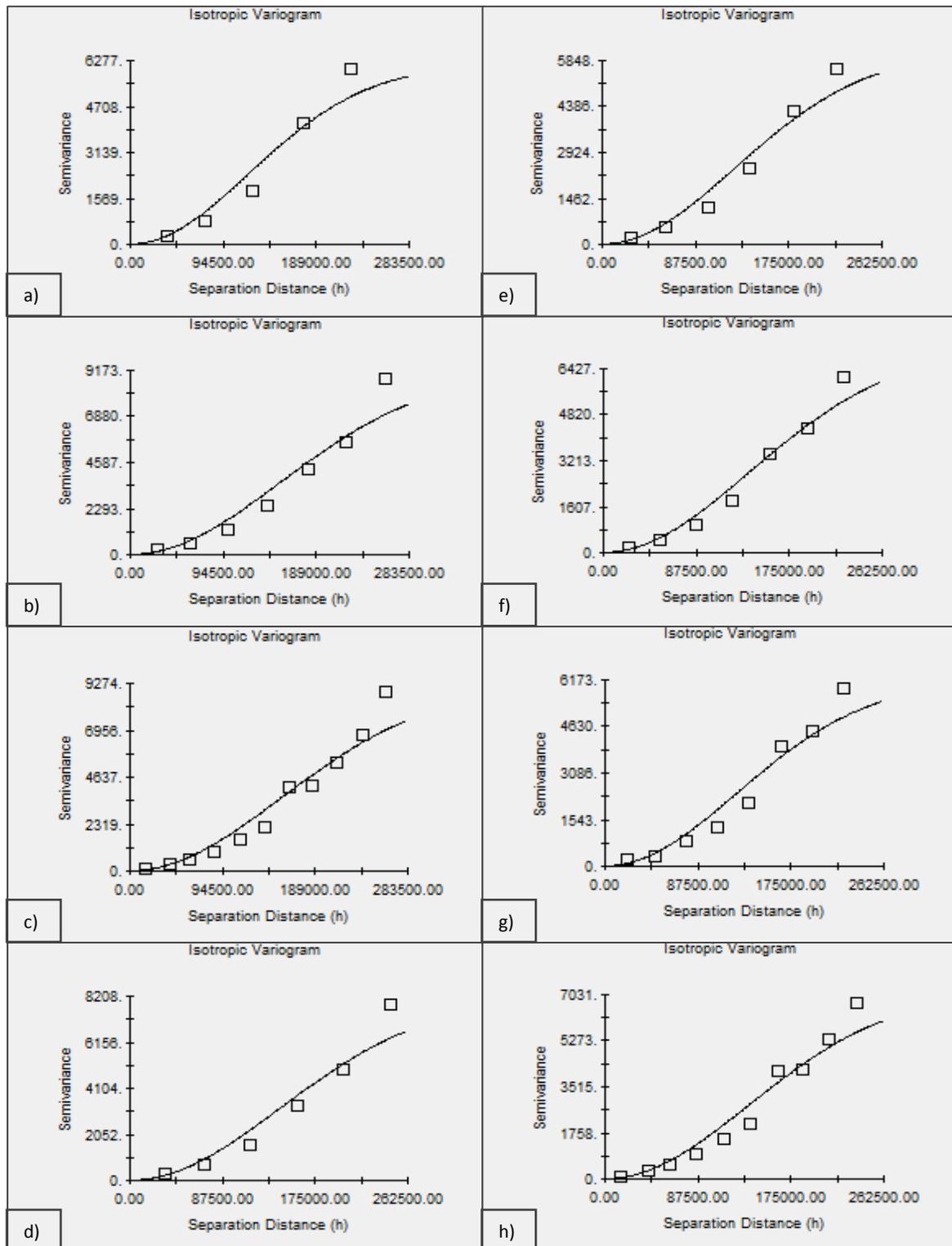
*Modelagem	Lag Distance	Uniform Interval	Nugget Variance (Co)	Structural Variance Sill (Co+C)	Range (A)	Residual SS	R ²	Proportion (C/(Co+C))	Model Type	IDE
M1/C7	270,000	50,000	10,000	6130,000	295,141	1606051	0,958	0,998	Gauss	0,16
M2/C15	270,000	40,000	10,000	9130,000	373,430	4264522	0,944	0,999	Gauss	0,11
M2/C15	250,000	40,000	10,000	6130,000	304,148	1102779	0,968	0,998	Gauss	0,16
M3/C24	250,000	30,000	10,000	6130,000	303,628	1889879	0,957	0,998	Gauss	0,16
M4/C31	270,000	25,000	10,000	9130,000	376,721	5571008	0,950	0,999	Gauss	0,11
M4/C32	250,000	25,000	10,000	7130,000	330,994	2660378	0,961	0,999	Gauss	0,14
M5/C34	250,000	45,000	10,000	8130,000	346,236	2973031	0,950	0,999	Gauss	0,12
M5/C35	250,000	35,000	10,000	7130,000	336,191	1132233	0,973	0,999	Gauss	0,14

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

De acordo com os parâmetros das modelagens que constam no Quadro 9, existiu a predominância do modelo teórico tipo Gaussiano que foram classificadas de a) até h) na Figura 9, com coeficientes de determinação (r^2) que variam de 0,944 a 0,973, alcance (*Range*) de 295,141 km, a 376,721 km, e IDE de 0,11 a 0,16. Dessa forma, foi analisado

também a anisotropia, sendo que os resultados dos modelos citados trazem indicações de isotropia, ou seja, não existe direção preferencial do fenômeno na área de estudo.

Figura 9 – Representação de modelagens realizadas por meio do semivariograma.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

De posse dos resultados, realizou-se a avaliação dos mesmos por meio dos dados reportados em planilha eletrônica, bem como a visualização em tela, para obter dessa forma o modelo que apresenta o melhor resultado frente a distribuição dos pares de pontos amostrados. Para tanto foi considerado o posicionamento dos pontos amostrados na malha gráfica e o alcance do fenômeno no território, além daqueles fatores que compõem a estrutura de modelagem (Quadro 9 e Figura 9). Dessa forma, o Gráfico representado na Figura 7f), demonstra o modelo teórico do tipo Gaussiano que teve o melhor ajuste ao conjunto de dados para a representação da continuidade espacial das chuvas no território.

Considerando que o modelo teórico ajustado ao conjunto de dados foi o gaussiano, o efeito pepita é igual 10,000, e o coeficiente de determinação (r^2), foi de 0,973. Os demais parâmetros obtidos com o modelo por meio do GS+, foram: *Lag Distance* igual a 250 km; *Structural Variance Sill* (Co+C) igual a 7130.000 e, *Range* (a) igual a 336,191 km. De acordo com o exposto, o modelo final foi definido como descrito na Equação 35.

$$\gamma(h) = 10,000 + 7130,000 \{1 - e^{-3((870,000) / 336,191)^2}\} \quad \text{Equação (35)}$$

Onde: $0 < d < a$.

Nos resultados observa-se que “a” deve ser maior que zero (0) e menor que (d), onde zero representa um valor nulo, quando não é identificado alcance do fenômeno no território, situação que pode estar relacionada a erros no conjunto de dados modelados. Quanto ao valor do alcance (a), esse não pode ser maior que “d” (870 km), sendo que, este último representa o valor absoluto definido na malha de pontos irregular, é o maior afastamento entre os pares de pontos amostrados. Logo o alcance do fenômeno (a) precisa ser menor que essa distância (d), representando a continuidade espacial das precipitações pluviais na área de estudo, em sua dinâmica regional.

No que diz respeito a validação do modelo por meio do IDE, deve-se considerar:

$$IDE = \frac{10,000}{7130,000} * 100 = 0,14 \quad (\text{Equação 36})$$

De acordo com os resultados obtidos por meio das modelagens, observa-se que o conjunto de dados amostrados apresentam forte dependência espacial com valores de IDE variando de 11% até 16%. Para o modelo citado como ideal (gaussiano) na representação do fenômeno a partir do conjunto de dados modelados (Figura 9f), o IDE foi = 14%.

Quanto a distribuição dos pontos por meio da modelagem que resume o processo realizado, essa pode ser observada na Tabela 3, sendo que: quanto maior o raio de busca, maior é a semivariância dos dados, logo será englobado um conjunto maior de pares de pontos. Sendo assim, pode ser observado que no Lag 1, a distância é de 253,475 m, com semivariância de 162,318 m e, 11 pares agregados, em outra margem, no Lag 7, tem-se uma distância de 227,185 m, com semivariância de 6120,551 m e 188 pares agregados. Quanto maior o Lag, maior será o conjunto de pares agregados e maior a semivariância.

Tabela 3 - Distância média e variância entre os pares amostrados de acordo com os lags.

Índices processados por meio da função Semivariograma			
<i>Lag Class</i>	<i>Average Distance (m)</i>	<i>Average Semivariace(m)</i>	<i>Pairs</i>
1	253,475	162,318	11
2	542,570	430,637	62
3	884,169	941,828	96
4	122,533	1810,226	124
5	157,595	3441,454	130
6	193,238	4330,116	181
7	227,185	6120,551	188

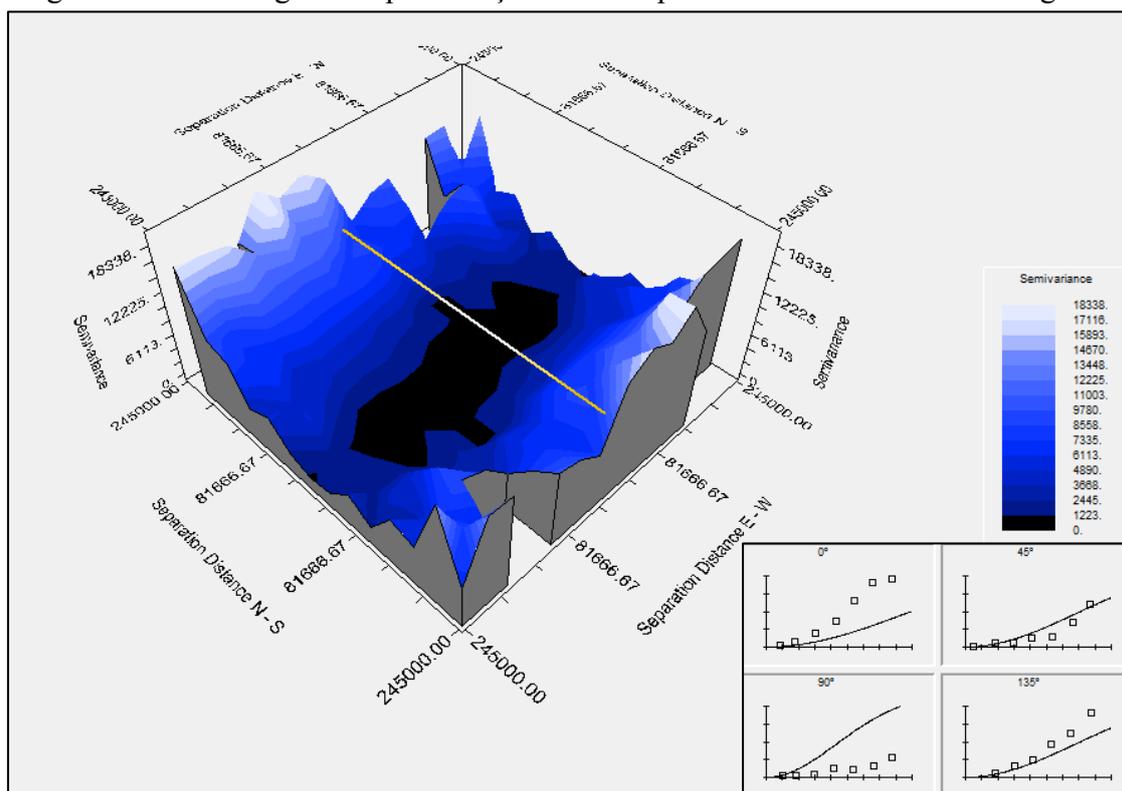
Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

De forma geral, o alcance do fenômeno na área de influência do Estado de Mato Grosso, em sua dinâmica regional é de 336,191 km, tendo como parâmetros para essa

definição um número máximo de 7 lags, semivariância média de 6120,551, envolvendo um conjunto de 188 pares de pontos modelados.

Quanto a anisotropia para o modelo teórico, bem como os resultados alcançados por meio das aplicações realizadas, o fenômeno não apresentou direção preferencial, com distanciamento da linha angular nos diferentes sentidos: E-W, N-S, NE-SW e NW-SE, em ângulo de 45°, e tolerância de 22,50°. Assim, o modelo de semivariograma (Figura 9f) aponta que o fenômeno é isotrópico, não existe direção preferencial segundo a malha de pontos amostrada. A não identificação de direção preferencial pode ser analisada por meio da semivariância do modelo, que apresenta valores que vão de 0 a 18338 (Figura 10).

Figura 10 – Modelagem e representação da isotropia do fenômeno em escala regional.



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

A não existência de direção preferencial do fenômeno em sua dinâmica regional, neste estudo de forma específica, é um indicador que está relacionado ao comportamento

das precipitações pluviais e sua variabilidade ao longo do tempo e no espaço definido. Considerando que a mesma sofre influência de fatores ou fenômenos desconhecidos, o resultado é satisfatório tendo em vista que a isotropia é um aspecto básico para entender a continuidade espacial do fenômeno no território analisado.

De acordo com o contexto apresentado, Yamamoto e Landim (2013) citam que os fenômenos espaciais podem apresentar anisotropia, e ter direção preferencial. Nesse caso, o semivariograma não sofre alteração com a direção e o fenômeno se caracteriza como anisotrópico, algo que não aconteceu nas modelagens realizadas nesta pesquisa. Caso se identifique a anisotropia, é necessário ajustar o conjunto de dados buscando a isotropia, visto que esse fator é determinante para identificar a continuidade espacial. Considerando que há necessidade de se analisar os parâmetros estruturais da modelagem: efeito pepita, patamar, semivariância e amplitude (observar o Capítulo 3).

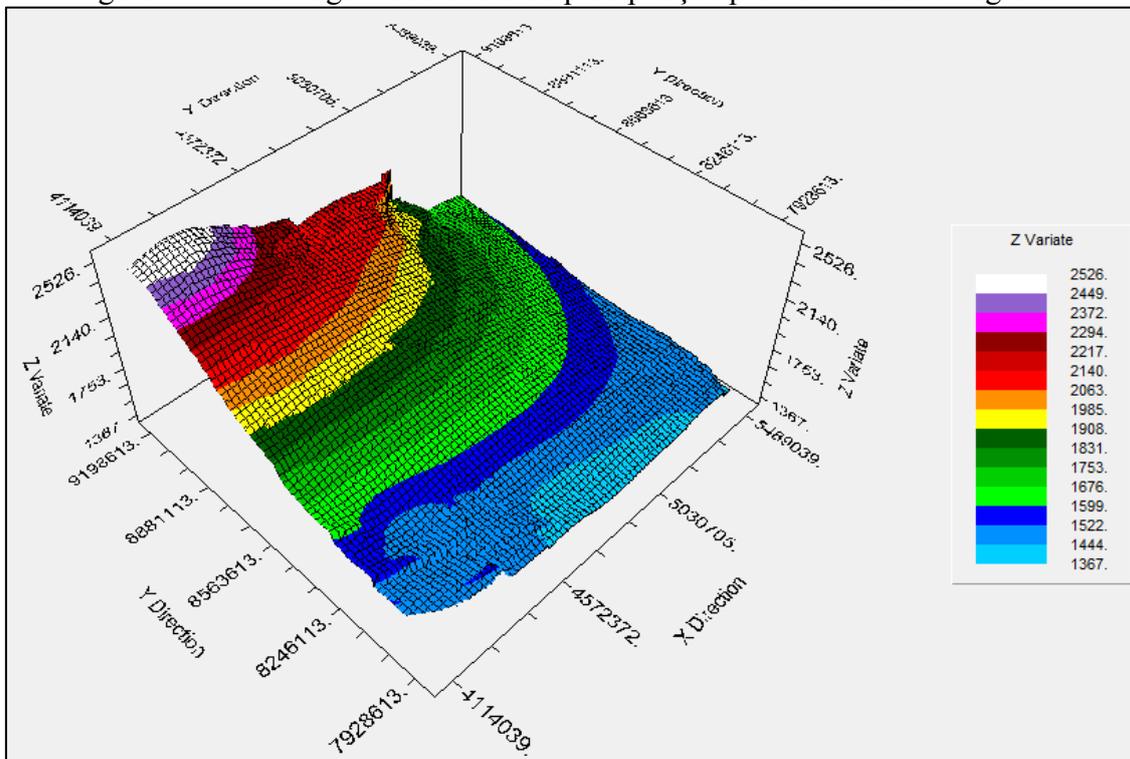
5.2.2 Interpolação dos dados de precipitação pluvial em sua dinâmica regional

A interpolação dos dados modelados foi feita por meio da krigagem ordinária e traz a representação do fenômeno em escala regional para a área de influência do Estado de Mato Grosso (Figura 11). Os resultados foram alcançados segundo parâmetros definidos no GS+, sendo: intervalos (*Interval*) de representação pixel a pixel para 5 km, nas direções x e y, e malha de pontos (*Points (n)*) de 276 pontos no eixo x, e 255 pontos no eixo y, com 12 vizinhos próximos (*Max Neighbors*), e raio (*Radios*) de 350 km.

O grid obtido por meio da krigagem ordinária demonstra o melhor resultado para as modelagens realizadas no GS+, demonstra o alcance das precipitações pluviais na área de estudo e destaca indicadores crescentes de sul para norte (Figura 11). Desse modo, foi

possível analisar, ler e extrair dados que representavam valores estimados sem tendências para os locais que não têm estações pluviométricas no Estado do Mato Grosso.

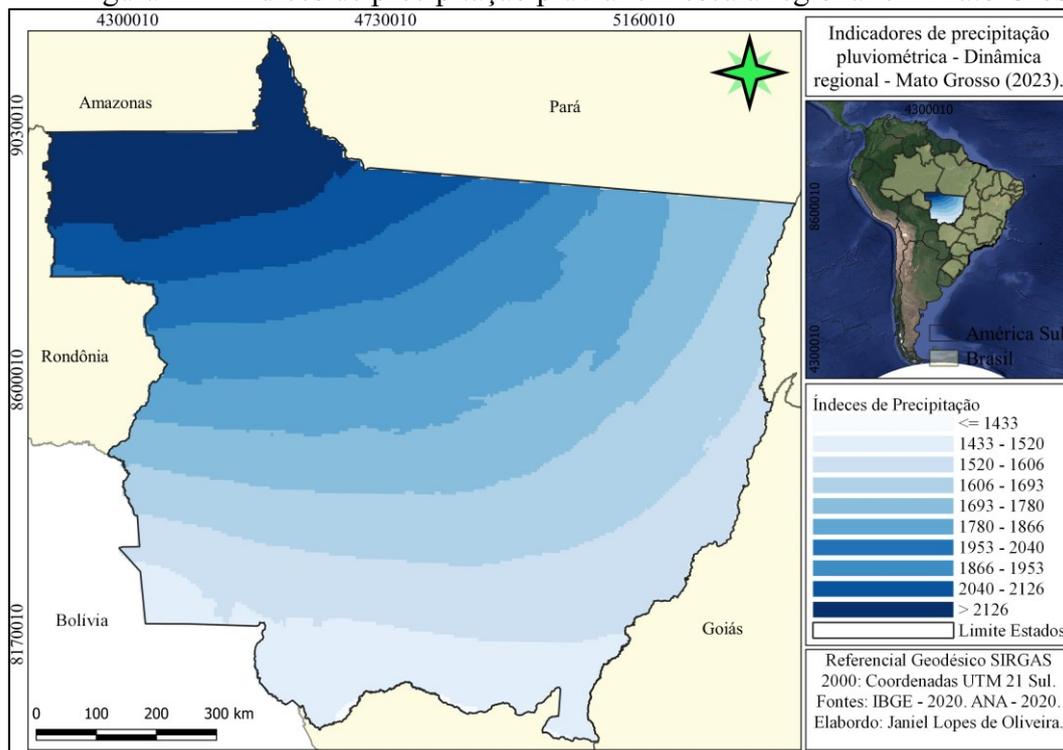
Figura 11 – Modelagem dos dados de precipitação pluvial em escala regional.



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Considerando a representação do fenômeno no Estado de Mato Grosso, em escala menor, houve variações dos indicadores das precipitações pluviais (média anual) com valores que vão de 1.418 mm (mínima), a 2.369 mm (máxima), de acordo com a Figura 12. Em análise dos resultados apresentados podem ser observadas faixas regulares com direcionamento seguindo padrão específico, não sendo comum este tipo de representação quando se trata de fenômenos atmosféricos como a chuva. Tendo em vista alguns fatores que caracteriza o fenômeno, sendo: a dinâmica de ocorrência, os índices precipitados, a aleatoriedade ao longo do tempo e no espaço pesquisado, e a regularidade.

Figura 12 – Índices de precipitação pluvial em escala regional em Mato Grosso.



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Ainda no contexto mencionado, os resultados demonstram o comportamento ou a dinâmica das precipitações pluviais de forma normalizada e mascara parte desta em sua dinâmica local (escala maior), fator que pode ser analisado em estudo específico levando em consideração a dinâmica do relevo ou controles cartográficos. Dessa forma, se fez necessário processar o conjunto de dados tratados como resíduos e que representam as flutuações do fenômeno em escala maior, estas foram removidas do conjunto de dados amostrados no território por meio das aplicações no processo de regressão múltipla.

O processo citado está de acordo com Landim (2003) que discute modelagem de dados com aplicações de métodos geoestatísticos e destaca a importância de analisar o conjunto de dados amostrado no território como um todo (dados e tendências). Tendo em vista a possibilidade de perda de informações a depender do tipo de fenômeno estudado. Tal situação demanda cuidado e deve ser considerada em pesquisas que aplicam métodos geoestatísticos com objetivo de analisar a dinâmica espacial e representar as precipitações

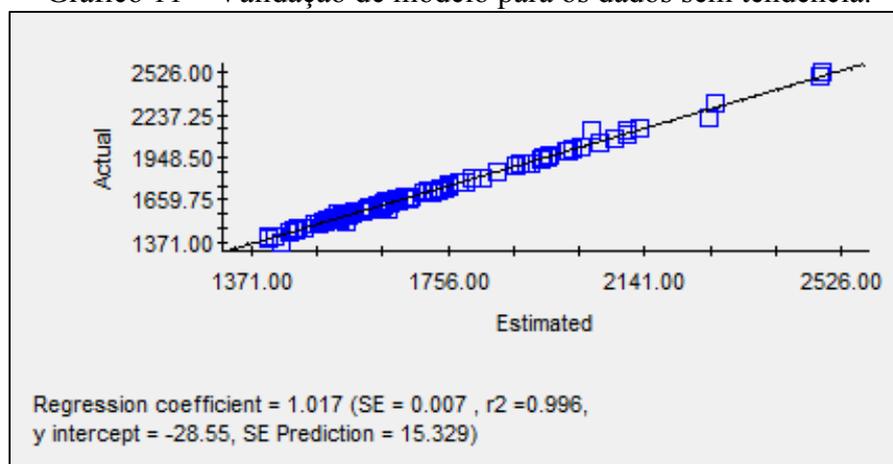
pluviais com nível de acurácia que se aproxima da realidade no meio físico. Nesse contexto, a variabilidade do fenômeno traz legitimidade para as afirmações citadas.

5.2.3 Validação cruzada

A validação cruzada é uma alternativa de conhecimento e validação dos modelos que foram processados. Neste trabalho, tal processo foi realizado de forma automática no GS+, de acordo com o conjunto de dados que foram modelados e o ajuste destes a um modelo teórico por meio do semivariograma. Essa técnica não deve ser classificada como medida de erro ou acerto para as aplicações realizadas, ela demonstra a proximidade entre as informações trabalhadas (dados amostrados) e apresentadas de forma gráfica, seguindo parâmetros da geoestatística (Andriotti, 2003).

Diante do exposto, a validação foi aplicada sobre as amostras que foram testadas na modelagem para o conjunto total dos dados, o Gráfico 11 apresenta o resultado da validação para o modelo gaussiano. Este foi classificado como o ideal frente aos modelos testados, demonstra proximidade ou distanciamento entre valores observados e estimados por meio das aplicações realizadas (semivariograma e krigagem ordinária).

Gráfico 11 – Validação de modelo para os dados sem tendência.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Os resultados alcançados por meio da validação, com destaque ao coeficiente de determinação r^2 de 0,996, próximo a 1 (um), é justificado pela estacionaridade dos dados, com ausência de valores anômalos, visto que houve a remoção das tendências dos mesmos para representar as precipitações pluviais no período investigado (1985 a 2020) em sua dinâmica regional. Sendo assim, tem-se uma representação com a distribuição de pares de pontos que se aproximam da reta, não existindo dispersão acentuada entre os valores observados e os valores estimados de acordo com o modelo processado no GS+.

5.2.4 Continuidade espacial: dinâmica das precipitações pluviais em escala local

Tendo em vista que a precipitação pluvial apresenta dinâmica própria e alto grau de aleatoriedade, os resultados alcançados por meio dos dados sem tendência e que trazem representação em escala regional, apesar de terem demonstrado parte do comportamento das precipitações, esses não possibilitaram o entendimento do fenômeno em escala maior. Sendo assim, o conjunto de dados composto por valores dos resíduos e que representam parte da dinâmica das chuvas no território também foram modelados no semivariograma.

No Quadro 10 são apresentados os indicadores dos modelos processados e que melhor representam a dinâmica do fenômeno na área de estudo para a escala citada. As modelagens foram realizadas considerando o afastamento máximo de 870 km, e intervalo máximo de 55 km, são critérios semelhantes aqueles utilizados no tópico 5.2.1 (dados sem tendência), sendo um fator diferencial a modelagem com uso do semivariograma em número maior de cenários devido as características dos dados (resíduos). Nesse contexto, foram processados 6 modelos em 43 cenários (*Anexo III).

Os parâmetros dos semivariogramas experimentais que constam no Anexo III, e os que representam os melhores resultados das modelagens no Quadro 10, foram

definidos considerando a distribuição dos dados na malha de pontos irregular e, a relação distância (h), semivariância $\gamma(h)$ e localização (x, y).

Quadro 10 – Modelagens de dados que representam a dinâmica local das precipitações.

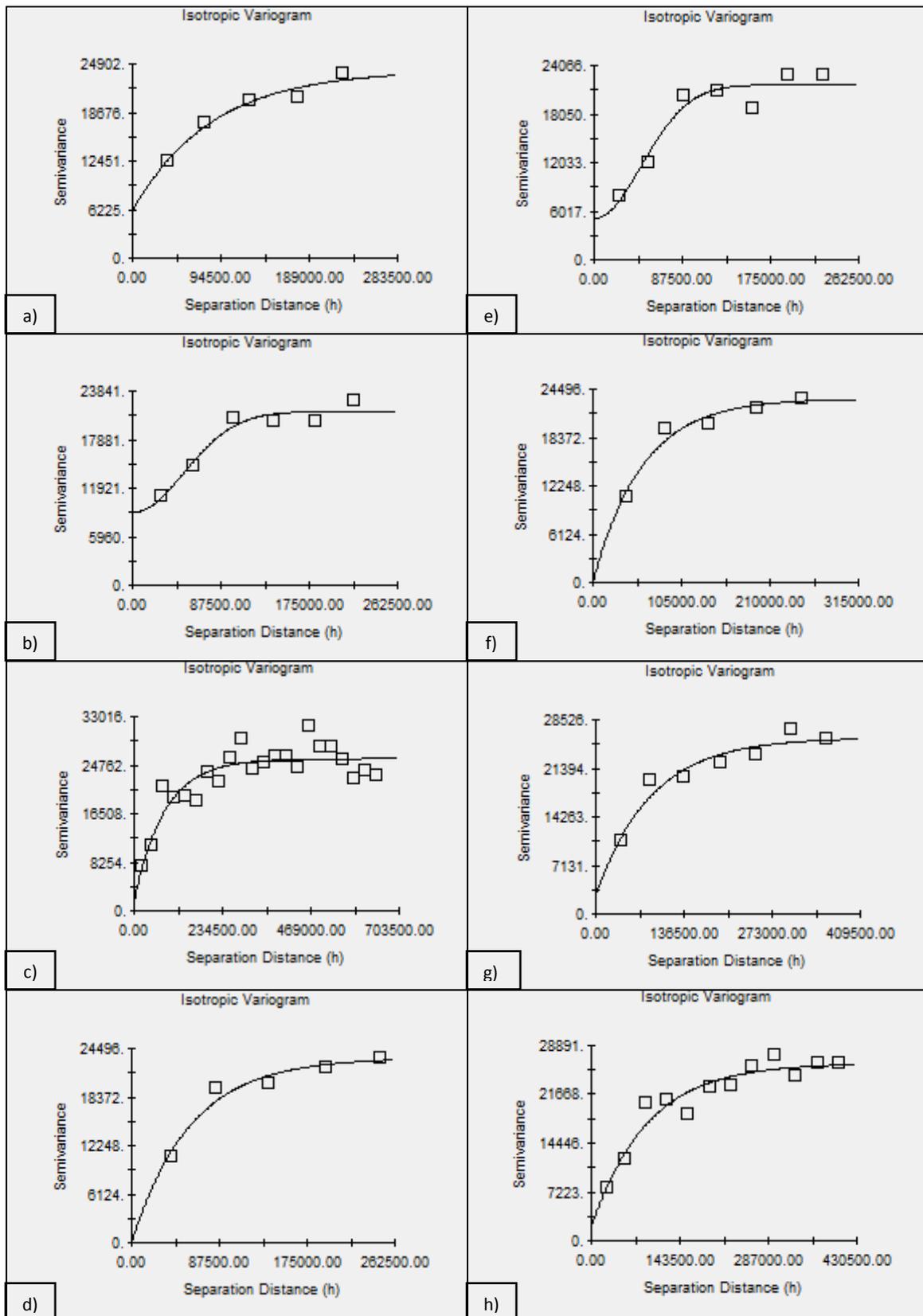
Lag Distance	Uniform Interval	Nugget Variance (Co)	Structural Variance Sill (Co+C)	Range (A)	Residual SS	R ²	Proportion (C/(Co+C))	Model Type	IDE
270,000	50,000	61100	24090000	254,70	2,74E+06	0,962	0,746	Expon.	0,25
250,000	40,000	89300	21310000	124,71	5,58E+06	0,943	0,581	Gauss	0,42
670,000	30,000	175000	25860000	246,00	1,40E+08	0,778	0,932	Expon.	0,68
250,000	55,000	10000	23300000	174,30	4,53E+06	0,955	1,000	Expon.	0,04
250,000	35,000	51100	21670000	114,66	1,50E+07	0,925	0,764	Gauss	0,24
300,000	55,000	10000	23300000	174,30	4,53E+06	0,955	1,000	Expon.	0,04
390,000	55,000	27200	25880000	257,40	1,37E+07	0,921	0,895	Expon.	0,11
410,000	35,000	206000	26270000	270,90	3,18E+07	0,920	0,922	Expon.	0,78

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 10, houve alternância entre os modelos teóricos do tipo Exponencial e Gaussiano, estes foram classificados em ordem alfabética de a) até h) na Figura 13, com coeficientes de determinação (R²) que variam de 0,788 a 0,962; alcance (*Range*) de 114,66 km e 270,90 km, e IDE com variação de 11% até 78%. Além dos fatores citados, foi analisado também a anisotropia, com os resultados obtidos trazendo indicações de isotropia.

De posse dos resultados, foi feita uma avaliação dos modelos por meio dos dados reportados em planilha eletrônica, bem como a visualização em tela, para obter dessa forma o modelo teórico que apresentou o melhor resultado frente a distribuição dos pares de pontos amostrados e modelados. Para tanto, foram considerados o posicionamento dos pontos distribuídos na malha gráfica; a quantidade de pontos envolvida na modelagem de acordo com o número de *lags* e o alcance do fenômeno (*Range*) na área de estudo, além daqueles parâmetros que compõem a estrutura da modelagem para o semivariograma (observar Quadro 10, e Figura 13).

Figura 13 – Representação de modelagens realizadas com o semivariograma – resíduos.



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Dentro do contexto citado, a modelagem representada na Figura 13g, modelo do tipo Exponencial, é a que apresentou o melhor ajuste para o conjunto de dados modelados, apresentando *lag* de 300 km, e coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,955. Os demais parâmetros analisados foram: *Nugget Variance* (Co) 10,000; *Structural Variance Sill* (Co+C) 23300000; e *range* (A) 174,30 km, dessa forma, o modelo final foi definido como descrito na Equação abaixo:

$$\gamma(h) = 10,000 + 23300000 \{1 - e^{-3 \left(\frac{870,000}{174,30} \right) h}\} \quad \text{Equação (37)}$$

Onde: $0 < d < a$

No que diz respeito a validação do modelo por meio do IDE, deve-se considerar:

$$IDE = \frac{10,000}{23300000} * 100 = 0,04 \quad \text{Equação (38)}$$

A partir dos resultados alcançados observa-se que o conjunto de dados composto pelos resíduos e que representam as flutuações do fenômeno em escala maior, apresentam forte dependência espacial com IDE = 4%. Esse percentual de dependência espacial se mostra superior aqueles obtidos com os dados sem tendência e demonstra a importância em trabalhar a variável em dois cenários (regional e local).

Quanto à distribuição dos pontos por meio da modelagem que resume o processo realizado, essa pode ser observada na Tabela 4, sendo que: no Lag 1, a distância média é 40.510,00 m, com semivariância de 10.781,98 m, e 42 pares agregados, enquanto no Lag 5, tem-se a distância é 247.794,00 m, com semivariância de 23.329,38 m e 304 pares de pontos agregados. Da mesma forma que ocorre para os dados sem tendências, para os

resíduos que representam as flutuações local, quanto maior o lag, maior será o conjunto de pares agregados e maior será a semivariância para a modelagem realizada.

Tabela 4- Distância média entre os pares amostrados de acordo com os lags.

Índices processados por meio da função Semivariograma			
<i>Lag Class</i>	<i>Average Distance (m)</i>	<i>Average Semivariace (m)</i>	<i>Pairs</i>
1	40.510,23	10.781,89	42
2	85.111,89	19.530,40	144
3	136.936,79	20.173,05	195
4	194.283,61	22.155,36	281
5	247.794,26	23.329,38	304

Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

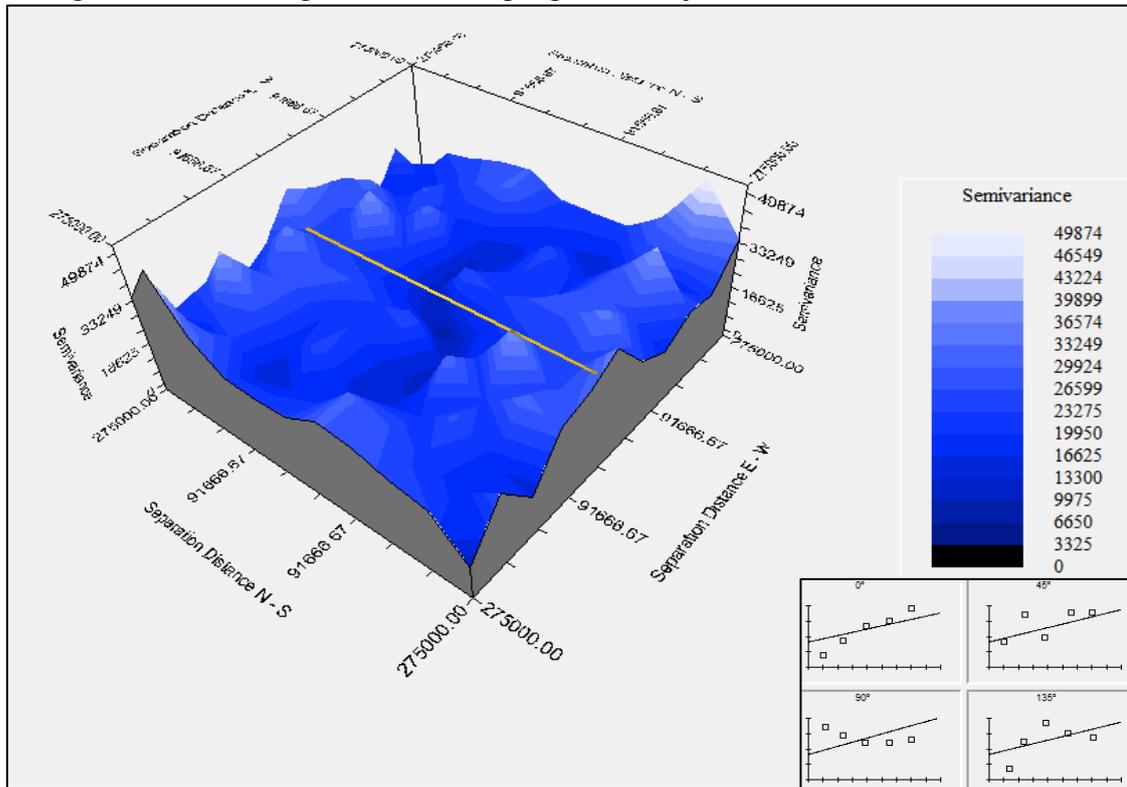
De forma geral o alcance do fenômeno na área de influência do Estado de Mato Grosso, em escala maior é de 174,3 km, tendo como parâmetros para essa definição um número máximo de 3 lags, com distância média de 136.936,79 m, e semivariância média de 20.173,05 m, envolvendo um conjunto de 195 pares de pontos agregados.

Quanto à anisotropia para o modelo teórico (Exponencial) ajustado, bem como os resultados alcançados por meio das aplicações, este não apresentou direção preferencial. Houve distanciamento da linha angular nos diferentes sentidos: E-W, N-S, NE-SW e NW-SE, em ângulo de 45°, e tolerância de 22,50°. Dessa forma, o modelo classificado como ideal frente aos processos realizados demonstra que o fenômeno é isotrópico, não existe direção preferencial para a área de estudo, segundo a malha gráfica que o representa por meio dos resíduos (tendência).

A não identificação de direção preferencial para o fenômeno pode ser analisada por meio da semivariância do modelo, que traz valores de 0 até 49,874 (Figura 14). A não existência de direção preferencial da variável em escala maior, nesta pesquisa de forma específica, é um indicador que pode ser relacionado ao comportamento das chuvas e sua variabilidade ao longo do tempo e no espaço definido. Este resultado se aproxima daquele

alcançado por meio dos dados sem tendência, reforçando que o fenômeno é isotrópico e não tem direção preferencial, segundo o período analisado (1985 a 2020).

Figura 14 – Modelagem da anisotropia para o conjunto dedados dos resíduos.

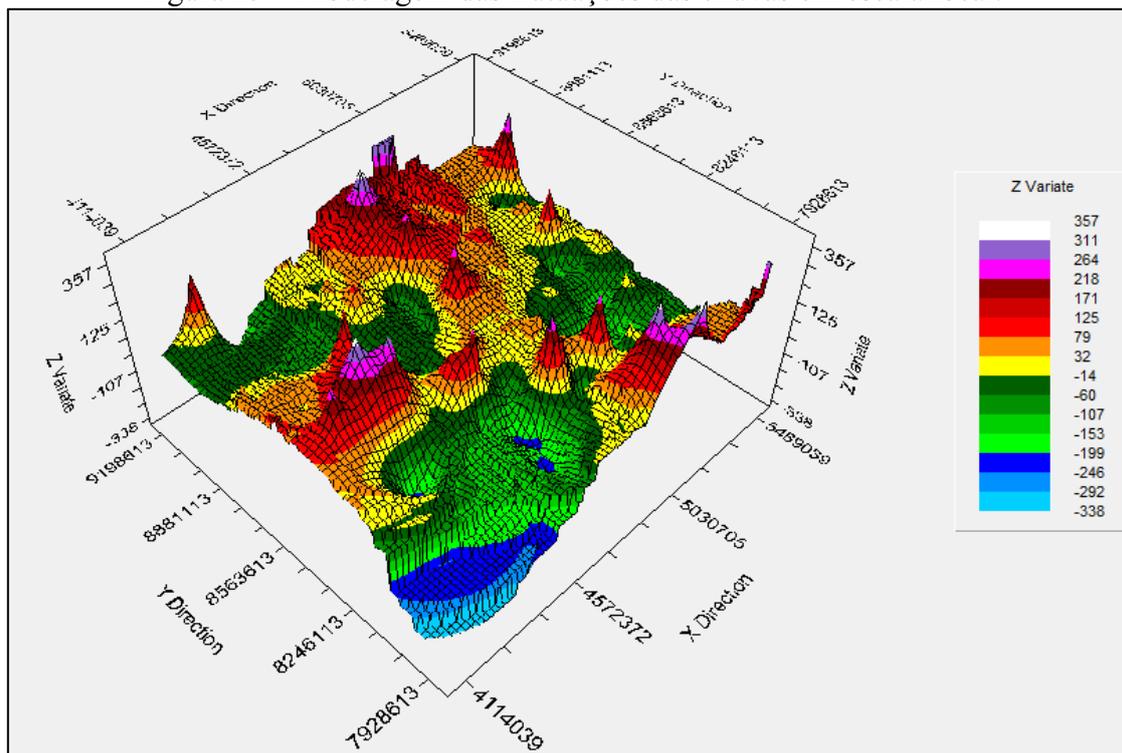


Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

5.2.5 Interpolação: dados das precipitações pluviais em escala local

A interpolação dos dados com uso da krigagem ordinária e que representam as flutuações das precipitações pluviais em escala maior por meio dos resíduos (Figura 15), seguiu os mesmos métodos aplicados ao conjunto de dados sem tendência utilizando o software GS+. Dessa maneira, os parâmetros definidos foram: intervalos (*Interval*) de representação pixel a pixel de 5 km, direções x e y, com malha de pontos (*Points (n)*) de 276 para o eixo x e, 255 no eixo y, envolvendo 14 vizinhos próximos (*Max Neighbors*), e raio (*Radios*) máximo de 370 km.

Figura 15 – Modelagem das flutuações das chuvas em escala local.



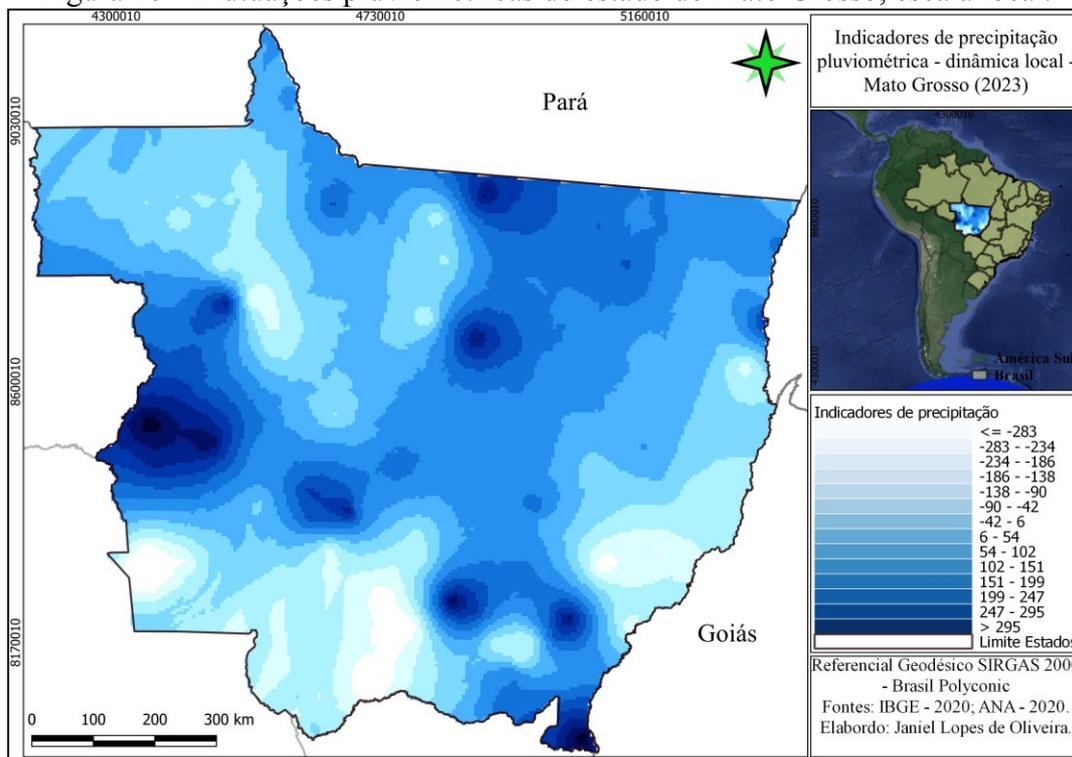
Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

O grid representando os resultados da interpolação possibilita avaliar o fenômeno considerando todas as informações contidas no banco de dados composto pelas séries estudadas e mostra parte da dinâmica espacial das chuvas no período estudado (1985 a 2020), em escala maior. Traz contribuições para entender e ajustar os valores estimados para aqueles municípios que não têm estação pluviométrica no Estado de Mato Grosso (Figura 16).

Diante dos resultados da Figura 16, percebe-se a dinâmica espacial do fenômeno por meio das flutuações locais, destacam-se índices superiores ou inferiores relacionados a média das chuvas no Estado. Existiu transitoriedade entre valores positivos e negativos, com variação de -338 a 357 mm. De forma geral, prevalece valores entre - 153 e 125 mm, estes se aproximam do erro médio alcançado com a Equação 1. O resultado demonstra a importância de se trabalhar o conjunto de dados por completo, considerando todas as

informações contidas nas séries históricas (valores sem tendência e os resíduos), tendo em vista a variabilidade das chuvas ao longo do tempo e no espaço pesquisado.

Figura 16 – Flutuações pluviométricas do estado de Mato Grosso, escala local.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Ao analisar a representação média dos eventos de precipitação pluvial (flutuações) na Figura 16, é visível a formação de corredores nos eixos centro-noroeste e centro-nordeste, com ramificações distribuídas nos eixos de oeste e sul. Nesses locais, ocorreram ao longo do período estudado desvios acima da média, denota as flutuações do fenômeno em escala maior, se comparado aos demais valores médios de flutuações para todo Estado de Mato Grosso no mesmo intervalo de tempo. Os eixos citados têm ilhas distribuídas que mostram flutuações com médias superiores ao longo do período investigado.

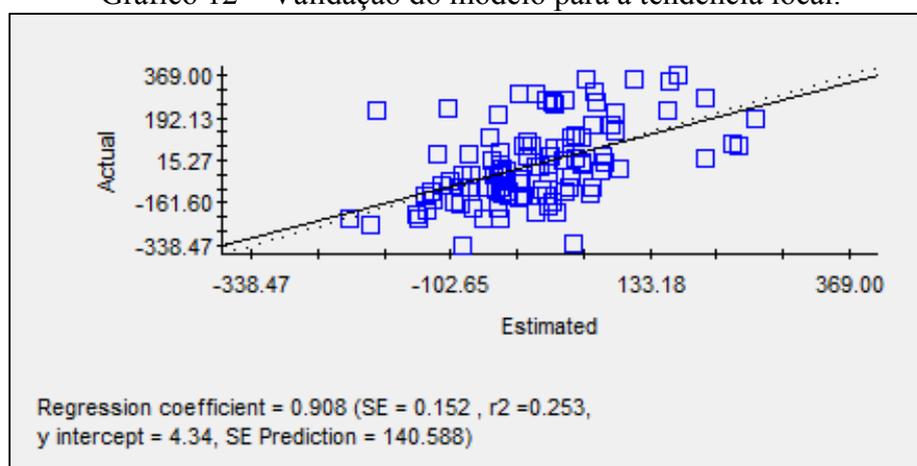
Em contexto oposto ao mencionado, ocorrem bolsões com desvios abaixo da média em Mato Grosso, onde se destaca a região pantaneira que concentra indicadores

abaixo da média no período (1985 a 2020), se comparado as demais regiões do Estado. Situações semelhantes ocorreram nos eixos de sudeste a leste, divisa de Mato Grosso com Goiás, e bolsão que se estende de norte-noroeste sentido a parte central. Tais flutuações não aparecem nos resultados alcançados por meio dos dados sem tendência que mostra a dinâmica regional das precipitações pluviiais na área de estudo.

5.2.6 Validação cruzada

A validação cruzada para o conjunto de dados processados e que representam as flutuações do fenômeno em escala local, teve coeficiente de determinação r^2 de 0,253, demonstrando distanciamento entre os valores estimados e aqueles valores amostrados (resíduos), conforme se observa no Gráfico 12.

Gráfico 12 – Validação do modelo para a tendência local.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Apesar do coeficiente de determinação estar abaixo de 50%, os resultados obtidos atendem aos objetivos propostos, processando dados que representam as flutuações locais das precipitações. Demonstra a importância de manter e/ou ampliar as redes de estações pluviométricas no Estado, tendo em vista que, quanto maior a disponibilidade de dados,

melhor serão os resultados alcançados nos estudos realizados. Os tipos de modelagens aplicadas nesta pesquisa permitem excluir os dados que degradam o valor do coeficiente de determinação (r^2); neste trabalho em específico, tal recurso não foi utilizado tendo em vista que os resíduos trazem alto nível de variabilidade, sendo está uma característica própria do fenômeno estudado.

A análise dos indicadores que compõem a modelagem e a interpolação dos dados, junto a visualização do Gráfico 12, permitiu identificar quais valores exercem maior influência na dispersão dos dados que mostram as flutuações das chuvas no estado de Mato Grosso, com destaque para os números que representam as estações 1, 2, 86 e as diferenças dos valores resultantes da malha de pontos amostrada com aqueles que foram estimados respectivamente: 227 e 191; -334 e 42; - 86 e - 338.

5.2.7 Considerações sobre a continuidade espacial das precipitações pluviais

Diante dos resultados alcançados para os dados sem tendência e para os resíduos (tendência), deve-se considerar a continuidade espacial das precipitações pluviais no Estado de Mato Grosso, segundo os indicadores das flutuações locais, com alcance de 174,3 km. Esta distância pode ser utilizada no processo de preenchimento de falhas da série histórica de determinada estação pluviométrica. Sendo assim, as estações que se encontram em um raio máximo de 174,3 km, e não apresentem falhas em suas séries, para o mesmo intervalo de tempo, podem ser utilizadas na correção dos dados falhos considerando os preceitos da literatura citada.

O entendimento mencionado ocorre considerando as respostas alcançadas por meio dos conjuntos de dados processados e modelados (semivariograma e krigagem ordinária), bem como os índices calculados que destacam com mais clareza a dinâmica e

a variabilidade das precipitações pluviais no Estado do Mato Grosso para o período estudado de 1985 a 2020. A continuidade espacial (alcance) identificada para o fenômeno analisado não se distanciou de resultados de pesquisas que aplicaram os mesmos recursos metodológicos ou técnicas que se aproximam daquelas utilizadas nesta pesquisa, mesmo tratando-se de outras regiões, estados ou bacias hidrográficas.

De acordo com o contexto supracitado, Salgueiro e Montenegro (2008) analisando a distribuição das chuvas na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, em Pernambuco - Brasil, identificaram alcance de 127 km. Entretanto Mello et al. (2008) especializaram as chuvas ocorridas em Minas Gerais - Brasil e obtiveram alcance de 100 a 450 km, para as durações de 30, 360, 720 min, e de 300 a 550 km para a duração de 1.440 minutos. Na mesma linha de pesquisa, Silva et al. (2010) realizaram a espacialização e erosividade das chuvas no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, identificaram alcances entre 10 km e 177 km.

Ainda no contexto citado, Gomes et al. (2011) analisaram dados de chuvas (média mensal) no estado da Paraíba - Brasil, e obtiveram alcances que variam de 104 a 307 km, a depender do modelo teórico (semivariograma) e mês de análise. Barreto, Santos e Cruz (2012) identificaram autocorrelação espacial das chuvas e alcance de 47,22 km no estado do Ceará - Brasil. Já Silva Neto et al. (2020) mapeando chuvas intensas em Tocantins - Brasil, obtiveram alcances de 349 a 456 km. Em pesquisa sobre a variabilidade das precipitações pluviais em Pernambuco, Barros et al. (2020) alcançaram resultados de continuidade espacial que variam entre 57 e 85 km.

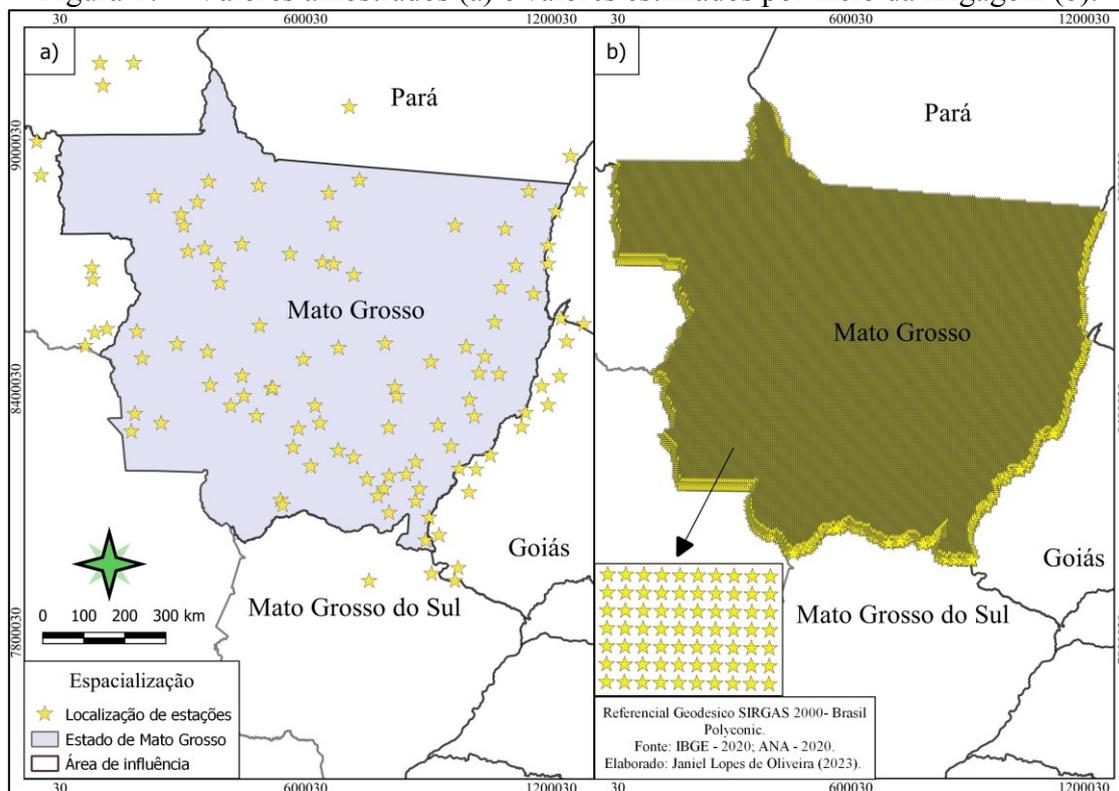
5.3 Valores estimados para municípios não amostrados no Estado de Mato Grosso

Os grids obtidos com a krigagem ordinária apresentam os valores estimados, ou seja, indicadores da média anual de chuvas para a área de estudo, tanto para locais com

dados amostrados, quanto para aqueles que não possui estação pluviométrica. Os valores que foram obtidos em ambiente do GS+, foram exportados para o QGIS, onde ocorreu a análise dos mesmos por meio da tabela de atributos (metadados), seguido de exportação destes dados para planilha eletrônica (Excel) na qual os valores foram calculados por meio da Equação 1, obtida a partir da regressão múltipla (Capítulo 3).

É necessário considerar que os processos citados foram aplicados aos resultados do modelo teórico ajustado e que representa o cômputo dos dados amostrados das 107 estações pluviométricas para a área de influência do Estado de Mato Grosso (Figura 17a), no período de 1985 a 2020 (36 anos). As aplicações metodológicas da geoestatística (semivariograma e krigagem ordinária) permitiram obter (estimar) mais de 36.000 (trinta e seis mil) pontos, englobando toda a extensão territorial da área pesquisada (Figura 17b).

Figura 17 – Valores amostrados (a) e valores estimados por meio da krigagem (b).



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

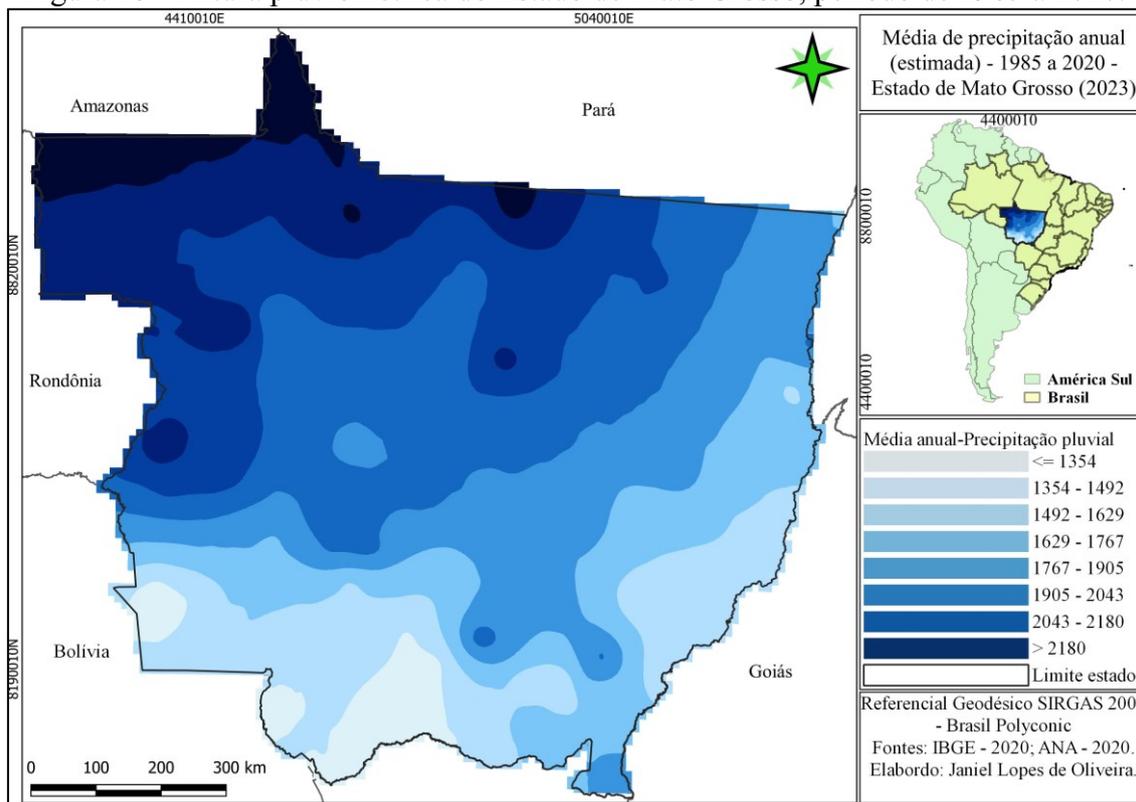
Na continuação dos processos para identificar a dinâmica das chuvas na área de estudo, os valores estimados (interpolados) por meio da krigagem ordinária receberam as tendências que foram extraídas anteriormente, tendo por objetivo a aproximação dos valores estimados para toda extensão territorial do Estado de Mato Grosso, frente aos valores amostrados no território e que formaram a base de dados (107 estações) utilizada para desenvolver esta pesquisa.

A devolução da tendência é um processo que requer atenção do pesquisador, visto que ela deve ter seu valor invertido, ou seja, dada a estação “a” com valor amostrado x , após a remoção da tendência a mesma estação pode ter valor $-x$, ou $+x$, que representa subestimativa e/ou superestimativa se relacionada aos valores amostrados. Ao devolver a tendência aos dados o valor $-x$ deve ser transformado em $+x$, assim como o $+x$ se torna $-x$, evitando dessa forma a inversão de tendências dos valores estimados por meio da krigagem ordinária, favorecendo sua aproximação àqueles valores amostrados em campo.

É observado que a devolução da tendência se faz necessário considerando a chuva como variável atmosférica que apresenta alto nível de aleatoriedade, sendo um fenômeno que traz nas séries históricas tendências que não podem ser desprezadas na realização de estudos desta natureza. Dessa forma, para aqueles valores estimados se aproximarem dos valores amostrados considerando um erro médio, é necessário devolver as tendências aos dados estimados, obtendo assim, valores médios que representam as chuvas no território, levando em consideração as flutuação do fenômeno em escala maior.

Dentro do contexto citado, após a análise dos dados na tabela de atributos (QGIS) e a devolução da tendência para os valores estimados, a Figura 18 apresenta a altura pluviométrica para todo o Estado de Mato Grosso, no período de 36 anos, de acordo com conjunto de dados (séries históricas) obtidos do portal Hidroweb da ANA. Esses dados foram processados, modelados e estimados considerando o período de 1985 a 2020.

Figura 18 – Altura pluviométrica do Estado de Mato Grosso, período de 1985 a 2020.



Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

De acordo com os resultados obtidos e apresentados na Figura 18, juntamente com as informações contidas no Anexo IV, pode-se verificar os valores de precipitação média para todos os municípios do estado de Mato Grosso, no período de 1985 a 2020. Os dados que representam a média estimada para cada município (Anexo IV), foram selecionados de forma aleatória dentre os mais de 36.000 (trinta e seis mil) valores estimados. Para a selecionar os valores representando cada município, utilizou-se ferramenta específica do QGIS, com critério aleatório e regras pré-definidas, onde nenhum município deixasse de ter representado o seu indicador médio de precipitação pluvial para o período estudado.

Entre os resultados obtidos vale destacar os valores estimados para o município de Colniza – MT, que teve média anual de chuva em torno de 2.406,03 mm. Essa foi a localidade que teve a maior média no período pesquisado. Enquanto o município de Alto Taquari - MT, teve a menor média de 1.135,84 mm. Dessa forma, o Quadro 11 apresenta

os índices dos municípios que tiveram as maiores e menores médias de chuvas estimadas no período de 1985 a 2020. Apesar de apresentar valor único, cabe observar que o mesmo município pode obter diferentes valores estimados a depender da sua zona de influência: localização (x e y), distância (h) entre os pares de pontos amostrados e da semivariância obtida na representação da continuidade espacial das precipitações na área de estudo.

Quadro 11 – Maiores e menores médias de chuvas estimada por município.

Maiores índices de precipitação média estimada						
Identificação				localização		Média estimada
*ID	Município	Bacia	Bioma	Longitude	Latitude	Chuvas
592	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4184038,5	9008612,5	2406,03
422	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4249038,5	9018612,5	2390,42
470	Cotriguaçu	R. Amazonas	Amazônia	4489038,5	9018612,5	2314,57
833	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4429038,5	8998612,5	2307,95
3	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4544038,5	9178612,5	2283,16
2328	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4244038,5	8933612,5	2276,33
2556	Cotriguaçu	R. Amazonas	Amazônia	4469038,5	8928612,5	2269,15
104	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4534038,5	9113612,5	2262,36
2945	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4389038,5	8918612,5	2259,23
350	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4569038,5	9033612,5	2225,80
4420	Cotriguaçu	R. Amazonas	Amazônia	4524038,5	8888612,5	2225,42
4865	Aripuanã	R. Amazonas	Amazônia	4284038,5	8878612,5	2217,65
5863	Aripuanã	R. Amazonas	Amazônia	4364038,5	8858612,5	2212,25
1460	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4574038,5	8968612,5	2209,66
Menores índices de precipitação média estimada						
34165	Araguainha	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5084038,5	8148612,5	1482,71
30832	Dom Aquino	R. da Prata	Cerrado	4919038,5	8258612,5	1478,42
20138	Comodoro	R. Amazonas	Cerrado	4369038,5	8523612,5	1468,61
34636	Alto Garças	R. da Prata	Cerrado	5069038,5	8128612,5	1467,86
31217	Tesouro	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5044038,5	8248612,5	1440,76
33300	Guiratinga	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5029038,5	8183612,5	1439,79
34873	Alto Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5099038,5	8118612,5	1439,75
35814	Itiquira	R. da Prata	Cerrado	4904038,5	8068612,5	1438,63
35300	Itiquira	R. da Prata	Cerrado	4969038,5	8098612,5	1411,98
35612	Alto Araguaia	R. da Prata	Cerrado	5039038,5	8083612,5	1356,23
31534	Jaciara	R. da Prata	Cerrado	4869038,5	8238612,5	1339,61
36135	Alto Araguaia	R. da Prata	Cerrado	5024038,5	8023612,5	1250,63
36191	Alto Taquari	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5094038,5	8008612,5	1196,99
36100	Alto Taquari	R. da Prata	Cerrado	5069038,5	8033612,5	1135,84

*ID que localiza o ponto estimado na malha composta por mais de trinta e seis mil pontos

Fonte - Oliveira, J. L de (2024).

De acordo com o a Figura 16 e o Quadro 11, os maiores índices de precipitação média estimados ocorrem na parte norte do Estado de Mato Grosso, na bacia do Rio Amazonas. Entretanto, os menores índices ocorrem na bacia do Rio da Prata. A partir dos resultados alcançados, é possível destacar regiões ou sub-regiões pluviais no Estado. Pode ser feita leitura e/ou análise dos índices de chuvas (média anual) por municípios, bacias hidrográficas e biomas existentes no território investigado. Dessa forma, os resultados da pesquisa contribuem para superar problemas relacionados a ausência ou generalização de informações sobre a precipitações pluviais em locais que não têm estação pluviométrico ou equipamentos similares.

Considerando o contexto da pesquisa e os resultados alcançados observa-se que: as respostas obtidas frente aos objetivos do estudo seguem métodos científicos e trazem representação que se aproxima da realidade no meio físico e, demonstra o comportamento da chuva como variável atmosférica, não sendo definitivamente os registros de ocorrência dela. Ciente que esta variável climática tem alto nível de variabilidade e apresenta dinâmica própria ao longo do tempo e no espaço, com níveis de ocorrência em diferentes escalas geográfica, temporal e espacial.

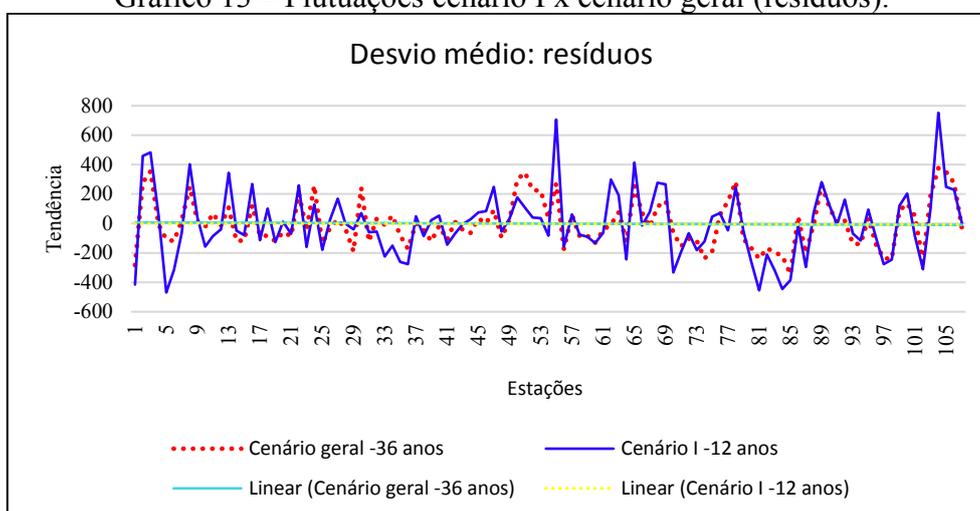
5.4 Análise dos dados de precipitação pluvial em diferentes cenários

A análise dos dados de precipitação pluvial em diferentes cenários para o Estado de Mato Grosso foi realizada tendo em vista algumas indagações que surgiram ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Os resultados obtidos por meio das modelagens e interpolações no intervalo de tempo de 36 anos possibilitaram explorar as informações contidas nas séries históricas em intervalos de tempo menores. Dessa forma, o conjunto de dados foi dividido em 3 cenários (I, II e III), com intervalos de 12 anos, ou seja,

considerando a dinâmica temporal do fenômeno e suas variações em ciclo menores, conforme já comentado no item 4.3.

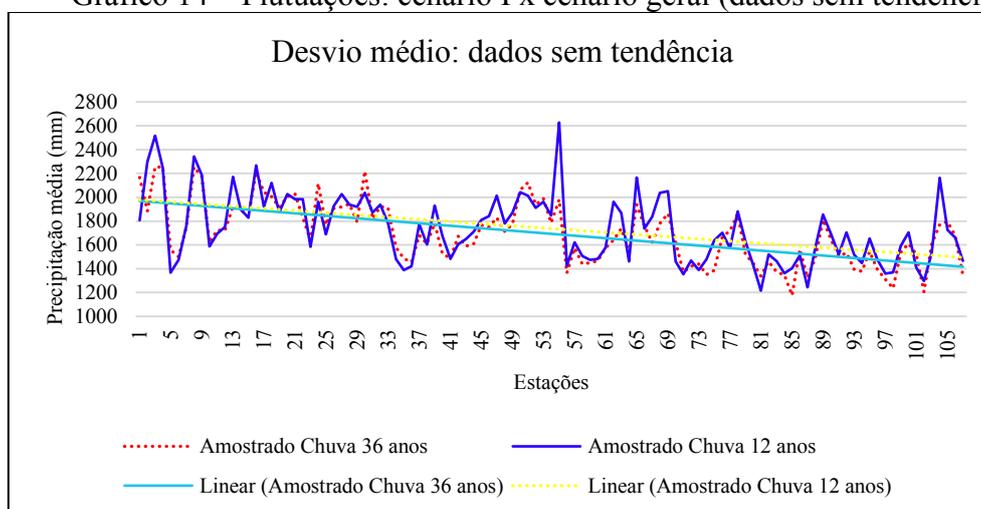
O primeiro cenário (I) foi o período de 1985 a 1996. O mesmo foi comparado com o cenário geral de 36 anos, considerando duas situações que representam a variável no intervalo de tempo de 12 anos. A primeira situação diz respeito aos resíduos que mostram as flutuações do fenômeno (Gráfico 13). A segunda situação diz respeito aos dados sem tendência e que mostram o comportamento do fenômeno em escala menor (Gráfico 14).

Gráfico 13 – Flutuações cenário I x cenário geral (resíduos).



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Gráfico 14 – Flutuações: cenário I x cenário geral (dados sem tendência).

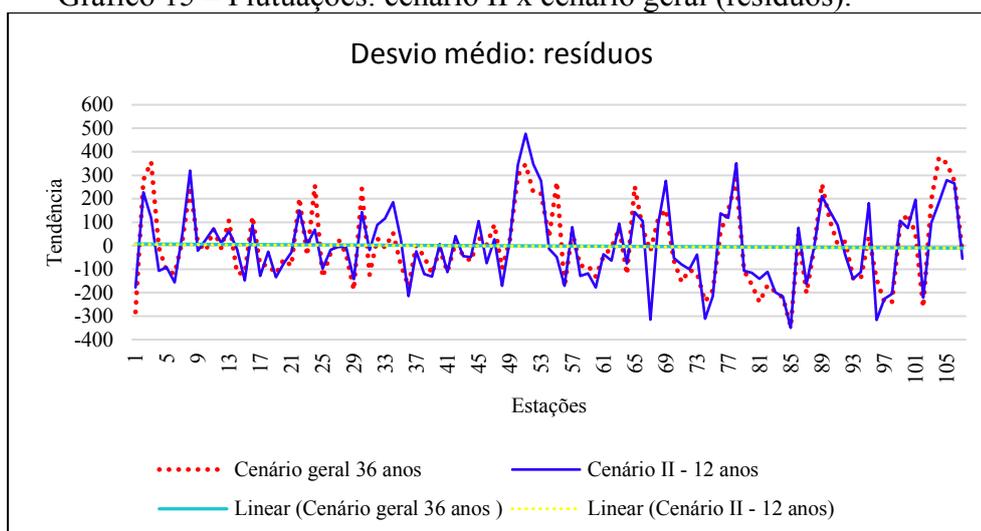


Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Relacionando os resultados alcançados no cenário I, e comparado ao cenário geral, a partir dos Gráficos 13 e 14, observa-se a ocorrência de desvio médio nos indicadores das precipitações pluviais para algumas estações pluviométricas. Essa comparação mostra que o fenômeno traz níveis de comportamento distintos entre os períodos de análise (12 e 36 anos). Os índices médios das chuvas apresentam valores superiores no cenário I, fator que demonstra a influência das médias anuais das chuvas que representam o referido cenário (12 anos), frente as médias do fenômeno no cenário geral (36 anos).

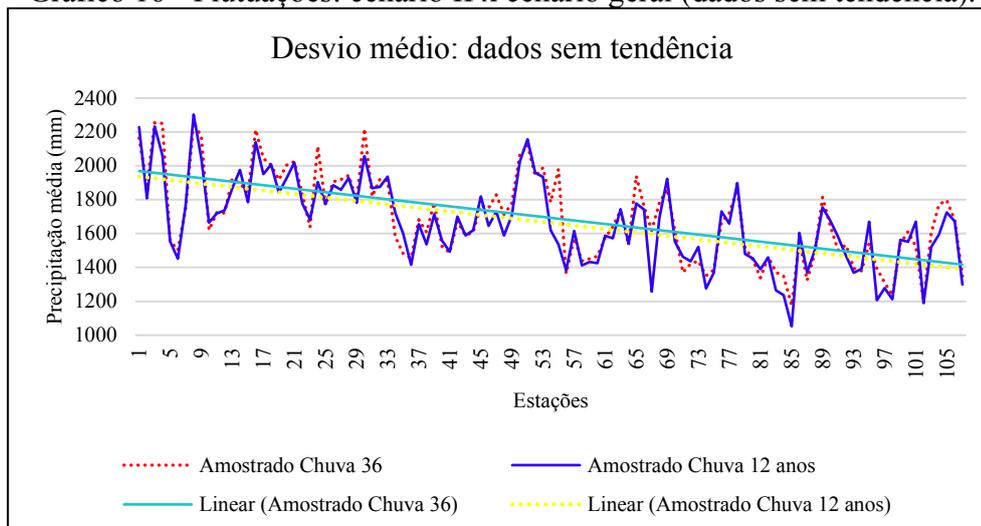
Para o cenário II (1997 a 2008), frente ao cenário geral (1985 a 2020), os Gráficos 15 e 16 apresentam os resultados obtidos para a variável, com a ocorrência de desvio médio das precipitação pluviais em algumas estações. As linhas de tendências traçadas revelam que a variável tem comportamento semelhante entre os dois cenários (1997 a 2008 (12 anos) e 1985 a 2020 (36 anos)). Dessa forma, as diferenças identificadas são fatores que têm relação com a dinâmica local do fenômeno e não altera o comportamento da variável no período de 36 anos (cenário geral).

Gráfico 15 – Flutuações: cenário II x cenário geral (resíduos).



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

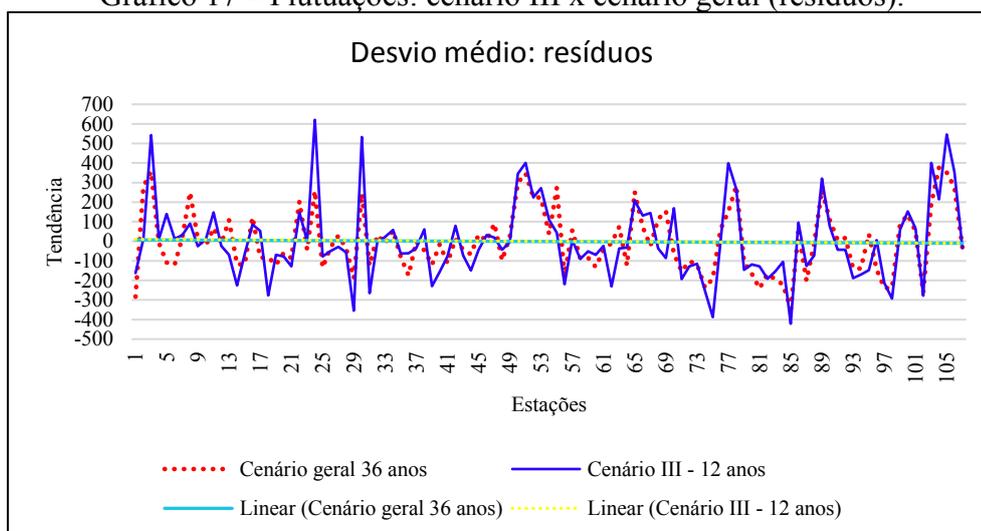
Gráfico 16 - Flutuações: cenário II x cenário geral (dados sem tendência).



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

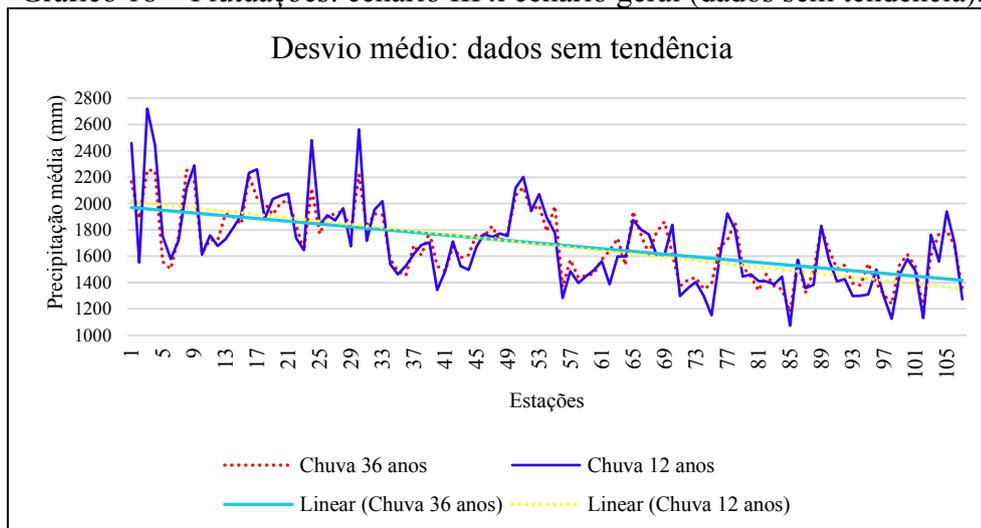
A comparação do cenário III (2009 a 2020), frente ao cenário geral (1985 a 2020) pode ser analisada nos Gráficos 17 e 18, que demonstram os resultados alcançados, respectivamente na ordem citada para o conjunto de dados formado por resíduos, que representam as flutuações local e os dados sem tendências, dinâmica regional do fenômeno no território pesquisado.

Gráfico 17 – Flutuações: cenário III x cenário geral (resíduos).



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Gráfico 18 – Flutuações: cenário III x cenário geral (dados sem tendência).



Fonte – Oliveira, J. L de (2023).

Para o cenário III, as precipitações pluviiais tiveram comportamento (médias) com diferenças entre os cenários de 12 e 36 anos, ou seja, existem desvios médios dos indicadores de chuvas em algumas estações e distanciamento entre os valores que as representam em cada cenário. Os resultados indicam influência das médias do período de 12 anos (cenário III), frente as médias do período de 36 anos (cenário geral).

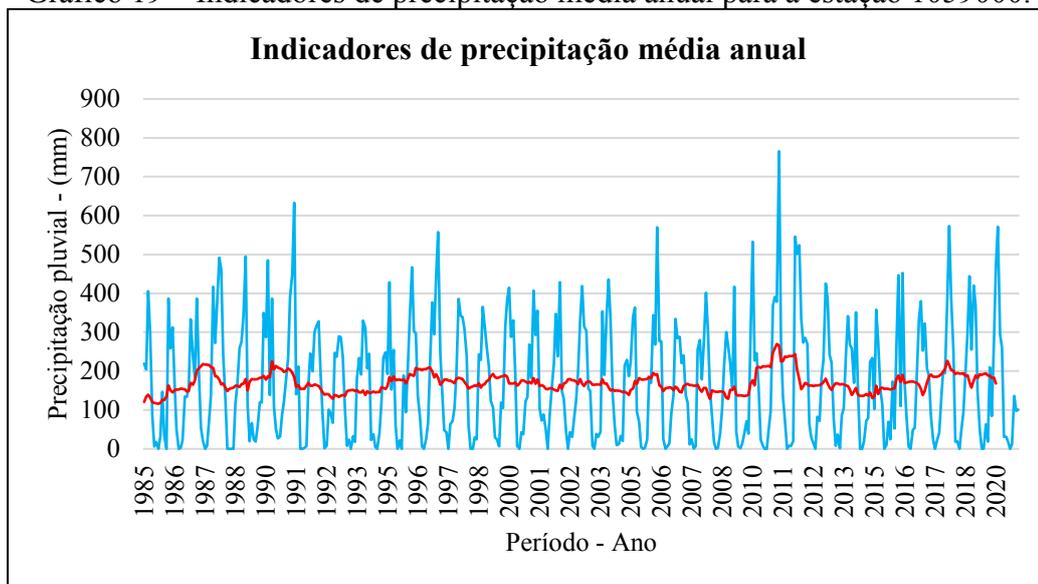
Diante dos resultados alcançados, considerando os diferentes cenários (I, II e III), que representaram períodos de 12 anos, frente o cenário geral (36 anos), período de 1985 a 2020, os dados de precipitação pluvial apresentam desvios médios que influenciam a tendência das chuvas ao longo do período investigado, com destaque para os cenários I e III, sendo que no cenário II não houve indicadores que possam influenciar na média geral.

Sendo assim, ocorre nos cenários de 12 anos, flutuações dos índices médios de precipitação pluvial em escala temporal, visto as diferenças identificadas para algumas estações no mesmo ano em períodos distintos. São valores que se afastam das médias que representam o período de 36 anos, referente a mesma estação, ou seja, é um aspecto de flutuação local das precipitações pluviiais que influencia a média geral que é representada pela altura pluviométrica do fenômeno ao longo do período analisado (1985 a 2020).

Os resultados alcançados por meio dos três cenários de 12 anos, e o cenário geral de 36 anos (1985 a 2020), podem ser relacionados as flutuações locais identificadas com uso da geoestatística. O fenômeno estudado apresenta oscilações em ciclos que se alternam ao longo do tempo no espaço, fator que precisa ser entendido com maior profundidade, sendo necessário a continuação de estudos e pesquisas nesta perspectiva, tendo em vista a compreensão da chuva como variável atmosférica por meio de cenários distintos (escala menor e escala maior), buscando evitar e/ou minimizar generalizações sobre o comportamento das precipitações pluviais no Estado do Mato Grosso.

Ainda no contexto da discussão, as flutuações identificadas podem ter relação com maior ou menor influência de eventos climáticos em decorrência do fenômeno El Niño e La Niña, de acordo com o período de desenvolvimento da pesquisa, tendo como base de referência os dados amostrados da estação 1059000, e seu comportamento demonstrado no Gráfico 19. É possível relacionar os resultados aos intervalos (anos) de ocorrência dos eventos (El Niño e La Niña) e seus desdobramentos em todo o Brasil, de acordo com Pedreira Junior et al. (2020) e Ferreira et al. (2022).

Gráfico 19 – Indicadores de precipitação média anual para a estação 1059000.



Fonte – Oliveira, J. L de (2024).

No Gráfico 19 observa-se que as médias de precipitações pluviiais no intervalo de 1985 a 1997 apresentaram oscilações que se aproxima do cenário I, período de 1985 a 1996 (Gráficos 13 e 14). As situações podem ser relacionadas a ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña, que aconteceram com diferentes níveis de intensidade e teve influência no Brasil, entre os anos de 1986 a 1998, com destaque ao La Niña de forte intensidade ocorrido entre 1988 e 1989, e o El Niño de Intensidade muito forte ocorrido em 1997 e 1998 (Pedreira Junior et al., 2020; Ferreira et al., 2022).

De outra forma, o Gráfico 19 apresenta uma situação de normalidade no período que compreende o cenário II (1997 a 2008). Intervalo de tempo que pode ser relacionado ao período de 1999 a 2006, onde ocorreram eventos (El Niño e La Niña) com menor intensidade para o Brasil, com dominância de eventos classificados como moderado ou de fraca intensidade de acordo com Pedreira Junior et al., (2020) e Ferreira et al., 2022.

Entretanto, em 2011 ocorre eventos de precipitação média que o destaca frente aos demais anos das séries analisadas. Situação que reflete a ocorrência do fenômeno El Niño com maior intensidade para o Brasil, segundo Medeiros et al. (2020). Dessa forma, pode-se avaliar os resultados do cenário III, com flutuação acima da média para o período de 12 anos (2009 a 2020), frente aos níveis de ocorrência do El Niño e La Niña no mesmo período, se aproximando de situações identificadas por Pedreira Junior et al., 2020.

No contexto da discussão apresentada, a relação entre os cenários que representam as precipitação pluviiais e as ocorrências do fenômeno El Niño e La Niña, é interpretativa, existindo situação que pode divergir tendo em vista a dinâmica das chuvas sob influência de outras variáveis climáticas, e os níveis de intensidade do El Niño e La Niña. Essa pode ser uma relação direta ou não, em maior ou menor proporção ao logo dos períodos citados e do espaço em análise, sendo necessário estudos e pesquisas específicas entre a relação dos fenômenos supracitados para o Estado de Mato Grosso.

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista as discussões que ocorrem nas últimas décadas e que envolvem as precipitações pluviais como variável climática com alto nível de variabilidade temporal e espacial, refletindo ou sofrendo influência das mudanças climáticas em curso. A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa não é possível apontar fatores de ordem humana que sejam responsáveis pelas mudanças de comportamentos das precipitações pluviais, considerando a periodicidade, intensidade e regularidade no período estudado.

Como situação problema, é válido observar que a quantidade limitada de estações pluviométricas com dados atualizados e/ou consistidos, apresentando séries históricas com muitas falhas, foi o grande gargalo no desenvolvimento desta pesquisa. Tendo em vista a necessidade de obter quantidade significativa de séries históricas com registros de no mínimo de 30 anos corridos, seguindo critérios da OMM. Dessa forma, as aplicações dos métodos de correção das falhas citados no capítulo 4, foram recursos de grande valia para mitigar os problemas identificados.

A situação mencionada (ausência de dados) pode ser revertida com a manutenção das estações existentes e ampliação da rede de monitoramento, com instalação de estações pluviométricas em locais com ausência desses equipamentos. Além da ampliação da rede, é necessário o aperfeiçoamento técnico e/ou metodológico com uso de recursos como os da geoestatística (semivariograma e krigagem) e as técnicas que surgem frente a evolução tecnológica. Nesse sentido, os dados de sensores espaciais (satélites, radares e sondas) já contribuem impulsionando novas métricas.

É válido observar que os métodos e as aplicações realizadas com uso da Estatística e Geoestatística (semivariograma e krigagem ordinária) permitiram respostas satisfatórias aos objetivos da pesquisa. Possibilitaram identificar a média mensal e anual do período

estudado, sendo definidos intervalos de tempo da pluviosidade segundo as estações do ano que marcam períodos de chuva e estiagem em Mato Grosso. Nesse sentido, destacam-se os meses de julho a setembro com os menores índices de precipitação pluvial. Os dados permitiram análise do desvio padrão e a distribuição de frequência das chuvas no período de 1985 a 2020. Foram obtidos também os valores estimados de precipitação pluvial (média do período) para os locais que não têm estação pluviométrica e conseqüentemente seus dados amostrados.

Tendo em vista os resultados alcançados a partir das aplicações realizadas nesta pesquisa, podemos afirmar que as chuvas apresentam dinâmica diferenciada no território, tendo em vista a descontinuidade espacial identificada. Essa demonstra aquelas extensões territoriais que apresentam médias de chuvas semelhantes, segundo a distância média, a localização e a semivariância dos pares de pontos amostrados no território e, retratam o fenômeno em escala temporal e espacial (local e regional).

Considerando a dimensão do Estado de Mato Grosso e sua localização geográfica, onde foram identificadas distâncias superiores a 1.400 km de extensão no eixo norte sul. A continuidade espacial de 174,3 km, identificada para as chuvas demonstra regiões e/ou sub-regiões com níveis de pluviometria distintos a partir da distância mencionada. Essa pode ser tratada ou caracterizada como descontinuidade espacial das chuvas no território. Dessa maneira, identificou-se que a região sudoeste e parte da região sudeste do Estado apresentam os menores indicadores de precipitação média anual, com destaque para áreas do Bioma Cerrado e glebas no Pantanal mato-grossense.

Ainda no contexto citado, as manchas e/ou glebas com os menores indicadores de chuvas que foram identificadas na região sudoeste e sudeste de Mato Grosso, reforçam a teoria que essas regiões ou mesorregiões precisam de maior atenção por parte do poder público e da sociedade de forma geral. Tendo em vista a necessidade de preservar nichos

ecológicos e elementos do meio físico que contribuem para a conservação das águas e seus mananciais, considerando parâmetro e/ou indicadores de quantidade e qualidade ao longo do tempo no território.

Observa-se que, os valores estimados para locais não amostrados contribuem para o melhor entendimento da distribuição das chuvas no território e sua altura pluviométrica, sendo informação de grande valia no processo de gestão e planejamentos de atividades voltadas a preservação dos mananciais. Tendo em vista que os métodos de modelagens e a respectiva validação minimizam a extrapolação ou generalização oriundos do efeito de borda, ou buracos para locais que não tem dados de chuvas amostrados no território para o período de desenvolvimento da pesquisa (1985 a 2020).

Cabe destacar que os resultados alcançados nesta pesquisa trazem contribuições metodológicas e demonstram a importância do processamento dos dados que compõem as séries históricas por completo, considerando a dinâmica espacial e temporal da variável seguindo preceitos da estatística e geoestatística. Aplicando, métodos que proporcionem respostas em diferentes escalas, considerando a variabilidade das chuvas como variável regionalizada, e não deixando de integrar e processar informações que podem evidenciar parte do comportamento do fenômeno no território analisado.

A partir das leituras e exercícios realizados ao longo da pesquisa, entende-se que existe generalização em parte da literatura (artigos publicados), frente as aplicações com uso da geoestatística (semivariograma e krigagem) no processamento e modelagem de dados da precipitação pluvial como variável atmosférica com alto nível de aleatoriedade. É comum a normalização do conjunto de dados seguindo alguns preceitos bibliográficos, com possível desprezo e não tratamento de parte das informações que compõem as séries históricas das precipitações pluviais como variável regionalizada e com alto nível de variabilidade temporal e espacial.

Observam-se trabalhos que realizam aplicações diretas para o conjunto dos dados amostrados (brutos), e outros, utilizam dados normalizados (sem tendência) ou resíduos (tendências dos dados), renunciando a um ou outro frente aos cenários apresentados no mesmo trabalho, dificultando no entendimento dos resultados apresentados. A situação é favorecida pela existência de *softwares* (SIG) que trazem ferramentas de processamento de grande quantidade de dados e informações de forma automática. É necessária atenção e responsabilidade do pesquisador frente aos resultados obtidos, visto representações que podem se distanciar da realidade no meio físico.

Considerando o contexto citado, esta pesquisa trabalhou com dois cenários: dados sem tendência representado a dinâmica regional em escala menor; e as tendências dos dados representado as flutuações do fenômeno em escala maior, aspectos que destacam a escala espacial e escala temporal, seguindo os preceitos da literatura. As respostas obtidas para os respectivos cenários contribuíram na definição da descontinuidade espacial do fenômeno e para estimar valores da média anual das chuvas no período estudado para os locais não amostrados no Estado de Mato Grosso.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê, 2012. 158 p.

ALVES, L. M. Clima da região Centro-Oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. (org.) et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Manual do usuário - ANA, 2010**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/hidro.pdf>. Acesso em 01/07/2020.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados pluviométricos**. Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília: ANA, SGH, 2011. 18 p.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165 p.

ARAÚJO, L. F. de; AMORIM, M. C. de; C. T., DUBREUIL, V.; ARVOR, D. A variação espacial da ilha de calor e sua associação com as características paisagísticas em Sinop-MT. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2022, 31(18), 384–412. <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15470>

ARAUJO, L. M. N. de. **Identificação de padrões hidrológicos de precipitação e de umidade do solo na bacia hidrográfica do rio Piabanha/RJ**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil, RJ, 2016.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: A management perspective**. Waveland Press, 2015.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 350 p.

BARRETO, H. B. F.; PEREIRA, G. M.; BARRETO, F. P.; FREIRE, F. G. C.; MAIA, P. M.E. Relação intensidade-duração-frequência para precipitação extrema em Mossoró – RN. **Global Science and Technology**: Rio Verde, v. 7, n. 3, p. 103–109, 2014. <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v7n3p103-109>

BARRETO, H. B. F.; SANTOS, W. de O.; CRUZ NETO, C. M. Análise da distribuição da precipitação pluviométrica média anual no estado do Ceará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7 n. 2, p. 122-128, 2012.

BARROS, T. H. D. S.; BENDER, F. D.; SILVA, F. R. B.; JOSÉ, J. V.; COSTA, J. O.; COELHO, R. D. Geoestatística como ferramenta para estudos da variabilidade da

precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco, Brasil. **Agrarian**, 13(50), 513-520, 2020. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i50.11982>

BARRY, G. R.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013.

BATURIN, O. **Modelos estruturais na análise de séries temporais de dados ambientais**. 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade do Minho, Escola de Ciências, 2016.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. Cap. 5. p. 177-241.

BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. A espacialização temporal da massa tropical continental no centro-sul do Brasil. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 39, n. 1, p. 91-107, jan./abr. 2014. ISSN Eletrônico: 1983-8700.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos - SP: INPE, 2001. p. 7-41. (INPE-10506-RPQ/249).

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R. M.; BARBOSA, C. C. B.; FILHO, R. A.; BÔNISCH, S. Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos - SP: INPE, 2001. p. 7-41. (INPE-10506-RPQ/249).

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. (ed.) **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf. Acesso em: 26 jun. 2021.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial e geoprocessamento**. São José dos Campos, Brasil: INPE, 2002. p. 27. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.07.14.45/doc/cap1-intro.pdf>. Acesso em: 28/03/2021.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: FUKS, S. D.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 37.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 377-384, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000200011>

CARVALHO, J.R.P. de; 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**, v. 47, n. 9, p. 1235-1242, set. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900008>

CASTRO, F. S.; XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; MOREIRA, A. A.; PENA, F. E. R.; SOUZA, J. M. Uso de imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) na espacialização da temperatura do ar no estado do Espírito Santo. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

CLARK, I. **Practical Geostatistics**. London: Applied Science Publishers Ltd., 1979.

COSTA, M. S., et al. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 05, p. 1321-1334, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150071>

COUTINHO, A. C. (2005). **Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local**. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Procam, Universidade de São Paulo; 308 p.

CRESSIE, N. **Statistics for Spatial Data** (Revised Edition). John Wiley & Sons, 1993. <https://doi.org/10.1002/9781119115151>

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística fácil**. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2001. 224 p.

DALY, C.; NEILSON, R. P.; PHILLIPS, D. L. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous Terrain. **Journal of Applied Meteorology**, 33(2), 140–158, 1994. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2)

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, 2007, p. 1862-1866. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>

DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p.192-198, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0006-052013000200012>

EMÍDIO, Z. P. de O. **Impacto do balanço hídrico em diferentes tipos de solos: comparação entre dados de radar: pluviômetro e análise de tendência da chuva média em área agrícola**. 2008. 147 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2008.

FERREIRA, L. C. V.; BATISTA, G. R.; COSTA, C. E. A. S.; MIRANDA, S. B. A.; DIAS, G. F. M. Os índices de anomalia de chuva e sua relação com o El Niño oscilação sul na bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 17, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i17.38004>

FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. **Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis**. Sage, 2000.

GAMMA DESIGN SOFTWARE - GS+: **Geostatistics for the Environmental Sciences**, 2023. Disponível em: <https://geostatistics.com/>. Acesso em: 19/11/2023.

GOMES, O. M.; SOUZA, F. A. S.; SANTOS, C. A. C.; PAIVA, W. Análise Geoestatística da Precipitação Pluvial do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 4, n. 4, 2011. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232712>.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. Oxford University Press, 1997.

HERREZUELLO, M. C. G. **Un Estudio de la variabilidad climática en la Península Ibérica**. 344f. Tese de Doutorado em Ciências Físicas, Universidad de Extremadura. 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil**, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso 25/02/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População no último censo, 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama>. Acesso em: 29/11/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002. **Clima – 1:5 000 000**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 23/02/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. **Estado de Mato Grosso – Geomorfologia**. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/mt_geomorfologia.pdf. Acesso em: 25/02/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002. **Cobertura e Uso da Terra do Brasil na escala 1:250 000**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15833-uso-da-terra.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 25/02/2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil período de 1991 a 2020**. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/prec>. Acesso em: 03/02/2023.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups, 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, 151 pp.

IPCC, 2021: **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560 p.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15., 2006, Caxambu. **Anais...** Belo Horizonte: Abep, 2006. v. 1, p. 1- 22. Disponível em:
<https://www.nepo.unicamp.br/vulnerabilidade/admin/uploads/producoes/M%C3%A9to%20dosInterpola%C3%A7%C3%A3o.PDF>. Acesso em: 02/02/2024.

JAMES, G.; WITTEN, D.; HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. (2013). **An introduction to statistical learning**. Vol. 112. Springer, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>

JOURNEL, A. G.; e HUIJBREGTS, C. J. **Mining Geostatistics**. Academic Press, 1978.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003, 2. ed., 253 p.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. 1ª reimp. - Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. Cap. 4. p. 79-176.

LIMA, E. A. de. **Modelagem de séries temporais em dados de temperatura do ar por semivariografia univariada: interpolação spline e validação cruzada**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2015.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Tradução: SCHNEIDER, A., et al. 3. ed. Porto Alegre: Bookman., 2013. 540 p.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. de R.; ROCHA, H. M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V. 16 - Nº. 4 – Out/dez – 2011.
<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v16n4.p157-167>

MARCUZZO, F. F. N.; NAYHARA, N, L. O.; CARDOSO, M. R. D. Tendência do número de dias de chuva no estado do Mato Grosso. **Ciência e Natura**, vol. 34, n.2, 2013. <https://doi.org/10.5902/2179460X9342>

MARENGO, J. A. Condições climáticas e recursos hídricos no norte brasileiro. In: TUCCI, C. E. M., et al. (Orgs). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, V. 9. 2003. p. 117/156.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E.; LACERDA, F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. (Orgs.). **Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas**. INSA, Campina Grande, p. 383- 416, 2011.

MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA JÚNIOR, J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000200016>

MEDEIROS, R. M.; KOZMHINSKY, M.; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. Temperatura média do ar e suas flutuações no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, n.2, v.1, 2018.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; SABOYA, L. M. F.; NETO, F. C. R.; HOLANDA, R. M. H.; ARAÚJO, W. R. Influência do El Niño e La Niña na precipitação em São Bento do Una - Pernambuco, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e29791211074, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.11074>

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M. de.; SILVA, A. M. de. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, 32, 532-539, (2008). <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200029>

MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o Município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, 229-239, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631220150040>

MELLO, Y. R. de.; SAMPAIO, T. V. M. Análise geoestatística da precipitação média para o estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64468>

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 68-74, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000100010>

MELLO, Y. R. DE; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T. M. N. DE. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 1, p. 112-121, 9 ago. 2017. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30893>

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseado em análise de multicritérios. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis – SC, Brasil, 2007, INPE. v.1, p. 2899-2906.

NASCIMENTO, T. S.; SARAIVA, J. M. B.; Senna, R.; AGUIAR, F. E. O. Preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos com base em dados do CPC (Climate Prediction Center): Estudo de caso do Rio Solimões - Amazonas. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 7, n. 6, 2010.
<https://doi.org/10.5380/abclima.v7i0.25643>

NIMER E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 421p.

OLIVEIRA, J. L.; OLIVEIRA, L. A. Análise de Eventos de Precipitações no Município de Itaguaçu da Bahia Mesorregião Semiárida no Estado da Bahia. In: II SUSTENTARE e V III Sustentare – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade 16 a 18 de novembro de 2021 12 WIPIS - Workshop Internacional sobre Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos. **Anais [...]**. Campinas (SP) PUC-CAMPINAS, 2020. Disponível em:
https://www.even3.com.br/anais/2_SUSTENTARE_5_WIPIS/. Acesso em: 27/09/2021.

PEDREIRA JUNIOR, A. L.; QUERINO, C. A. S.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; SANTOS, L. O. F.; IVO I. O. 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**, Porto Alegre, v. 25, e24, 2020.
<https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190152>

PENEREIRO, J. C.; ORLANDO, D. V. Análises de tendência em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os Estados do Maranhão e Piauí/Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.7, n.2, p.5-21, 2013.
<https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i2.2988>

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

PEREIRA, G.W.; VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.d.; COELHO, A.L.d.F.; COSTA, M.M.; Grift, T. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy**, 2022, 12, 1350. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>.

PINHEIRO, G. M. **Variabilidade temporo-espacial da pluviosidade na Bacia do Alto Iguaçu**. Tese de Doutorado em Geografia, Curitiba/PR, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2016, 274 p.

PINTO, P. H. P. **As chuvas no estado do Tocantins: distribuição geográfica e gênese das variações rítmicas**. 2013. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

PORTELA, M.M.; QUINTELA, A.C.; SANTOS, J.F.; VAZ, C; MARTINS, C. Tendências em séries temporais de variáveis hidrológicas. **Associação Portuguesa de Recursos Hídricos**, v. 32, n. 1, p. 43-60, 2011.

QGIS. **Guia do Usuário QGIS**. Versão 3.16 (2023). Disponível em: https://docs.qgis.org/3.28/pt_BR/docs/user_manual/index.html. Acesso em: 19/11/2023.

QUEIROZ, M. A. **Avaliação de tendências em séries de precipitação diária máxima anual na faixa central do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte, 202p., 2013.

SALGUEIRO, J. H. P. de B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Rev. Tecnol.** Fortaleza, v. 29, n. 2, p.174-185, dez. 2008.

SANCHES, F. O.; MAY, G. C.; SILVA, R. V.; FERREIRA, R. V. Chuvas no norte gaúcho: um estudo sobre a tendência das chuvas e mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, a. 12, v. 18, p. 349-360, jan/jun 2016. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.45287>

SANTOS, A. **Análise de Cenários de Precipitação dos Modelos ETA E HadRM3P (PRECIS)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Cuiabá, 2012.

SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. de. Análise dos índices extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IDVN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, 303-312, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000300003>

SANTOS, G. R. dos. **Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos**. 2010. 200 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTOS, G. R. dos. et al. Krigagem simples versus krigagem universal: qual o preditor mais preciso? **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v 26, n. 2, p.49-55, 2011. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2011v26n2p49-55>

SANTOS, K. S.; OLIVEIRA, B. F. A.; IGNOTTI, E. Mudanças Climáticas e Suas Relações com o Uso da Terra no Município de Alta Floresta – Amazônia Meridional Brasileira. **Revista Biodiversidade Brasileira**, 11(3): 1-11, 2021. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i3.1703>.

SEPLAN-MT - Secretaria do Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Anuário estatístico 2001**: Estado de Mato Grosso - Cuiabá, 2002. 648 p.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; STEINKE, E. T.; MÜLLER, A. G. Clima do Bioma Cerrado In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. **Agricultura tropical: quatro**

décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N., CURI, N.; SANTOS, G. R.; MARQUES, J. J. G. S. e. M.; MENEZES, M. D.; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 34(4), 1029-1039, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400003>.

SILVA NETO, V. L.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; SILVA, D. D.; GIONGO, M.; PEREIRA, S. B. Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 35(1), 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351017>.

SOUZA, N. S. **Análise da relação da radiação solar global na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá-MT.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2016. 73 p.

SOUZA FILHO, F. A. Variabilidade e mudanças climática nos semiárido brasileiros. In: TUCCI, C. E. M., et al. (Org.). **Clima e recursos hídricos no Brasil.** Porto Alegre: ABRH, V. 9. 2003.

TEODORO, P. E.; CUNHA, E. R.; CORREA, C. C. G.; RIBEIRO, L. P.; TORRES, F. E.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; BACANI, V. M. Altitude and geographic coordinates to estimate monthly rainfall in the State of Mato Grosso do Sul. **Bioscience Journal**, 32, n.1, p. 41 - 47, 2016. <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n1a2016-29387>

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. **Clima e recursos hídricos no Brasil.** Porto Alegre: ABRHidro, 2003. 348 p.

TUCCI, C. E. M. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. In: TUCCI, C. E. M., et al (Org.). **Clima e recursos hídricos no Brasil.** Porto Alegre: ABRH, V. 9. 2003. p. 31/65.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. Clima e recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M., et al (Org.). **Clima e recursos hídricos no Brasil.** Porto Alegre: ABRH, V. 9. 2003. p. 1/26. VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife: Versão Digital, 2006. 463 p.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications.** Springer, 2003. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05294-5PMCid:PMC169075>

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists.** New York: J. Wiley, 2001. 271p.

ANEXOS

Anexo I: Percentual de falhas identificadas e corrigidas nas séries históricas (continua).

Estado	Município	Sub-bacia	Código estação	Quantidade de dados	Número de falhas	Percentual de falhas	Período
AM	NOVO ARIPUANÃ	15	759000	432	6	1,39%	1985 a 2020
TO	ARAGUACEMA	27	849002	432	8	1,85%	1985 a 2020
PA	ITAITUBA	17	855000	432	19	4,40%	1985 a 2020
RO	MACHADINO D'OESTE	15	862000	432	13	3,01%	1985 a 2020
PA	SANTANA DO ARAGUAIA	27	950001	432	9	2,08%	1985 a 2020
TO	PIUM	26	950002	432	15	3,47%	1985 a 2020
MT	VILA RICA	26	951000	432	5	1,16%	1985 a 2020
MT	GUARANTÃ DO NORTE	17	954001	432	35	8,10%	1985 a 2020
RO	MACHADINO D'OESTE	15	961003	432	36	8,33%	1985 a 2020
MT	LUCIARA	26	1050000	432	10	2,31%	1985 a 2020
TO	SANTA TERISINHA	26	1050002	432	16	3,70%	1985 a 2020
MT	PORTO ALEGRE DO NORTE	26	1051001	432	6	1,39%	1985 a 2020
MT	CARLINDA	17	1055001	432	34	7,87%	1985 a 2020
MT	COLÍDER	17	1055002	432	14	3,24%	1985 a 2020
MT	NOVA MONTE VERDE	17	1057001	432	36	8,33%	1985 a 2020
MT	JURUENA	17	1058003	432	35	8,10%	1985 a 2020
MT	ARIPUANÃ	15	1058005	432	43	9,95%	1985 a 2020
MT	ARIPUANÃ	15	1059000	432	2	0,46%	1985 a 2020
MT	SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA	26	1150001	432	8	1,85%	1985 a 2020
MT	ALTO BOA VISTA	26	1151000	432	7	1,62%	1985 a 2020
MT	SANTA CARMEM	18	1154001	432	21	4,86%	1985 a 2020
MT	SINOP	17	1155000	432	26	6,02%	1985 a 2020
MT	TABAPORÃ	17	1156000	432	9	2,08%	1985 a 2020
MT	PORTO DOS GAÚCHOS	17	1156001	432	20	4,63%	1985 a 2020
MT	JUARA	17	1157001	432	21	4,86%	1985 a 2020
MT	JUÍNA	17	1158001	432	4	0,93%	1985 a 2020
MT	JUÍNA	17	1158002	432	13	3,01%	1985 a 2020
MT	BRASNORTE	17	1158003	432	40	9,26%	1985 a 2020
RO	PIMENTA BUENO	15	1160000	432	26	6,02%	1985 a 2020
RO	PIMENTA BUENO	15	1160002	432	26	6,02%	1985 a 2020
TO	ARAGUAÇU	26	1249001	432	37	8,56%	1985 a 2020
GO	SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA	26	1250000	432	37	8,56%	1985 a 2020
MT	NOVO SANTO ANTÔNIO	26	1250001	432	10	2,31%	1985 a 2020
MT	BOM JESUS DO ARAGUAIA	18	1251000	432	24	5,56%	1985 a 2020
MT	RIBEIRÃO CASCALHEIRA	18	1251001	432	31	7,18%	1985 a 2020
MT	BRASNORTE	17	1257000	432	21	4,86%	1985 a 2020
GO	SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA	26	1350002	432	21	4,86%	1985 a 2020

Anexo I: Percentual de falhas identificadas e corrigidas nas séries históricas (continua).

Estado	Município	Sub-bacia	Código estação	Quantidade de dados	Número de falhas	Percentual de falhas	Período
MT	COCALINHO	26	1351000	432	19	4,40%	1985 a 2020
MT	CANARANA	18	1352001	432	17	3,94%	1985 a 2020
MT	CANARANA	18	1352002	432	31	7,18%	1985 a 2020
MT	CAMPINÁPOLIS	18	1353001	432	26	6,02%	1985 a 2020
MT	PARANATINGA	18	1354000	432	38	8,80%	1985 a 2020
MT	NOVA MUTUM	17	1356002	432	22	5,09%	1985 a 2020
MT	NOVA MARINGÁ	17	1357000	432	19	4,40%	1985 a 2020
MT	CAMPO NOVO DO PARECIS	17	1358001	432	20	4,63%	1985 a 2020
MT	SAPEZAL	17	1358002	432	38	8,80%	1985 a 2020
MT	COMODORO	17	1359000	432	0	0,00%	1985 a 2020
MT	COMODORO	17	1359001	432	25	5,79%	1985 a 2020
RO	COLORADO DO OESTE	15	1360000	432	16	3,70%	1985 a 2020
RO	CEREJEIRAS	15	1360001	432	8	1,85%	1985 a 2020
RO	PIMENTEIRAS DO OESTE	15	1360002	432	8	1,85%	1985 a 2020
GO	NAVA CRIXÁS	25	1450000	432	4	0,93%	1985 a 2020
GO	MOZARLÂNDIA	25	1450001	432	1	0,23%	1985 a 2020
GO	NOVA CRIXÁS	25	1450002	432	7	1,62%	1985 a 2020
GO	ARUANÃ	25	1451000	432	32	7,41%	1985 a 2020
MT	NOVA XAVANTINA	26	1452000	432	5	1,16%	1985 a 2020
MT	ÁGUA BOA	18	1452004	432	9	2,08%	1985 a 2020
MT	PARANATINGA	18	1453000	432	15	3,47%	1985 a 2020
MT	PARANATINGA	17	1454000	432	18	4,17%	1985 a 2020
MT	ROSÁRIO OESTE	66	1455008	432	44	10,19%	1985 a 2020
MT	ARENÁPOLIS	66	1456001	432	6	1,39%	1985 a 2020
MT	NORTELÂNDIA	66	1456003	432	29	6,71%	1985 a 2020
MT	TANGARÁ DA SERRA	66	1457000	432	41	9,49%	1985 a 2020
MT	BARRA DO BUGRES	66	1457001	432	36	8,33%	1985 a 2020
MT	DIAMANTINO	17	1457003	432	25	5,79%	1985 a 2020
MT	TANGARÁ DA SERRA	17	1458002	432	25	5,79%	1985 a 2020
GO	BRITÂNIA	25	1551000	432	3	0,69%	1985 a 2020
GO	ARAGARÇAS	24	1551002	432	16	3,70%	1985 a 2020
MT	GENERAL CARNEIRO	24	1552001	432	14	3,24%	1985 a 2020
MT	BARRA DO GARÇAS	26	1552002	432	3	0,69%	1985 a 2020
MT	BARRA DO GARÇAS	24	1552006	432	25	5,79%	1985 a 2020
MT	PRIMAVERA DO LESTE	26	1554005	432	42	9,72%	1985 a 2020
MT	JACIARA	66	1554006	432	16	3,70%	1985 a 2020
MT	CAMPO VERDE	26	1555005	432	16	3,70%	1985 a 2020
MT	CHAPADA DOS GUIMARÃES	66	1555008	432	23	5,32%	1985 a 2020
MT	CUIABÁ	66	1556000	432	3	0,69%	1985 a 2020
MT	NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO	66	1556001	432	25	5,79%	1985 a 2020
MT	BARRA DO BUGRES	66	1557001	432	13	3,01%	1985 a 2020

Anexo I: Percentual de falhas identificadas e corrigidas nas séries históricas (conclui).

Estado	Município	Sub-bacia	Código estação	Quantidade de dados	Número de falhas	Percentual de falhas	Período
MT	PONTES E LACERDA	15	1559000	432	2	0,46%	1985 a 2020
MT	VILA BELA DA SANTÍSSIMA TRINDADE	15	1559006	432	4	0,93%	1985 a 2020
MT	VILA BELA DA SANTÍSSIMA TRINDADE	15	1560000	432	34	7,87%	1985 a 2020
GO	BOM JARDIM DE GOIÁS	24	1652000	432	9	2,08%	1985 a 2020
MT	TORIXORÉU	24	1652002	432	11	2,55%	1985 a 2020
GO	DOVERLÂNDIA	24	1652003	432	11	2,55%	1985 a 2020
MT	TESOURO	24	1653000	432	3	0,69%	1985 a 2020
MT	GUIRATINGA	24	1653002	432	25	5,79%	1985 a 2020
MT	ALTO GARÇAS	24	1653004	432	2	0,46%	1985 a 2020
MT	ARAGUAINHA	24	1653005	432	22	5,09%	1985 a 2020
MT	RONDONÓPOLIS	66	1654000	432	15	3,47%	1985 a 2020
MT	PEDRA PRETA	66	1654001	432	23	5,32%	1985 a 2020
MT	PEDRA PRETA	66	1654004	432	29	6,71%	1985 a 2020
MT	GUIRATINGA	66	1654005	432	4	0,93%	1985 a 2020
MT	BARÃO DE MELGAÇO	66	1655002	432	4	0,93%	1985 a 2020
MT	POCONÉ	66	1656004	432	15	3,47%	1985 a 2020
GO	MINEIROS	24	1752002	432	13	3,01%	1985 a 2020
GO	ALTO ARAGUAIA	24	1753000	432	11	2,55%	1985 a 2020
MT	BARÃO DE MELGAÇO	66	1756000	432	25	5,79%	1985 a 2020
GO	CHAPADÃO DO CÉU	60	1852001	432	21	4,86%	1985 a 2020
MS	CHAPADÃO DO SUL	60	1852003	432	5	1,16%	1985 a 2020
MT	ALTO TAQUARI	24	1853000	432	16	3,70%	1985 a 2020
MS	CORUMBÁ	63	1853004	432	6	1,39%	1985 a 2020
MS	RIO VERDE DE MATO GROSSO	66	1854006	432	22	5,09%	1985 a 2020

Fonte - OLIVEIRA, J. L de (2023).

Anexo II: Modelagens de dados sem tendência por meio do semivariograma (continua).

Modelagem	Cenários	Lag Distance	Uniform Interval	Nugget Variance (Co)	Structural Variance Sill (Co+C)	Range (A)	Residual SS	R ²	Proportion (C/(Co+C))	Model Type
1	1	870000	50000	1000000.00	81300000.00	1151813.787	3.63E+08	0.976	0.999	Gaussiano
	2	770000	50000	1000000.00	71300000.00	1087727.907	2.28E+08	0.973	0.999	Gaussiano
	3	670000	50000	1000000.00	51300000.00	909326.674	1.02E+08	0.977	0.998	Gaussiano
	4	570000	50000	1000000.00	41300000.00	812331.828	1.02E+08	0.952	0.998	Gaussiano
	5	470000	50000	100000.00	31120000.00	743742.616	1.39E+07	0.980	1.000	Gaussiano
	6	370000	50000	100000.00	21120000.00	631332.519	2420430	0.966	1.000	Gaussiano
	7	270000	50000	100000.00	6130000.00	295141.457	1606051	0.958	0.998	Gaussiano
	8	250000	50000	100000.00	6130000.00	295141.457	1606051	0.958	0.998	Gaussiano
2	9	870000	40000	1000000.00	91300000.00	1241880.429	5.23E+08	0.975	0.999	Gaussiano
	10	770000	40000	1000000.00	71300000.00	1082531.754	3.59E+08	0.967	0.999	Gaussiano
	11	670000	40000	1000000.00	61300000.00	1011517.671	2.37E+08	0.962	0.998	Gaussiano
	12	570000	40000	1000000.00	41300000.00	810599.777	1.67E+08	0.938	0.998	Gaussiano

Anexo II: Modelagens de dados sem tendência por meio do semivariograma (conclui).

Modelagem	Cenários	Lag Distance	Uniform Interval	Nugget Variance (Co)	Structural Variance Sill (Co+C)	Range (A)	Residual SS	R ²	Proportion (C/(Co+C))	Model Type
2	13	470000	40000	100000.00	31120000.00	735948.388	2.50E+07	0.975	1.000	Gaussiano
	14	370000	40000	100000.00	21120000.00	621979.445	1.14E+07	0.950	1.000	Gaussiano
	15	270000	40000	100000.00	9130000.00	373430.154	4264522	0.944	0.999	Gaussiano
	16	250000	40000	100000.00	6130000.00	304148.121	1102779	0.968	0.998	Gaussiano
3	17	870000	30000	1000000.00	913000000.00	1247076.581	6.65E+08	0.974	0.999	Gaussiano
	18	770000	30000	1000000.00	713000000.00	1070407.399	6.05E+08	0.964	0.999	Gaussiano
	19	670000	30000	1000000.00	513000000.00	904130.521	2.72E+08	0.963	0.998	Gaussiano
	20	570000	30000	1000000.00	413000000.00	807135.676	2.45E+08	0.937	0.998	Gaussiano
	21	470000	30000	100000.00	31120000.00	7364680034	4.11E+07	0.968	1.000	Gaussiano
	22	370000	30000	100000.00	21120000.00	622152.650	2.52E+07	0.916	1.000	Gaussiano
	23	270000	30000	100000.00	9130000.000	377240665	5402138	0.937	0.999	Gaussiano
	24	250000	30000	100000.00	6130000.000	303628506	1889879	0.957	0.998	Gaussiano
4	25	870000	25000	1000000.00	913000000.00	1240148.378	9.30E+08	0.971	0.999	Gaussiano
	26	770000	25000	1000000.00	713000000.00	1070407.399	7.49E+08	0.961	0.999	Gaussiano
	27	670000	25000	1000000.00	613000000.00	1011517.671	3.87E+08	0.960	0.998	Gaussiano
	28	570000	25000	1000000.00	413000000.00	805403625	2.64E+08	0.946	0.998	Gaussiano
	29	470000	25000	100000.00	31120000.00	734216337	4.93E+07	0.969	1.000	Gaussiano
	30	370000	25000	100000.00	21120000.00	617476112	2.26E+06	0.948	1.000	Gaussiano
	31	270000	25000	100000.00	9130000.000	376721050	5571008	0.950	0.999	Gaussiano
	32	250000	25000	100000.00	7130000.000	330994909	2660378	0.961	0.999	Gaussiano
5	33	250000	55000	10000000	8130000000	345024520	2676549	0.951	0.999	Gaussiano
	34	250000	45000	10000000	8130000000	346236956	2973031	0.950	0.999	Gaussiano
	35	250000	35000	10000000	7130000000	336191061	1132233	0.973	0.999	Gaussiano
	36	250000	20000	10000000	9130000000	390231046	3725173	0.963	0.999	Gaussiano

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Anexo III: Modelagens da tendência (resíduos) por meio do semivariograma (continua).

Modelagem	Cenários	Lag Distance	Uniform Interval	Nugget Variance (Co)	Structural Variance Sill (Co+C)	Range (A)	Residual SS	R ²	Proportion (C/(Co+C))	Model Type
1	1	870000	50000	10250000.00	26190000.00	316000.00	5.73E+07	0.818	0.609	Spherical
	2	770000	50000	10230000.00	25770000.00	305000.00	4.70E+07	0.830	0.603	Spherical
	3	670000	50000	10260000.00	25860000.00	307000.00	4.61E+07	0.827	0.603	Spherical
	4	570000	50000	8770000.00	2866000.00	483000.00	2.02E+07	0.924	0.694	Exponential
	5	470000	50000	10390000.00	25580000.00	301700000.00	1.27E+07	0.931	0.594	Spherical
	6	370000	50000	10330000.00	25470000.00	298900000.00	1.26E+09	0.915	0.592	Spherical
	7	270000	50000	6110000.00	24090000.00	254700.00	2.74E+06	0.962	0.746	Exponential
	8	250000	50000	6110000.00	24090000.00	254700.00	2.74E+06	0.962	0.746	Exponential
2	9	870000	40000	6170000.00	26830000.00	339000.00	8.11E+07	0.827	0.770	Exponential
	10	770000	40000	9970000.00	25910000.00	313000.00	5.45E+07	0.857	0.615	Spherical
	11	670000	40000	1000000.00	25890000.00	313000.00	5.01E+07	0.862	0.614	Spherical

Anexo III: Modelagens da tendência (resíduos) por meio do semivariograma (conclui).

Modelagem	Cenários	Lag Distance	Uniform Interval	Nugget Variance (Co)	Structural Variance Sill (Co+C)	Range (A)	Residual SS	R²	Proportion (C/(Co+C))	Model Type
2	12	570000	40000	7520000.00	27930000.00	414000.00	2.09E+07	0.942	0.731	Exponential
	13	470000	40000	7600000.00	27850000.00	414000.00	2.07E+07	0.933	0.727	Exponential
	14	370000	40000	7380000.00	27500000.00	391500.00	1.77E+07	0.921	0.732	Exponential
	15	270000	40000	7040000.00	26460000.00	348600.00	1.51E+07	0.903	0.734	Exponential
	16	250000	40000	8930000.00	21310000.00	124707.66	5.58E+06	0.943	0.581	Gaussian
3	17	870000	30000	3030000.00	26590000.00	285000.00	1.81E+08	0.766	0.886	Exponential
	18	770000	30000	2670000.00	26220000.00	267000.00	1.61E+08	0.772	0.898	Exponential
	19	670000	30000	1750000.00	25860000.00	246000.00	1.40E+08	0.778	0.932	Exponential
	20	570000	30000	4200000.00	27230000.00	324000.00	1.03E+08	0.837	0.846	Exponential
	21	470000	30000	4490000.00	27240000.00	330900.00	9.83E+07	0.836	0.835	Exponential
	22	370000	30000	3070000.00	25900000.00	264900.00	6.99E+07	0.830	0.881	Exponential
	23	270000	30000	10000.00	23380000.00	174300.00	4.53E+07	0.834	1.000	Exponential
	24	250000	30000	4540000.00	20920000.00	95782.41	2.81E+07	0.869	0.783	Gaussian
4	25	870000	25000	5540000.00	26910000.00	339000.00	3.04E+08	0.698	0.794	Exponential
	26	770000	25000	5020000.00	26280000.00	303000.00	2.26E+08	0.732	0.809	Exponential
	27	670000	25000	4970000.00	26150000.00	297000.00	1.93E+08	0.749	0.810	Exponential
	28	570000	25000	6040000.00	27260000.00	360000.00	1.63E+08	0.785	0.778	Exponential
	29	470000	25000	6560000.00	27590000.00	386400.00	1.29E+08	0.802	0.762	Exponential
	30	370000	25000	6750000.00	27970000.00	402600.00	9.22E+07	0.819	0.759	Exponential
	31	270000	25000	5570000.00	24660000.00	273000.00	4.67E+07	0.837	0.774	Exponential
	32	250000	25000	8580000.00	22040000.00	140469.00	4.58E+07	0.820	0.611	Gaussian
5	33	250000	55000	10000.00	23300000.00	174300.00	4.53E+06	0.955	1.000	Exponential
	34	250000	45000	119400.00	29860000.00	683100.00	5.88E+06	0.916	0.600	Exponential
	35	250000	35000	5110000.00	21670000.00	114661.00	1.50E+07	0.925	0.764	Gaussian
	36	250000	25000	8580000.00	22004000.00	140468.00	4.58E+07	0.820	0.611	Gaussian
	37	250000	20000	7940000.00	21570000.00	119338.00	5.96E+07	0.814	0.632	Gaussian
6	38	300000	55000	10000.00	23300000.00	174300.00	4.53E+06	0.955	1.000	Exponential
	39	300000	35000	2570000.00	26690000.00	288300.00	2.98E+07	0.907	0.904	Exponential
	40	390000	55000	2720000.00	25880000.00	257400.00	1.37E+07	0.921	0.895	Exponential
	41	410000	33000	3700000.00	26210000.00	280800.00	4.53E+07	0.879	0.859	Exponential
	42	410000	35000	2060000.00	26270000.00	270900.00	3.18E+07	0.920	0.922	Exponential
	43	450000	32000	2050000.00	25840000.00	251400.00	5.92E+07	0.868	0.921	Exponential

Fonte - Oliveira, J. L de (2023).

Anexo IV: Valores estimados de chuvas para os municípios de Mato Grosso (continua).

Média de chuvas estimadas para os municípios de Mato Grosso (1985-2020)						
Identificação				Localização		Média estimada
*ID	Município	Bacia	Bioma	Longitude	Latitude	Chuvas
592	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4184038,5	9008612,5	2406,03
422	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4249038,5	9018612,5	2390,42
470	Cotriguaçu	R. Amazonas	Amazônia	4489038,5	9018612,5	2314,57
833	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4429038,5	8998612,5	2307,95
3	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4544038,5	9178612,5	2283,16
2328	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4244038,5	8933612,5	2276,33
2556	Cotriguaçu	R. Amazonas	Amazônia	4469038,5	8928612,5	2269,15

Anexo IV: Valores estimados de chuvas para os municípios de Mato Grosso (continua).

Média de chuvas estimadas para os municípios de Mato Grosso (1985-2020)						
Identificação				Localização		Média estimada
104	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4534038,5	9113612,5	2262,36
2945	Colniza	R. Amazonas	Amazônia	4389038,5	8918612,5	2259,23
350	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4569038,5	9033612,5	2225,80
4420	Cotriguaçu	R. Amazonas	Amazônia	4524038,5	8888612,5	2225,42
4865	Aripuanã	R. Amazonas	Amazônia	4284038,5	8878612,5	2217,65
5863	Aripuanã	R. Amazonas	Amazônia	4364038,5	8858612,5	2212,25
1460	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4574038,5	8968612,5	2209,66
2981	Nova Bandeirantes	R. Amazonas	Amazônia	4569038,5	8918612,5	2199,27
6857	Juruena	R. Amazonas	Amazônia	4484038,5	8838612,5	2177,75
7329	Aripuanã	R. Amazonas	Amazônia	4439038,5	8828612,5	2151,80
8077	Juara	R. Amazonas	Amazônia	4594038,5	8813612,5	2108,03
1476	Apiacás	R. Amazonas	Amazônia	4654038,5	8968612,5	2103,37
12199	Juara	R. Amazonas	Amazônia	4569038,5	8718612,5	2102,80
1378	Paranaíta	R. Amazonas	Amazônia	4689038,5	8973612,5	2096,24
3982	Carlinda	R. Amazonas	Amazônia	4804038,5	8898612,5	2082,27
7536	Rondolândia	R. Amazonas	Amazônia	4274038,5	8823612,5	2080,87
6195	Nova Canaã do Norte	R. Amazonas	Amazônia	4804038,5	8853612,5	2080,18
10363	Castanheira	R. Amazonas	Amazônia	4504038,5	8763612,5	2059,93
7521	Rondolândia	R. Amazonas	Amazônia	4199038,5	8823612,5	2057,70
2262	Alta Floresta	R. Amazonas	Amazônia	4764038,5	8938612,5	2051,24
8600	Colíder	R. Amazonas	Amazônia	4824038,5	8803612,5	2050,17
2798	Paranaíta	R. Amazonas	Amazônia	4699038,5	8923612,5	2047,01
6908	Alta Floresta	R. Amazonas	Amazônia	4739038,5	8838612,5	2045,01
5183	Nova Monte Verde	R. Amazonas	Amazônia	4644038,5	8873612,5	2044,55
8571	Juara	R. Amazonas	Amazônia	4679038,5	8803612,5	2040,03
9906	Juína	R. Amazonas	Amazônia	4319038,5	8773612,5	2031,92
9060	Nova Canaã do Norte	R. Amazonas	Amazônia	4739038,5	8793612,5	2028,01
10214	Itaúba	R. Amazonas	Amazônia	4789038,5	8768612,5	2021,72
11405	Novo Horizonte do Norte	R. Amazonas	Amazônia	4634038,5	8738612,5	2015,57
2825	Novo Mundo	R. Amazonas	Amazônia	4834038,5	8923612,5	2013,75
5962	Nova Guarita	R. Amazonas	Amazônia	4859038,5	8858612,5	2007,84
12453	Sinop	R. Amazonas	Amazônia	4819038,5	8713612,5	2005,27
10815	Tabaporã	R. Amazonas	Amazônia	4724038,5	8753612,5	1997,13
13857	Nova Maringá	R. Amazonas	Amazônia	4639038,5	8678612,5	1984,16
12635	Porto dos Gaúchos	R. Amazonas	Amazônia	4694038,5	8708612,5	1956,39
10840	Cláudia	R. Amazonas	Amazônia	4849038,5	8753612,5	1936,87
14874	Itanhangá	R. Amazonas	Amazônia	4674038,5	8653612,5	1931,70
7179	Terra Nova do Norte	R. Amazonas	Amazônia	4889038,5	8833612,5	1929,35
15852	Brasnorte	R. Amazonas	Amazônia	4554038,5	8628612,5	1925,80
8851	Nova Santa Helena	R. Amazonas	Amazônia	4889038,5	8798612,5	1918,35
14488	Ipiranga do Norte	R. Amazonas	Amazônia	4759038,5	8663612,5	1917,08
4738	Matupá	R. Amazonas	Amazônia	4879038,5	8883612,5	1914,28
16681	Tapurah	R. Amazonas	Amazônia	4699038,5	8608612,5	1894,13
18523	Nova Maringá	R. Amazonas	Amazônia	4684038,5	8563612,5	1878,90
2456	Novo Mundo	R. Amazonas	Amazônia	4884038,5	8933612,5	1860,10
16092	Tapurah	R. Amazonas	Amazônia	4754038,5	8623612,5	1859,44
13603	Juína	R. Amazonas	Amazônia	4399038,5	8683612,5	1856,35
6708	Peixoto de Azevedo	R. Amazonas	Amazônia	4944038,5	8843612,5	1846,35
3288	Matupá	R. Amazonas	Amazônia	4989038,5	8913612,5	1835,15

Anexo IV: Valores estimados de chuvas para os municípios de Mato Grosso (continua).

Média de chuvas estimadas para os municípios de Mato Grosso (1985-2020)						
Identificação				Localização		Média estimada
12386	Juína	R. Amazonas	Amazônia	4484038,5	8713612,5	1834,04
9817	Marcelândia	R. Amazonas	Amazônia	4949038,5	8778612,5	1825,81
2468	Guarantã do Norte	R. Amazonas	Amazônia	4944038,5	8933612,5	1823,26
16106	Sorriso	R. Amazonas	Cerrado	4824038,5	8623612,5	1811,83
7928	Marcelândia	R. Amazonas	Amazônia	5039038,5	8818612,5	1806,56
20191	Nova Maringá	R. Amazonas	Amazônia	4634038,5	8523612,5	1804,09
17251	Sapezal	R. Amazonas	Cerrado	4509038,5	8593612,5	1800,85
19367	Nova Mutum	R. Amazonas	Cerrado	4719038,5	8543612,5	1799,67
3307	Peixoto de Azevedo	R. Amazonas	Amazônia	5084038,5	8913612,5	1788,78
5013	Peixoto de Azevedo	R. Amazonas	Amazônia	5024038,5	8878612,5	1787,72
19167	Lucas do Rio Verde	R. Amazonas	Cerrado	4774038,5	8548612,5	1784,96
11878	União do Sul	R. Amazonas	Amazônia	4989038,5	8728612,5	1777,93
14744	Paranatinga	R. Amazonas	Amazônia	5029038,5	8658612,5	1775,72
11886	Feliz Natal	R. Amazonas	Amazônia	5029038,5	8728612,5	1771,89
5033	Santa Cruz do Xingu	R. Amazonas	Amazônia	5124038,5	8878612,5	1769,41
12303	Querência	R. Amazonas	Amazônia	5089038,5	8718612,5	1763,67
21252	São José do Rio Claro	R. Amazonas	Amazônia	4684038,5	8498612,5	1759,96
19180	Sorriso	R. Amazonas	Cerrado	4839038,5	8548612,5	1758,54
29891	Várzea Grande	R. da Prata	Cerrado	4754038,5	8283612,5	1756,66
29438	Vila Bela da Santíssima Trindade	R. Amazonas	Amazônia	4334038,5	8293612,5	1753,25
32021	Nossa Senhora do Livramento	R. da Prata	Cerrado	4764038,5	8223612,5	1752,21
27300	Novo São Joaquim	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5119038,5	8353612,5	1751,78
6983	São José do Xingu	R. Amazonas	Amazônia	5114038,5	8838612,5	1750,99
15403	Novo Santo Antônio	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5309038,5	8643612,5	1747,51
30611	Nossa Senhora do Livramento	R. da Prata	Cerrado	4719038,5	8263612,5	1746,20
10061	São Félix do Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5094038,5	8773612,5	1744,13
8678	Porto Alegre do Norte	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5214038,5	8803612,5	1743,52
14764	Querência	R. Amazonas	Amazônia	5129038,5	8658612,5	1742,89
29225	Barra do Garças	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5139038,5	8303612,5	1742,37
15353	Gaúcha do Norte	R. Amazonas	Amazônia	5059038,5	8643612,5	1738,14
29152	Cuiabá	R. da Prata	Cerrado	4774038,5	8303612,5	1736,11
18152	Nova Ubiratã	R. Amazonas	Amazônia	4909038,5	8573612,5	1736,04
28747	Barra do Bugres	R. da Prata	Cerrado	4644038,5	8313612,5	1735,93
16219	Comodoro	R. Amazonas	Cerrado	4389038,5	8618612,5	1735,80
11919	São Félix do Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5194038,5	8728612,5	1735,76
27632	Chapada dos Guimarães	R. da Prata	Cerrado	4809038,5	8343612,5	1734,47
20435	Nova Mutum	R. Amazonas	Cerrado	4799038,5	8518612,5	1730,84
9876	Canabrava do Norte	Tocantins-Araguaia	Amazônia	5244038,5	8778612,5	1730,70
13696	Santa Carmem	R. Amazonas	Cerrado	4864038,5	8683612,5	1730,25
26520	Nova Xavantina	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5184038,5	8373612,5	1729,33
29140	Jangada	R. da Prata	Cerrado	4714038,5	8303612,5	1729,27
21447	Campo Novo do Parecis	R. Amazonas	Cerrado	4599038,5	8493612,5	1728,23
14912	Vera	R. Amazonas	Amazônia	4864038,5	8653612,5	1727,61
19962	Campo Novo do Parecis	R. Amazonas	Cerrado	4544038,5	8528612,5	1726,66
32692	Barão de Melgaço	R. da Prata	Pantanal	4799038,5	8203612,5	1723,64
28383	Acorizal	R. da Prata	Cerrado	4744038,5	8323612,5	1722,49
7476	São José do Xingu	R. Amazonas	Amazônia	5174038,5	8828612,5	1722,42
4069	Vila Rica	R. Amazonas	Amazônia	5239038,5	8898612,5	1714,36
3103	Santa Cruz do Xingu	R. Amazonas	Amazônia	5179038,5	8918612,5	1713,41

Anexo IV: Valores estimados de chuvas para os municípios de Mato Grosso (continua).

Média de chuvas estimadas para os municípios de Mato Grosso (1985-2020)						
Identificação				Localização		Média estimada
17553	Paranatinga	R. Amazonas	Cerrado	4994038,5	8588612,5	1712,41
25498	Campinápolis	R. Amazonas	Cerrado	5114038,5	8398612,5	1712,34
28072	Novo São Joaquim	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5069038,5	8333612,5	1711,90
13163	Alto Boa Vista	R. Amazonas	Amazônia	5274038,5	8698612,5	1710,76
6289	Confresa	Tocantins-Araguaia	Amazônia	5274038,5	8853612,5	1710,70
28133	Pontes e Lacerda	R. Amazonas	Amazônia	4429038,5	8328612,5	1710,70
12952	São Félix do Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5249038,5	8703612,5	1710,67
25179	Tangará da Serra	R. Amazonas	Cerrado	4529038,5	8403612,5	1709,63
10924	Canabrava do Norte	Tocantins-Araguaia	Amazônia	5269038,5	8753612,5	1708,73
19225	Gaúcha do Norte	R. Amazonas	Amazônia	5064038,5	8548612,5	1708,61
14728	Feliz Natal	R. Amazonas	Amazônia	4949038,5	8658612,5	1707,84
22601	Paranatinga	R. Amazonas	Amazônia	5049038,5	8468612,5	1707,63
19032	Canarana	R. Amazonas	Cerrado	5144038,5	8553612,5	1707,62
32598	Torixoréu	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5149038,5	8208612,5	1707,56
30232	Porto Estrela	R. da Prata	Cerrado	4644038,5	8273612,5	1707,39
14392	Serra Nova Dourada	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5289038,5	8668612,5	1707,33
28192	Rosário Oeste	R. da Prata	Cerrado	4724038,5	8328612,5	1706,45
14781	Bom Jesus do Araguaia	R. Amazonas	Amazônia	5214038,5	8658612,5	1706,16
20879	Nova Ubiratã	R. Amazonas	Amazônia	4919038,5	8508612,5	1705,74
24691	Nova Xavantina	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5159038,5	8418612,5	1703,12
3592	Vila Rica	R. Amazonas	Amazônia	5324038,5	8908612,5	1699,65
17215	Novo Santo Antônio	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5354038,5	8598612,5	1699,60
26732	Araguaiana	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5249038,5	8368612,5	1699,26
22563	Santa Rita do Trivelato	R. Amazonas	Cerrado	4859038,5	8468612,5	1698,44
24501	Nova Nazaré	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5234038,5	8423612,5	1697,59
18020	Ribeirão Cascalheira	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5279038,5	8578612,5	1696,65
30591	Cáceres	R. da Prata	Pantanal	4619038,5	8263612,5	1693,86
23896	Cocalinho	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5304038,5	8438612,5	1693,67
30721	Pontes e Lacerda	R. Amazonas	Amazônia	4364038,5	8258612,5	1693,03
29430	Araguaiana	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5229038,5	8298612,5	1692,72
16190	Bom Jesus do Araguaia	R. Amazonas	Amazônia	5244038,5	8623612,5	1692,47
17593	Querência	R. Amazonas	Amazônia	5194038,5	8588612,5	1692,19
30030	Araputanga	R. da Prata	Amazônia	4539038,5	8278612,5	1691,93
20896	Gaúcha do Norte	R. Amazonas	Amazônia	5004038,5	8508612,5	1690,72
26950	Vila Bela da Santíssima Trindade	R. Amazonas	Amazônia	4359038,5	8358612,5	1688,64
24414	Nobres	R. da Prata	Cerrado	4799038,5	8423612,5	1687,78
22496	Sapezal	R. Amazonas	Cerrado	4524038,5	8468612,5	1686,17
29855	Mirassol d'Oeste	R. da Prata	Amazônia	4574038,5	8283612,5	1685,56
4100	Santa Terezinha	Tocantins-Araguaia	Amazônia	5394038,5	8898612,5	1684,28
23261	Nova Nazaré	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5224038,5	8453612,5	1682,76
25023	Diamantino	R. Amazonas	Cerrado	4769038,5	8408612,5	1682,73
29302	Lambari D'Oeste	R. da Prata	Amazônia	4589038,5	8298612,5	1682,71
22739	Diamantino	R. Amazonas	Cerrado	4699038,5	8463612,5	1682,06
20312	Ribeirão Cascalheira	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5239038,5	8523612,5	1682,03
10317	Luciara	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5304038,5	8768612,5	1681,70
30033	São José dos Quatro Marcos	R. da Prata	Amazônia	4554038,5	8278612,5	1681,55
34337	Barão de Melgaço	R. da Prata	Pantanal	4744038,5	8138612,5	1680,81
21984	Água Boa	R. Amazonas	Cerrado	5144038,5	8483612,5	1680,74
25244	Rosário Oeste	R. da Prata	Cerrado	4854038,5	8403612,5	1676,35

Anexo IV: Valores estimados de chuvas para os municípios de Mato Grosso (continua).

Média de chuvas estimadas para os municípios de Mato Grosso (1985-2020)						
Identificação				Localização		Média estimada
20325	Cocalinho	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5304038,5	8523612,5	1676,16
25486	Santo Antônio do Leste	R. Amazonas	Cerrado	5054038,5	8398612,5	1675,90
32507	Poconé	R. da Prata	Pantanal	4694038,5	8208612,5	1675,13
21907	Nova Mutum	R. Amazonas	Cerrado	4759038,5	8483612,5	1674,60
27611	Alto Paraguai	R. da Prata	Cerrado	4704038,5	8343612,5	1674,59
30220	Curvelândia	R. da Prata	Amazônia	4584038,5	8273612,5	1673,55
30939	Mirassol d'Oeste	R. da Prata	Amazônia	4554038,5	8253612,5	1671,73
31469	Glória D'Oeste	R. da Prata	Cerrado	4544038,5	8238612,5	1669,65
21145	Canarana	R. Amazonas	Cerrado	5199038,5	8503612,5	1666,86
23200	Paranatinga	R. Amazonas	Cerrado	4919038,5	8453612,5	1665,64
6784	Santa Terezinha	Tocantins-Araguaia	Amazônia	5324038,5	8843612,5	1664,78
12964	São Félix do Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5309038,5	8703612,5	1664,53
28917	Rio Branco	R. da Prata	Amazônia	4544038,5	8308612,5	1663,73
30705	Barra do Garças	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5189038,5	8263612,5	1663,11
26781	Tangará da Serra	R. Amazonas	Cerrado	4504038,5	8363612,5	1662,05
28141	Vale de São Domingos	R. Amazonas	Amazônia	4469038,5	8328612,5	1661,88
28921	Rio Branco	R. da Prata	Amazônia	4564038,5	8308612,5	1661,50
28544	Salto do Céu	R. da Prata	Amazônia	4584038,5	8318612,5	1660,43
26981	Reserva do Cabaçal	R. da Prata	Cerrado	4514038,5	8358612,5	1659,65
27191	Barra do Bugres	R. da Prata	Cerrado	4574038,5	8353612,5	1658,48
18453	Cocalinho	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5374038,5	8568612,5	1658,48
32309	Cáceres	R. da Prata	Pantanal	4524038,5	8213612,5	1657,62
27533	Cocalinho	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5299038,5	8348612,5	1657,01
27371	Barra do Bugres	R. da Prata	Cerrado	4489038,5	8348612,5	1655,85
29097	Indiavaí	R. da Prata	Amazônia	4499038,5	8303612,5	1654,76
33655	São José do Povo	R. da Prata	Cerrado	4974038,5	8168612,5	1654,15
28911	Araputanga	R. da Prata	Amazônia	4514038,5	8308612,5	1653,59
26457	Nova Brasilândia	R. da Prata	Cerrado	4869038,5	8373612,5	1644,84
25864	Planalto da Serra	R. Amazonas	Cerrado	4919038,5	8388612,5	1643,78
28148	Araputanga	R. da Prata	Amazônia	4504038,5	8328612,5	1640,83
23833	Paranatinga	R. Amazonas	Amazônia	4989038,5	8438612,5	1639,98
9424	Luciara	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5364038,5	8788612,5	1639,23
30202	Figueirópolis D'Oeste	R. da Prata	Amazônia	4494038,5	8273612,5	1639,21
25966	Conquista D'Oeste	R. Amazonas	Amazônia	4419038,5	8383612,5	1638,99
24396	Nortelândia	R. da Prata	Amazônia	4709038,5	8423612,5	1638,54
29770	General Carneiro	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5069038,5	8288612,5	1636,70
29280	Jauru	R. da Prata	Amazônia	4479038,5	8298612,5	1636,68
34879	Cáceres	R. da Prata	Pantanal	4554038,5	8113612,5	1635,35
33459	Cáceres	R. da Prata	Pantanal	4604038,5	8173612,5	1632,97
27839	Chapada dos Guimarães	R. da Prata	Cerrado	4864038,5	8338612,5	1632,14
31275	Porto Esperidião	R. da Prata	Amazônia	4454038,5	8243612,5	1631,16
31766	Pontal do Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5179038,5	8233612,5	1628,24
25596	Tangará da Serra	R. da Prata	Amazônia	4589038,5	8393612,5	1623,62
33041	Rondonópolis	R. da Prata	Cerrado	4939038,5	8193612,5	1621,93
27673	Santo Antônio do Leste	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5014038,5	8343612,5	1620,58
26877	Primavera do Leste	R. Amazonas	Cerrado	4984038,5	8363612,5	1617,91
26672	Planalto da Serra	R. Amazonas	Cerrado	4949038,5	8368612,5	1617,90
32790	Porto Esperidião	R. da Prata	Amazônia	4479038,5	8198612,5	1617,51
23348	Diamantino	R. Amazonas	Cerrado	4629038,5	8448612,5	1611,83

Anexo IV: Valores estimados de chuvas para os municípios de Mato Grosso (continua).

Média de chuvas estimadas para os municípios de Mato Grosso (1985-2020)						
Identificação				Localização		Média estimada
33172	Guiratinga	Tocantins-Araguaia	Cerrado	4994038,5	8188612,5	1604,94
33870	Barão de Melgaço	R. da Prata	Pantanal	4824038,5	8158612,5	1603,20
26808	Nova Olímpia	R. da Prata	Amazônia	4639038,5	8363612,5	1601,98
19737	Sapezal	R. Amazonas	Cerrado	4474038,5	8533612,5	1600,22
34078	Poconé	R. da Prata	Pantanal	4649038,5	8148612,5	1599,49
14000	Novo Santo Antônio	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5354038,5	8678612,5	1593,46
34814	Barão de Melgaço	R. da Prata	Pantanal	4804038,5	8118612,5	1589,39
11548	São Félix do Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5349038,5	8738612,5	1586,22
24335	Nova Lacerda	R. Amazonas	Amazônia	4404038,5	8423612,5	1582,81
31768	Vila Bela da Santíssima Trindade	R. Amazonas	Amazônia	4344038,5	8228612,5	1582,43
32090	Pontal do Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5109038,5	8223612,5	1580,85
32774	Vila Bela da Santíssima Trindade	R. Amazonas	Amazônia	4399038,5	8198612,5	1577,68
30992	Santo Antônio do Leverger	R. da Prata	Pantanal	4819038,5	8253612,5	1568,59
32061	Poxoréu	R. da Prata	Cerrado	4964038,5	8223612,5	1568,31
31945	Pontes e Lacerda	R. Amazonas	Amazônia	4384038,5	8223612,5	1567,85
35722	Poconé	R. da Prata	Pantanal	4669038,5	8073612,5	1565,30
28625	Primavera do Leste	R. Amazonas	Cerrado	4989038,5	8318612,5	1565,14
35713	Cáceres	R. da Prata	Pantanal	4624038,5	8073612,5	1564,55
26419	Denise	R. da Prata	Amazônia	4679038,5	8373612,5	1557,66
28807	Primavera do Leste	R. Amazonas	Cerrado	4944038,5	8313612,5	1557,22
24591	Nova Marilândia	R. da Prata	Amazônia	4659038,5	8418612,5	1547,30
29174	Campo Verde	R. Amazonas	Cerrado	4884038,5	8303612,5	1546,51
22029	Comodoro	R. Amazonas	Cerrado	4299038,5	8478612,5	1544,71
22685	Campos de Júlio	R. Amazonas	Cerrado	4429038,5	8463612,5	1540,47
33684	Ribeirãozinho	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5119038,5	8168612,5	1539,09
33516	Santo Antônio do Leverger	R. da Prata	Pantanal	4889038,5	8173612,5	1535,07
35275	Santo Antônio do Leverger	R. da Prata	Pantanal	4844038,5	8098612,5	1529,26
29930	Poxoréu	R. da Prata	Cerrado	4949038,5	8283612,5	1526,89
34371	Rondonópolis	R. da Prata	Cerrado	4914038,5	8138612,5	1526,67
25407	Santo Afonso	R. da Prata	Amazônia	4659038,5	8398612,5	1519,88
34503	Pedra Preta	R. da Prata	Cerrado	4984038,5	8133612,5	1509,07
30489	General Carneiro	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5019038,5	8268612,5	1508,82
30271	Cuiabá	R. da Prata	Cerrado	4839038,5	8273612,5	1504,58
33435	Torixoréu	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5094038,5	8178612,5	1503,86
33926	Ponte Branca	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5104038,5	8158612,5	1502,15
31730	Poxoréu	R. da Prata	Cerrado	4999038,5	8233612,5	1499,97
32386	Juscimeira	R. da Prata	Cerrado	4909038,5	8213612,5	1496,00
31545	São Pedro da Cipa	R. da Prata	Cerrado	4924038,5	8238612,5	1491,67
34511	Alto Garças	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5024038,5	8133612,5	1491,58
25414	Arenápolis	R. da Prata	Amazônia	4694038,5	8398612,5	1484,33
34165	Araguainha	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5084038,5	8148612,5	1482,71
30832	Dom Aquino	R. da Prata	Cerrado	4919038,5	8258612,5	1478,42
20138	Comodoro	R. Amazonas	Cerrado	4369038,5	8523612,5	1468,61
34636	Alto Garças	R. da Prata	Cerrado	5069038,5	8128612,5	1467,86
31217	Tesouro	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5044038,5	8248612,5	1440,76
33300	Guiratinga	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5029038,5	8183612,5	1439,79
34873	Alto Araguaia	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5099038,5	8118612,5	1439,75
35814	Itiquira	R. da Prata	Cerrado	4904038,5	8068612,5	1438,63
35300	Itiquira	R. da Prata	Cerrado	4969038,5	8098612,5	1411,98

Anexo IV: Valores estimados de chuvas para os municípios de Mato Grosso (conclui).

Média de chuvas estimadas para os municípios de Mato Grosso (1985-2020)						
Identificação				Localização		Média estimada
35612	Alto Araguaia	R. da Prata	Cerrado	5039038,5	8083612,5	1356,23
31534	Jaciara	R. da Prata	Cerrado	4869038,5	8238612,5	1339,61
36135	Alto Araguaia	R. da Prata	Cerrado	5024038,5	8023612,5	1250,63
36191	Alto Taquari	Tocantins-Araguaia	Cerrado	5094038,5	8008612,5	1196,99
36100	Alto Taquari	R. da Prata	Cerrado	5069038,5	8033612,5	1135,84

*ID QUE LOCALIZA O PONTO ESTIMADO NA MALHA COMPOSTA POR MAIS DE TRINTA E SEIS MIL PONTOS.

Fonte: Oliveira, J. L de (2024).