



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

VIRGILIO LOURENÇO DA SILVA NETO

CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DO TOCANTINS

**GURUPI - TO
2016**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

VIRGILIO LOURENÇO DA SILVA NETO

CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DO TOCANTINS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Viola

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Rogério Mello

**GURUPI - TO
2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistemas de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

S586c Silva Neto, Virgílio Lourenço da.
 Chuvas intensas no Tocantins. / Virgílio Lourenço da Silva Neto -
 Gurupi, TO, 2016.
 116 f.

 Dissertação de (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
Tocantins, Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós –
Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2016.

 Linha de pesquisa: Conservação e Gestão em Recursos Naturais.

 Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Viola.

 Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Rogério Mello.

 1. Desagregação de chuvas. 2. Mapeamento. 3. Precipitação
 máxima provável. 4. Hidrologia. I. Título.

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde
que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é
crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica
da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



Defesa nº 025/2016

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VIRGÍLIO LOURENÇO DA SILVA NETO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 19 dias do mês de agosto do ano de 2016, às 13:00 horas, na sala 01, do edifício Anfiteatro, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. MARCELO RIBEIRO VIOLA da Universidade Federal de Lavras, Prof Dr CARLOS ROGÉRIO MELLO da Universidade Federal de Lavras e Prof Dr MARCOS GIONGO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VIRGÍLIO LOURENÇO DA SILVA NETO, intitulada "**Chuvas intensas no estado do Tocantins**". Após a exposição, o(a) discente foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-o(a) ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dr. Marcelo Ribeiro Viola
Universidade Federal de Lavras
Orientador e presidente da banca examinadora

Dr. Carlos Rogério Mello
Universidade Federal de Lavras
Coorientador e primeiro examinador

Dr. Marcos Giongo
Universidade Federal do Tocantins
Segundo examinador

Gurupi, 19 de agosto de 2016.

Dr. Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

“Aos meus pais Rivaldo e Heloísa, pelos exemplos, à minha esposa Suza, pelo carinho e compreensão, aos meus filhos Júlia e Álvaro, que são minha maior fonte de inspiração e ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Viola por todos os ensinamentos e incentivo”.

DEDICO.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por todas as dádivas concedidas ao longo de minha passagem por este mundo, a saúde, a família, a proteção e a oportunidade de evoluir moral e intelectualmente.

Aos meus pais, que sempre agiram como o farol indicando a o caminho a ser seguido, valorizando e demonstrando a importância da busca pelo conhecimento desde o início da minha vida escolar, dando o suporte e a base necessária para que eu pudesse, enfim, alcançar este objetivo.

À minha esposa, por estar sempre ao meu lado, confiando no meu potencial para superar as dificuldades ao longo da jornada, muitas vezes assumindo sozinha o papel de mãe, pai, protetora e guardiã dos nossos filhos, devido às minhas ausências causadas pela dedicação quase exclusiva na busca do saber.

Aos meus filhos que ainda não compreendem muito bem o esforço que faço agora, mas que eu possa deixar como legado a certeza de que somente com a Educação é possível transformar para melhor as nossas vidas.

Ao meu orientador, meu eterno agradecimento pelo comprometimento e atenção por todos os ensinamentos, sendo sempre atencioso e solícito. Agradeço imensamente aos professores Demetrius D. Silva e Silvio Pereira, da Universidade Federal de Viçosa pela disponibilização dos dados necessários ao aprimoramento deste estudo.

Agradeço aos amigos que torceram e aos que contribuíram para esta conquista. Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais na pessoa do Prof. Dr. Marcos Giongo e a todos da Coordenação. Gostaria

de expressar também a minha gratidão ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *campus* Dianópolis, pela compreensão e esforços na conciliação das horas de trabalho com o tempo dedicado ao programa e pela concessão de bolsa de qualificação – PRO-QUALIFICAR.

RESUMO

O Estado do Tocantins está localizado entre o domínio do Cerrado e da Floresta Amazônica, o que confere ao mesmo uma diversidade climática importante, especialmente no tocante a ocorrência de chuvas. O conhecimento das chuvas intensas permite o planejamento adequado diante da atuação da precipitação na erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, obras hidráulicas, dentre outros. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi o mapeamento das chuvas intensas no estado do Tocantins, estruturado em três capítulos com objetivos específicos: (1) com base em 10 estações pluviográficas, determinar constantes de desagregação de chuvas intensas para o Estado do Tocantins; (2) promover o mapeamento de chuvas intensas com durações de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, associadas com as recorrências de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos; e (3) mapear a precipitação máxima provável (PMP) para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Para a modelagem da frequência das chuvas intensas de diferentes durações foi empregada a distribuição de probabilidades de Gumbel para 10 estações pluviográficas. Para o mapeamento das chuvas intensas foram aplicadas séries históricas de 95 postos pluviométricos pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Água (ANA), disponibilizadas pelo site Hidroweb, localizados no Tocantins e proximidades, considerando o período de 1983 a 2013, aplicando a geoestatística e avaliando os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano. Para o mapeamento da PMP foi adotado o interpolador inverso do quadrado da distância, tendo sido a sua qualidade avaliada pelo procedimento de validação cruzada, a partir do cálculo da tendência (bias) e do erro médio percentual absoluto (EMPA). Na desagregação das chuvas intensas para o Estado do Tocantins, foram obtidas as seguintes constantes: $h_{10\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0,46$, $h_{20\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0,76$, $h_{30\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,68$, $h_{40\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,83$, $h_{50\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,92$, $h_{1\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,61$, $h_{2\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,72$, $h_{3\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,78$, $h_{4\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,82$, $h_{6\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,86$, $h_{12\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,93$. Para o mapeamento das chuvas intensas, o modelo que apresentou o menor erro médio obtido por validação cruzada foi aplicado ao processo de mapeamento por krigagem ordinária, tendo sido observado bom desempenho do modelo esférico para precipitação máxima diária anual e do gaussiano para chuvas desagregadas e associadas a um tempo de retorno. As regiões do Bico do Papagaio (extremo norte), Ilha do Bananal (extremo sudoeste) e noroeste, sob ocorrência de clima Amazônico, respondem pelos valores críticos de chuvas intensas no Estado do Tocantins. Para a maior duração de PMP avaliada (24h), encontraram-se lâminas variando de 410,8 a 768,2 mm, enquanto que, para a menor duração avaliada (10') as lâminas variaram de 62,5 a 104,6 mm, com padrão de distribuição espacial semelhante às chuvas intensas mapeadas.

Palavras-chave: desagregação de chuvas, mapeamento, precipitação máxima provável

ABSTRACT

The State of Tocantins is located between the area of the Cerrado and the Amazon rainforest, which gives the same an important climatic diversity, especially with regard to rainfall. Knowledge of heavy rainfall allows proper planning considering the action of rainfall on soil erosion, floods in rural and urban areas, waterworks, among others. In this context, the objective of this study was the heavy rainfall mapping in the State of Tocantins, divided into three chapters with specific objectives: (1) based on 10 pluviograph stations, to determine disaggregation constants of heavy rainfall for the State of Tocantins; (2) promote heavy rainfall mapping at durations of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 to 1440 minutes associated with recurrences of 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 and 1000 years; and (3) to map the probable maximum precipitation for the state of Tocantins based on Hershfield methodology for durations of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 and 1440 minutes. For modeling the frequency of intense rainfalls of different durations, was used the Gumbel distribution of probabilities for 10 pluviograph stations. For the mapping of heavy rainfall were applied historical series of 95 rain gauge stations belonging to the hydrometeorological network of the National Water Agency (NWA), provided by Hidroweb site, located on the Tocantins and nearby, considering the period 1983-2013, applying geostatistics and evaluating models of semivariogram spherical, exponential and gaussian. For the PMP mapping, was adopted the inverse-square-distance interpolator (ISD), being their quality assessed by cross-validation procedure from the calculation of the trend (bias) and the mean absolute percentage error. In the heavy rainfall disaggregation for the State of Tocantins, the constants were obtained: $h_{10_{min}}/h_{30_{min}} = 0.46$, $h_{20_{min}}/h_{30_{min}} = 0.76$, $h_{30_{min}}/h_{1h} = 0.68$, $h_{40_{min}}/h_{1h} = 0.83$, $h_{50_{min}}/h_{1h} = 0.92$, $h_{1h}/h_{24h} = 0.61$, $h_{2h}/h_{24h} = 0.72$, $h_{3h}/h_{24h} = 0.78$, $h_{4h}/h_{24h} = 0.82$, $h_{6h}/h_{24h} = 0.86$, $h_{12h}/h_{24h} = 0.93$. For the heavy rainfall mapping, the model had the lowest average error obtained by cross-validation was applied to mapping by ordinary kriging process, having been observed good performance of the spherical model for maximum annual daily rainfall and gaussian to disaggregate and associated rains a return time. The regions of the Bico do Papagaio (north end), Bananal Island (extreme southwest) and northwest, under occurrence of Amazonian climate account for the critical values of heavy rainfall in the State of Tocantins. For longer duration evaluated PMP (24h), met blades ranging from 410.8 - 768.2 mm, while for the lowest measured duration (10') slides ranged from 62.5 - 104.6 mm with spatial distribution pattern similar to heavy rains mapped.

Keywords: rainfall disaggregation, mapping, probable maximum precipitation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	9
2	CONSTANTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DO TOCANTINS	11
2.1	INTRODUÇÃO	12
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.2.1	<i>Caracterização da região de estudo e banco de dados.....</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Desagregação de chuvas intensas.....</i>	<i>16</i>
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
2.4	CONCLUSÕES.....	22
2.5	AGRADECIMENTOS.....	22
2.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
3	MAPEAMENTO DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DO TOCANTINS.....	25
3.1	INTRODUÇÃO	26
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.2.1	<i>Região de Estudo</i>	<i>28</i>
3.2.2	<i>Base de dados.....</i>	<i>28</i>
3.2.3	<i>Desagregação de chuvas intensas.....</i>	<i>29</i>
3.2.4	<i>Análise Geoestatística.....</i>	<i>31</i>
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.4	CONCLUSÕES.....	62
3.5	AGRADECIMENTOS.....	63
3.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
4	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NO ESTADO DO TOCANTINS	66
4.1	INTRODUÇÃO	67
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	70
4.2.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	<i>70</i>
4.2.2	<i>Base de dados e metodologia de cálculo e mapeamento da PMP.....</i>	<i>71</i>
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
4.4	CONCLUSÕES.....	81
4.5	AGRADECIMENTOS.....	82
4.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
7	ANEXOS.....	88

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA A DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL AJUSTADA ÀS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ASSOCIADAS A DIFERENTES DURAÇÕES	18
TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DAS CONSTANTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS PARA TEMPOS DE RETORNO VARIANDO ENTRE 2 E 1000 ANOS, SEGUIDO DA MÉDIA (\bar{x}), DESVIO PADRÃO (SD) E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) PARA CADA CONSTANTE TRABALHADA	20
TABELA 3 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMA EXPONENCIAL, ESFÉRICO E GAUSSIANO (EFEITO PEPITA (C_0), CONTRIBUIÇÃO (C_1), ALCANCE (A)), GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), TENDÊNCIA E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA) OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA PARA A PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL NO TOCANTINS.....	33
TABELA 4 - TENDÊNCIA (BIAS) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO (EMPA) PRODUZIDOS POR VALIDAÇÃO CRUZADA, NO MAPEAMENTO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL COM DURAÇÕES VARIANDO DE 30 A 1440 MINUTOS NO ESTADO DO TOCANTINS, PELO INTERPOLADOR INVERSO DO QUADRADO DA DISTÂNCIA	77

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITTE E MATTER PARA O ESTADO DO TOCANTINS (SOUZA, 2016).....	14
FIGURA 2 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO ASTER PARA O ESTADO DO TOCANTINS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES PLUVIOGRÁFICAS UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO.	15
FIGURA 3 - VARIAÇÃO DAS CONSTANTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RETORNO PARA 10 LOCALIDADES DO ESTADO DO TOCANTINS.....	19
FIGURA 4 - COMPARAÇÃO DAS CONSTANTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS INSTENSAS OBTIDAS PELO PRESENTE ESTUDO PARA O ESTADO DO TOCANTINS COM AS CONSTANTES OBTIDAS PARA (A) O BRASIL (CETESB, 1980), (B) INTERIOR DE SANTA CATARINA (BACK ET. AL., 2012), (C) LITORAL DE SANTA CATARINA, (BACK ET. AL., 2012), (D) PELOTAS-RS (TEIXEIRA ET AL, 2011) E (E) MANAUS (ATP-ENGENHARIA/INFRAERO, 2010)	21
FIGURA 5 – CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITTE E MATTER PARA O ESTADO DO TOCANTINS (SOUZA, 2016)	28
FIGURA 6 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO ASTER PARA O ESTADO DO TOCANTINS E LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS NESTE ESTUDO	29
FIGURA 7 - SEMIVARIOGRAMAS TEÓRICOS AJUSTADOS PARA O MAPEAMENTO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL NO TOCANTINS. (A), ESFÉRICO, (B) EXPONENCIAL E (C) GAUSSIANO.....	33
FIGURA 8 – (A) PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL (MM) PARA O ESTADO DO TOCANTINS OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA E (B) REGIÕES DE OCORRÊNCIA EXTREMA DAS CHUVAS INTENSAS NO ESTADO	35
FIGURA 9 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 10 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	37
FIGURA 10 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 20 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	38
FIGURA 11 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 30 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	39
FIGURA 12 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 40 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	40
FIGURA 13 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 50 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	41
FIGURA 14 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 60 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	42
FIGURA 15 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 120 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	43
FIGURA 16 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 180 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	44
FIGURA 17 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 240 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	45
FIGURA 18 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 360 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	46
FIGURA 19 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 720 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	47
FIGURA 20 - SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS PARA A CHUVA INTENSA DE 1440 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, NO ESTADO DO TOCANTINS, COM DESTAQUE PARA O GRAU DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL (GD), ALCANCE (A) E ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO OBTIDO POR VALIDAÇÃO CRUZADA (EMPA).....	48

FIGURA 21 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 10 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	50
FIGURA 22 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 20 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	51
FIGURA 23 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 30 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	52
FIGURA 24 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 40 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	53
FIGURA 25 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 50 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	54
FIGURA 26 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 60 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	55
FIGURA 27 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 120 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	56
FIGURA 28 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 180 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	57
FIGURA 29 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 240 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	58
FIGURA 30 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 360 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	59
FIGURA 31 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 720 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	60
FIGURA 32 - MAPAS DE CHUVA INTENSA COM DURAÇÃO DE 1440 MINUTOS ASSOCIADA AOS TEMPOS DE RETORNO DE 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 E 1000 ANOS, EM $MM H^{-1}$, PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA.....	61
FIGURA 33 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITTE E MATTER PARA O ESTADO DO TOCANTINS OBTIDA POR CO-KRIGAGEM (SOUZA, 2016).....	71
FIGURA 34 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO ASTER PARA O ESTADO DO TOCANTINS E (A) LOCALIZAÇÃO DAS 10 ESTAÇÕES PLUVIOGRÁFICAS E (B) LOCALIZAÇÃO DOS 95 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS NESTE ESTUDO.....	72
FIGURA 35 - VALORES DE K_m EM FUNÇÃO DA DURAÇÃO DA CHUVA INTENSA (CURVAS DE 5 MIN, 1 H, 6 H E 24 H) E DA LÂMINA MÉDIA OBSERVADA (WMO, 2009).....	73
FIGURA 36 - FATORES DE CORREÇÃO PARA A MÉDIA (A) E DESVIO PADRÃO (B) DAS SÉRIES ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA COMO FUNÇÃO DO TAMANHO DA SÉRIE E DO VALOR MÉDIO OBSERVADO, EM MM, VISANDO COMPENSAR A PRESENÇA DE VALORES ATÍPICOS (WMO, 2009).....	74
FIGURA 37 - FATOR DE AJUSTE (%) DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS SÉRIES ANUAIS EM FUNÇÃO DO TAMANHO DA SÉRIE (WMO, 2009)	75
FIGURA 38 - MAPAS DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL PARA DURAÇÕES DE 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 360, 720 E 1440 MINUTOS OBTIDOS PARA O ESTADO DO TOCANTINS, OBTIDOS PELO INTERPOLADOR INVERSO DO QUADRADO DA DISTÂNCIA ...	79
FIGURA 39 - MAPA DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL COM DURAÇÃO DE 24 HORAS GERADO PELO MÉTODO IQD A PARTIR DE 95 SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL PARA O ESTADO DO TOCANTINS	80

1 INTRODUÇÃO GERAL

Chuvas intensas são entendidas como ocorrências extremas, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica. De acordo com Back et al. (2012), no Brasil existe relativa facilidade de se obter dados de chuva com duração diária, porém, dados de chuvas de menor duração são escassos e, quando existem, são séries relativamente curtas e que apresentam muitas falhas. Segundo Mello e Silva (2013), uma opção para contornar essa limitação, é a aplicação da metodologia de desagregação de chuvas, que possibilita a estimativa de chuvas de curta duração a partir da precipitação máxima diária anual (h_{dia}) monitorada por pluviômetros.

Para Caldeira et al. (2015), estudos relacionados às chuvas intensas são de grande relevância na gestão de recursos hídricos, visto que estas são aplicadas frequentemente para o dimensionamento de obras de controle de cheias e inundações, no cálculo da vazão de projeto nas metodologias conhecidas como chuva-vazão. Neste sentido, o dimensionamento de vertedores, barragens, canais, desvios de cursos d'água, galerias pluviais, bueiros, sistemas de drenagem, práticas mecânicas de controle da erosão hídrica do solo, dentre outros, deve levar em conta a magnitude, duração e a frequência das chuvas intensas. Portanto, neste tipo de situação é necessária a predição das chuvas extremas associadas à uma dada recorrência, o que pode ser feito, valendo-se dos princípios de probabilidade (CARDOSO et al., 1998).

O Estado do Tocantins está localizado na região norte do Brasil entre as longitudes 44^oW e 52^oW e latitudes 14^oS e 4^oS, possui uma área de 277.620 km² e 139 municípios. Predominam diferentes formações vegetais no estado, sendo a parte inserida na Amazônia Legal equivalente a cerca de 5,4% do seu território, enquanto o Bioma Cerrado equivale a 87%. O estado apresenta grande potencial hidráulico, com 14 usinas hidrelétricas em operação, 13 projetadas e 8 em construção (TOCANTINS, 2012).

Considerando a natureza da matriz energética do estado e do Brasil, deve-se dedicar atenção especial à construção de barragens. De acordo com Burger (2014), a determinação de cheias de projeto de estruturas hidráulicas, tais como vertedores, é de grande importância para o meio técnico, assim como para a sociedade em geral.

Os riscos provenientes de uma possível ruptura ou transposição de massas de água associadas aos galgamentos de uma barragem de grande porte incluem perdas de vidas humanas, danos físicos e materiais, paralisação da economia local, colapso do sistema hidrelétrico, dentre outros. Estes riscos podem ser minimizados com o dimensionamento adequado das estruturas hidráulicas.

A Precipitação Máxima Provável (PMP) é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada duração, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo (WMO, 2009). Segundo Burger (2014), através da utilização de modelos de transformação da chuva em vazão, transforma-se a Precipitação Máxima Provável na Cheia Máxima Provável (CMP), que é o hidrograma máximo teórico que pode ocorrer em uma determinada bacia hidrográfica, em uma determinada época do ano, correspondente ao resultado da ocorrência da PMP. O citado autor afirma que os dados pluviométricos e meteorológicos são utilizados para definir a chuva de projeto, e as peculiaridades da bacia hidrográfica são interpretadas na forma de um modelo de transformação de precipitação em escoamento. Por isso, é imprescindível a adequada determinação da cheia de projeto de estruturas hidráulicas, sendo um dos principais critérios recomendados para o dimensionamento de grandes barragens, a adoção da Cheia Máxima Provável. De acordo com a WMO (2009), o objetivo da estimativa da PMP é calcular o valor da Cheia Máxima Provável (CMP) utilizado na elaboração de um projeto para uma localização geográfica específica em uma bacia hidrográfica, para obter mais informações que poderiam ajudar a projetar a altura da barragem e a capacidade de armazenamento do reservatório e a dimensão do sistema extravasor (vertedor) da barragem do projeto.

Neste contexto, este estudo objetiva mapear chuvas intensas no estado do Tocantins, sendo que este foi subdividido em três capítulos com objetivos específicos: (1) determinar constantes de desagregação de chuvas intensas para o Estado do Tocantins e proceder a comparação destas constantes com as obtidas por estudos para outras regiões do Brasil; (2) promover o mapeamento de chuvas intensas com durações de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, associadas com as recorrências de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos e (3) mapear a precipitação máxima provável para o estado do Tocantins com base na metodologia descrita na *World Meteorological Organization - WMO* (2009), para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos.

2 CONSTANTES DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DO TOCANTINS

RESUMO

O conhecimento das características das chuvas intensas de curta duração é essencial para o dimensionamento de obras de drenagem em pequenas bacias hidrográficas e estudos sobre erosão hídrica. Contudo, uma vez que o monitoramento do regime pluvial é tradicionalmente centrado na chuva diária, por pluviômetros, frequentemente torna-se necessário utilizar constantes de desagregação locais. O objetivo deste trabalho é determinar constantes de desagregação de chuvas intensas para o Estado do Tocantins e proceder a comparação destas constantes com as obtidas por estudos para outras regiões do Brasil. Para a modelagem da frequência das chuvas intensas de diferentes durações foi empregada a distribuição de probabilidades Gumbel para dados de precipitação máxima de 10 estações pluviográficas. Foram obtidas as seguintes constantes de desagregação médias para o Estado do Tocantins: $h_{10\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0,46$, $h_{20\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0,76$, $h_{30\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,68$, $h_{40\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,83$, $h_{50\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,92$, $h_{1\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,61$, $h_{2\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,72$, $h_{3\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,78$, $h_{4\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,82$, $h_{6\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,86$, $h_{12\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,93$. Tais constantes constituem-se em importante ferramenta para aplicações que demandem a estimativa de chuvas intensas de curta duração no Estado do Tocantins.

Palavras-chave: hidrologia, precipitação, distribuição de probabilidades Gumbel

CONSTANTS OF DISAGGREGATION OF DAILY RAINFALL FOR THE STATE OF TOCANTINS

ABSTRACT

Knowledge of the characteristics of intense short-term rainfall is essential for the design of drainage works in small watersheds and studies on water erosion. However, since the monitoring of pluvial regime is traditionally based on the daily rainfall, by gauges often it becomes necessary to use local disaggregation constant. The objective of this study is to determine constant breakdown of heavy rain for the State of Tocantins and make comparison of these constants with those obtained by studies in other regions of Brazil. For modeling the frequency of intense rainfalls of different durations we used the Gumbel distribution probabilities for data maximum rainfall of 10 pluviograph stations. Were obtained the disaggregation constants: $h_{10\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0.46$, $h_{20\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0.76$, $h_{30\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0.68$, $h_{40\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0.83$, $h_{50\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0.92$, $h_{1\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0.61$, $h_{2\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0.72$, $h_{3\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0.78$, $h_{4\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0.82$, $h_{6\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0.86$, $h_{12\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0.93$. Such constant constitute an important tool for applications that require the estimation of heavy rainfall of short duration in the State of Tocantins.

Keywords: hidrology, rainfall, Gumbel distribution

2.1 INTRODUÇÃO

No planejamento do uso da água e do solo é indispensável dispor de informações relacionadas às variáveis climáticas, tais como as chuvas intensas (SOUZA et al., 2012). No entanto, segundo Back (2009), a dificuldade de obtenção da relação intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas de curtas durações é um obstáculo, e que reside na escassez de registros pluviográficos ou nos pequenos períodos de observação destes.

De acordo com Cardoso et al. (1998) e Oliveira et al. (2000), neste tipo de situação torna-se necessário realizar estimativas das chuvas intensas de curta duração a partir dos registros diários realizados em pluviômetros, visto que esses são mais abundantes no território brasileiro. De acordo com Mello e Silva (2013) uma opção para contornar essa limitação de dados, é a aplicação da metodologia de desagregação de chuvas, que possibilita a estimativa de chuvas de curta duração a partir da precipitação máxima diária anual (h_{dia}) monitorada por pluviômetros. Nesta metodologia, procede-se inicialmente a estimativa da chuva intensa de 24 horas ($h_{24\text{h}}$). A diferença entre as duas consiste em que h_{dia} refere-se à lâmina monitorada por pluviômetro, com intervalo fixo de 24 horas, visto que as leituras são realizadas às 9:00 horas no Estado do Tocantins, que se refere a um horário padrão para o monitoramento meteorológico (12:00 do meridiano de Greenwich, ou 12:00 UTC), enquanto que $h_{24\text{h}}$ refere-se àquela monitorada por pluviógrafo, e assim, sem fixação do início da contagem do tempo (MELLO et al., 2001).

Um estudo pioneiro, tido ainda hoje como referência para estudos de desagregação de chuvas no Brasil, é o do Daee/Cetesb (1980). De acordo com este estudo existe uma relação praticamente invariável entre $h_{24\text{h}}$ e h_{dia} e que pode ser assumida como: $h_{24\text{h}}/h_{\text{dia}} = 1,14$. Ainda de acordo com este estudo, o resultado da média aritmética entre as chuvas máximas de 1 e de 2 dias pode ser considerado como uma estimativa consistente da chuva de 24 horas, para uma dada frequência de ocorrência. Outro importante aspecto do estudo Daee/Cetesb (1980) é a disponibilização de constantes de desagregação médias para chuvas de menor duração. Entretanto, dada a necessidade de obtenção de valores locais e específicos das constantes de desagregação, diversos outros estudos vêm sendo desenvolvidos no Brasil, podendo-se destacar os de Taborga (1974) para o Brasil, Oliveira et al. (2000) para Goiás, Souza et al. (2012) para o Pará, Cardoso et al. (1998) e Back et

al. (2012) para Santa Catarina, Aragão et al. (2013) para o Sergipe; Pereira et al. (2014) para o Mato Grosso do Sul e Caldeira et al. (2016) para o Rio Grande do Sul.

Em diversas situações atualmente observadas no Estado do Tocantins são necessárias estimativas corretas de chuvas intensas de curta duração. Considerando o potencial agrícola do Estado e os efeitos danosos da elevada energia cinética das chuvas intensas nestes ambientes, tal conhecimento é essencial para subsidiar estudos de conservação dos solos e da água. Também há de se considerar o crescimento do Estado e a necessidade de subsídios para o dimensionamento de obras hidráulicas, como por exemplo, sistemas de drenagem urbana e rural.

O objetivo deste trabalho concentra-se na determinação das constantes de desagregação de chuvas intensas para o Estado do Tocantins a partir de 10 séries históricas pluviográficas e também aplicadas ao estudo de chuvas intensas realizado por Silva et al. (2003). Especificamente, objetiva-se analisar a influência da frequência da variável hidrológica sobre os valores das constantes de desagregação e a obtenção das seguintes relações: $h_{10\text{min}}/h_{30\text{min}}$, $h_{20\text{min}}/h_{30\text{min}}$, $h_{30\text{min}}/h_{1\text{h}}$, $h_{40\text{min}}/h_{1\text{h}}$, $h_{50\text{min}}/h_{1\text{h}}$, $h_{1\text{h}}/h_{24\text{h}}$, $h_{2\text{h}}/h_{24\text{h}}$, $h_{3\text{h}}/h_{24\text{h}}$, $h_{4\text{h}}/h_{24\text{h}}$, $h_{6\text{h}}/h_{24\text{h}}$, $h_{12\text{h}}/h_{24\text{h}}$.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização da região de estudo e banco de dados

O Estado do Tocantins está localizado entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de latitude sul, e entre os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de longitude oeste, com área de 277.620,914 km², representando 3,26% da área total do Brasil e 7,2% da Região Norte. O Estado formações vegetais típicas da Amazônia, com florestas Ombrófila Aberta e Ombrófila Densa que ocupam 9% da área do estado, e as florestas estacionais com pequena representatividade vegetal (IBGE, 2004).

De acordo com levantamento realizado pela Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Estado do Tocantins - SEPLAN para o ano de 2007 (TOCANTINS, 2012), o Bioma Cerrado ocupa cerca de 91% da área do Estado e comporta formações vegetais de estrutura campestre, tendo o campo limpo (savana gramíneo-lenhosa) e o campo sujo, formação savânica ou florestal com os subtipos que caracterizam-se por uma camada rasteira predominantemente herbácea e por uma cobertura lenhosa que varia de 5 a 20% em áreas de cerrado ralo (savana parque), situa-se entre 20 e 50% em cerrado típico, e vai de 50 a 70% em cerrado

denso. O cerrado rupestre desenvolve-se sobre afloramento rochoso. Nas planícies inundáveis do estado desenvolve-se o parque de cerrado (savana parque). As veredas são formações savânicas que ocupam as cabeceiras (nascentes) dos corpos hídricos. O cerradão (savana florestada) é considerado uma formação florestal e ocorre em menor proporção em relação às demais fitofisionomias de Cerrado dentro do Tocantins.

Segundo Souza (2016), as três regiões climáticas homogêneas de acordo com a classificação de Thornthwaite para o Estado do Tocantins, estão descritas na sequência. Região I – Região climática C1s2A'a': Clima subúmido seco, com grande excesso d'água no verão, megatérmico; Região II – Região climática C2wA'a' – Clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico; Região III – Região climática B1wA'a' – Clima úmido, com deficiência d'água moderada no inverno, megatérmico (Figura 1).

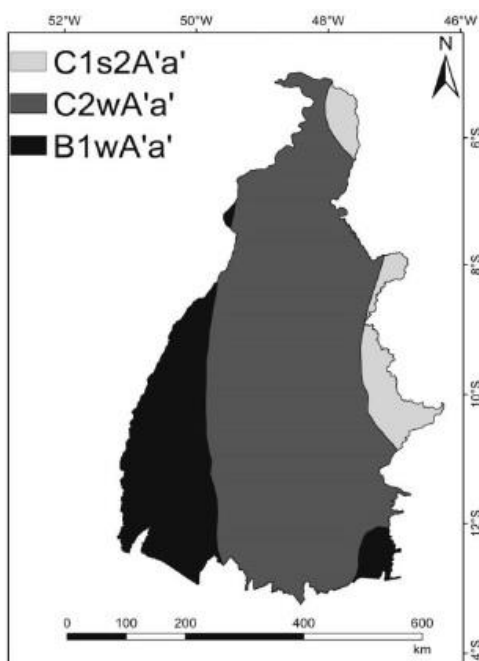


Figura 1 - Classificação climática de Thornthwaite e Matter para o Estado do Tocantins (Souza, 2016)

Segundo Viola et al. (2014), o Estado do Tocantins apresenta sazonalidade moderada quanto à concentração de chuvas, o que caracteriza duas regiões distintas. Na primeira, as chuvas são melhor distribuídas ao longo do ano, em uma extensa faixa desde o norte da Ilha do Bananal (sudoeste do Estado) até o sul da região do Bico do Papagaio; e, na segunda, as chuvas encontram-se mais concentradas, cobrindo todo o sul e o extremo norte do Estado. Essa sazonalidade em relação à precipitação é

uma característica marcante da região central do Brasil, na qual, durante o período de estiagem, ocorre a intensificação do anticiclone do Atlântico Sul, com redução da presença de vapor d'água na atmosfera.

O banco de dados aplicado ao estudo consiste de séries históricas de intensidades máximas associadas às durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 minutos, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Água (ANA) e também aplicadas ao estudo de chuvas intensas realizado por Silva et al. (2003) para 10 localidades no Estado do Tocantins. A Figura 2 apresenta o modelo digital de elevação ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), disponibilizado pelo website do USGS (*United States Geological Survey*), com resolução espacial de 30 metros e a localização das estações pluviográficas.

O Anexo I apresenta os parâmetros estatísticos obtidos por Silva et al. (2003).

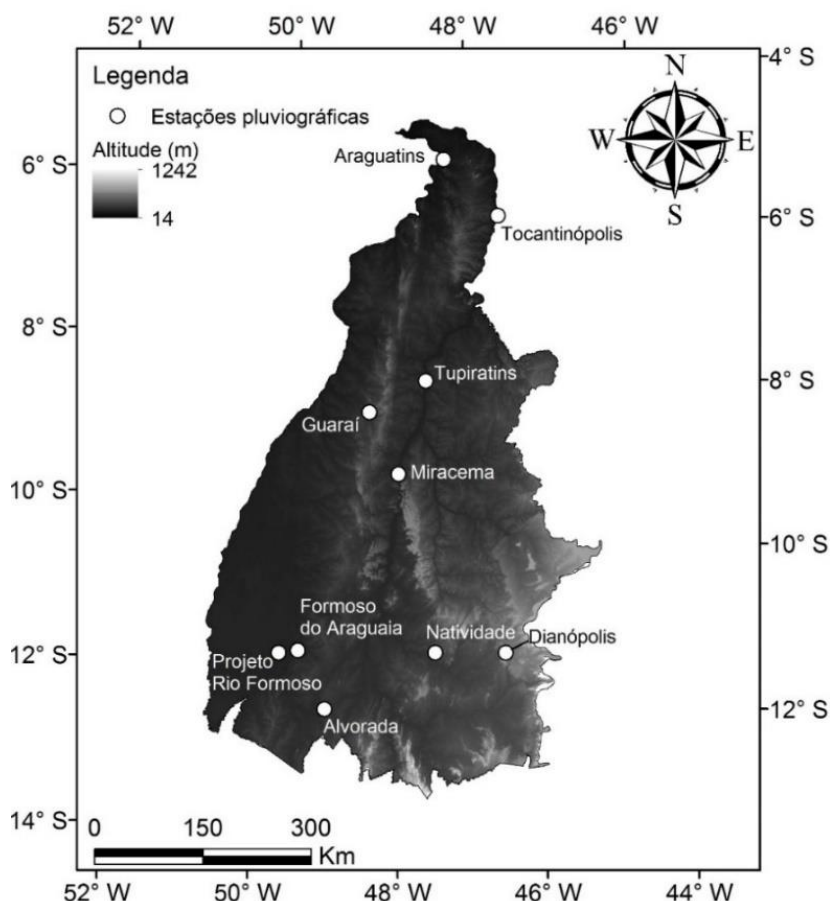


Figura 2 - Modelo digital de elevação ASTER para o Estado do Tocantins e distribuição espacial das estações pluviográficas utilizadas no presente estudo.

2.2.2 Desagregação de chuvas intensas

Ajustou-se a distribuição de probabilidades de valores extremos máximos de Gumbel para modelar a frequência das chuvas intensas de diferentes durações no Tocantins. Esta distribuição vem sendo bastante aplicada a séries de chuvas intensas, com bons resultados, podendo-se destacar os trabalhos desenvolvidos por Silva et al. (2003), Mello et al. (2001), Cardoso et al. (1998), Back (2009), Back et al. (2012), Damé et al. (2006), Damé et al. (2010), Caldeira et al. (2016), justificando a aplicação deste modelo probabilístico no presente estudo.

Na sequência, apresenta-se a distribuição de Gumbel de acordo com Mello e Silva (2013). A Função Densidade de Probabilidade (FDP) desta distribuição é dada por:

$$f(x) = \alpha \cdot e^{[-\alpha \cdot (x-\mu) - e^{-\alpha \cdot (x-\mu)}]} \quad (1)$$

Em que, x é a variável hidrológica em estudo, α é o parâmetro de escala da distribuição e μ é o parâmetro de posição da distribuição. O cálculo destes parâmetros, pelo método dos momentos estatísticos, está apresentado na sequência:

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (2)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,45 \cdot s \quad (3)$$

Em que \bar{x} e s correspondem à média e ao desvio padrão da série histórica, respectivamente.

A integração da FDP fornece a função cumulativa de probabilidade (FCP), que na forma de excedência ($P(X \geq x)$), é dada por:

$$P(X \geq x) = 1 - \exp(-\exp[-\alpha \cdot (x - \mu)]) \quad (4)$$

A adequabilidade da distribuição de probabilidades foi verificada pelo teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%, conforme Mello e Silva (2013).

A estimativa da variável hidrológica associada a uma dada recorrência (X_{TR}) é dada por:

$$x_{TR} = \frac{-LN[-LN(1-\frac{1}{TR})]}{\alpha} + \mu \quad (5)$$

Em que, TR é o tempo de retorno, em anos.

Para a determinação das constantes de desagregação foram considerados os seguintes tempos de retorno: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos. Posteriormente,

para cada frequência analisada (TR), foi utilizado o método de relação entre durações para obtenção das constantes de desagregação de chuvas intensas. De acordo com Tucci (2009), este método considera dois aspectos: a) a tendência das curvas de probabilidade de diferentes durações manterem-se paralelas entre si e, b) para diferentes locais, existe uma grande similaridade nas relações entre precipitações médias máximas variando de acordo com as diferentes durações, ou seja, trata-se de um método com a vantagem de ser de uso simples, de fornecer resultados satisfatórios e com grande similaridade para diferentes locais, o que lhe outorga validade regional (BACK et al., 2012). As relações entre durações foram obtidas segundo a Equação 6:

$$r_{t1/t2} = \frac{\text{precipitação de duração } t1}{\text{precipitação de duração } t2} \quad (6)$$

Em que, $r_{t1/t2}$ é a constante que caracteriza a relação entre as chuvas intensas de duração t_1 e de duração t_2 .

Foram calculadas as seguintes constantes de desagregação: $h_{10\text{min}}/h_{30\text{min}}$, $h_{20\text{min}}/h_{30\text{min}}$, $h_{30\text{min}}/h_{60\text{min}}$, $h_{40\text{min}}/h_{60\text{min}}$, $h_{50\text{min}}/h_{60\text{min}}$, $h_{60\text{min}}/h_{24\text{h}}$, $h_{120\text{min}}/h_{24\text{h}}$, $h_{180\text{min}}/h_{24\text{h}}$, $h_{240\text{min}}/h_{24\text{h}}$, $h_{360\text{min}}/h_{24\text{h}}$, $h_{720\text{min}}/h_{24\text{h}}$. Em razão do banco de dados do presente estudo não dispor das séries de precipitação máxima diária anual (h_{dia}) para as 10 localidades trabalhadas, não foi possível a obtenção da relação $h_{24\text{h}}/h_{\text{dia}}$. Entretanto, isto não se caracteriza como uma limitação, uma vez que de acordo com CETESB (1980) a relação $h_{24\text{h}}/h_{\text{dia}}$ apresenta valor praticamente constante de 1,14, sendo adotado neste estudo.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de significância (α) de 5%, apresentados na Tabela 1, verificou-se adequabilidade da distribuição de probabilidades Gumbel para modelagem da frequência das séries de

precipitação máxima diária anual trabalhadas, uma vez que o valor estatisticamente nulo, para as séries estudadas, é de 0,391 ($|\Delta F|_{\text{calc}} < \Delta F_{(n;\alpha)}$).

Tabela 1 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição de Gumbel ajustada às séries de precipitação máxima associadas a diferentes durações

Estação	10'	20'	30'	40'	50'	60'	120'	180'	240'	360'	720'	1440'
Alvorada	0,226	0,097	0,117	0,109	0,099	0,103	0,067	0,111	0,157	0,132	0,157	0,163
Araguatins	0,249	0,249	0,249	0,247	0,243	0,232	0,213	0,255	0,248	0,251	0,301	0,280
Dianópolis	0,183	0,155	0,155	0,243	0,225	0,188	0,160	0,143	0,160	0,132	0,131	0,155
F. do Araguaia	0,235	0,080	0,096	0,104	0,162	0,154	0,189	0,142	0,114	0,081	0,164	0,115
Guaraí	0,163	0,143	0,158	0,187	0,144	0,151	0,142	0,154	0,172	0,151	0,151	0,144
Miracema-TO	0,184	0,133	0,158	0,216	0,157	0,161	0,200	0,222	0,153	0,165	0,166	0,173
Natividade	0,249	0,249	0,249	0,247	0,247	0,244	0,232	0,223	0,206	0,237	0,243	0,243
P. Rio Formoso	0,198	0,125	0,147	0,139	0,111	0,127	0,056	0,063	0,107	0,078	0,123	0,106
Tocantiópolis	0,186	0,106	0,084	0,120	0,116	0,116	0,056	0,111	0,133	0,122	0,092	0,224
Tupiratins	0,188	0,231	0,220	0,208	0,194	0,189	0,133	0,107	0,152	0,163	0,155	0,183

O anexo II apresenta a precipitação máxima associada aos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos para as séries pluviográficas de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, determinadas pela distribuição Gumbel.

Na Figura 3, estão apresentados os resultados das constantes de desagregação de chuvas em função do tempo de retorno. Conforme pode ser observado, as constantes apresentam um comportamento estável, em função do tempo de retorno, isto é, apresentam pequena variação. Para uma mesma estação, para tempos de retorno maiores que 100 anos, a constante tem valor praticamente fixo, visto que se tornam retas assintóticas ao eixo x. Nota-se que o valor das constantes apresenta diferenças para locais distintos do estado. A estação de Tupiratins é a que apresenta maior discrepância para algumas constantes, principalmente para as relações entre chuvas de maiores durações.

O anexo III apresenta a relação entre alturas pluviométricas (constantes de desagregação) para chuvas intensas com duração de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos associadas aos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos.

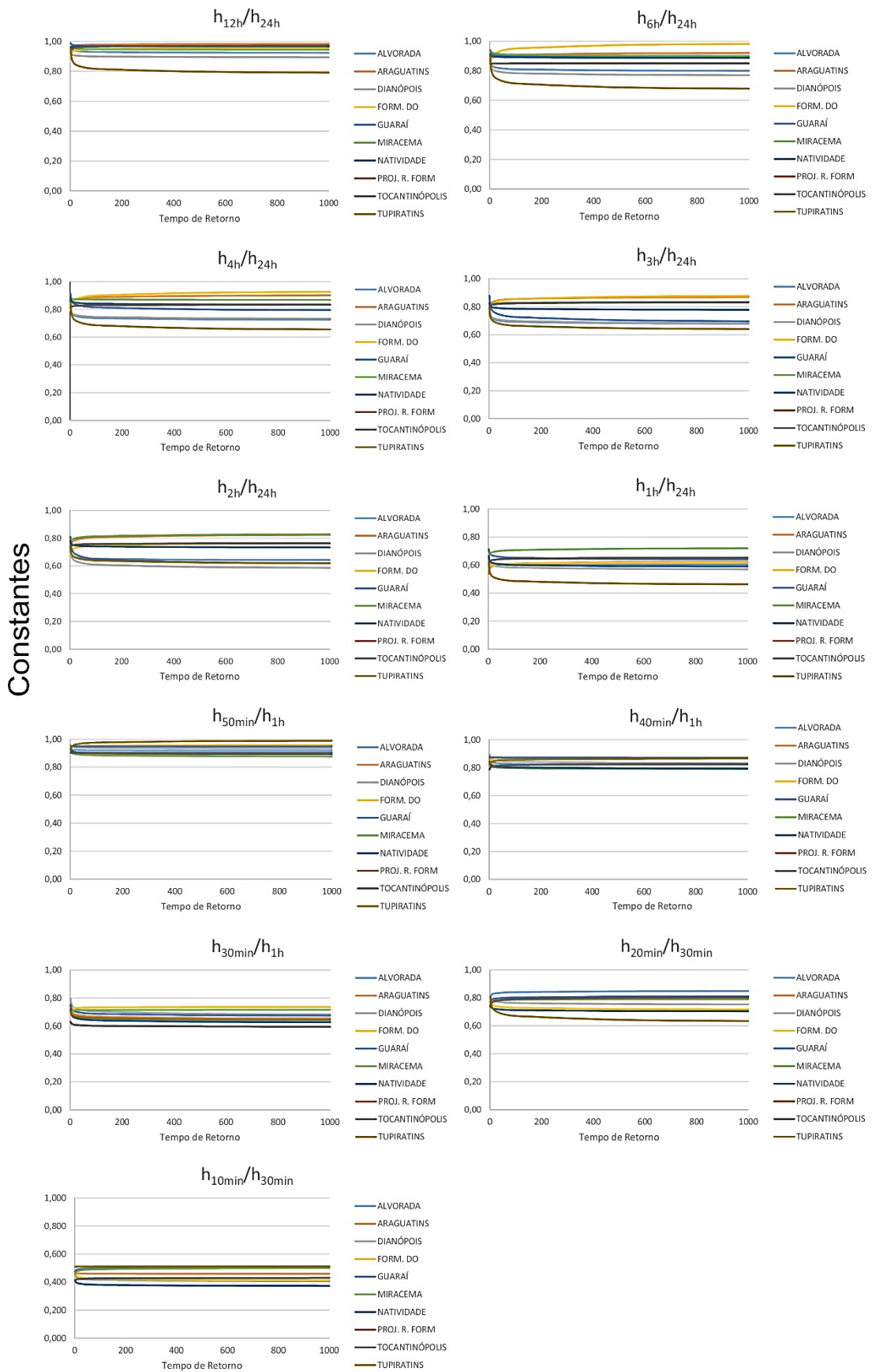


Figura 3 - Variação das constantes de desagregação de chuvas em função do tempo de retorno para 10 localidades do estado do Tocantins

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios obtidos para as constantes de desagregação de chuvas para tempos de retorno variando entre 2 e 1000 anos para os 10 postos pluviográficos trabalhados, assim como a média (\bar{x}), o desvio padrão (sd) e o coeficiente de variação (CV).

Tabela 2 - Valores médios das constantes de desagregação de chuvas para tempos de retorno variando entre 2 e 1000 anos, seguido da média (\bar{x}), desvio padrão (sd) e coeficiente de variação (CV) para cada constante trabalhada

Estação / Constante	h12h/ h24h	h6h/ h24h	h4h/ h24h	h3h/ h24h	h2h/ h24h	h50min/ h1h	h40min/ h1h	h30min/ h1h	h20min/ h30min	h10min/ h30min
Alvorada	0,94	0,83	0,75	0,71	0,66	0,92	0,84	0,67	0,83	0,43
Araguatins	0,97	0,89	0,87	0,84	0,78	0,90	0,82	0,69	0,78	0,46
Dianópolis	0,91	0,80	0,76	0,72	0,64	0,94	0,86	0,73	0,77	0,49
F. Araguaia	0,94	0,92	0,87	0,83	0,73	0,95	0,86	0,73	0,74	0,43
Guaraí	0,97	0,91	0,84	0,76	0,69	0,95	0,87	0,70	0,80	0,49
Miracema	0,95	0,92	0,87	0,82	0,80	0,89	0,80	0,71	0,78	0,48
Natividade	0,86	0,83	0,80	0,78	0,75	0,91	0,83	0,68	0,72	0,50
Proj. R. Formoso	0,96	0,90	0,85	0,79	0,75	0,91	0,81	0,66	0,72	0,39
Tocantinópolis	0,96	0,85	0,82	0,82	0,75	0,90	0,81	0,61	0,78	0,42
Tupiratins	0,85	0,76	0,72	0,69	0,66	0,96	0,85	0,67	0,70	0,51
x	0,93	0,86	0,82	0,78	0,72	0,92	0,92	0,83	0,68	0,76
sd	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
CV	4,3	7,0	6,1	6,4	8,3	2,2	2,2	2,4	5,9	5,3

As relações h_{12h}/h_{24h} variam de 0,85 a 0,97, com valor médio de 0,93. Para a relação h_{6h}/h_{24h} , a variação ocorreu de 0,76 a 0,92, com valor médio de 0,86. Já para a relação h_{20min}/h_{30min} , a variação ocorreu de 0,70 a 0,83, com valor médio de 0,76.

Segundo Lima et al. (2004), o coeficiente de variação (CV) constitui-se como estimativa do erro experimental, em relação à média geral do ensaio, sendo uma estatística muito utilizada como medida de avaliação da qualidade experimental. Considera-se que quanto menor o valor do CV, maior será a precisão do experimento.

De acordo com Pimentel-Gomes (1991) os resultados do coeficiente de variação (CV) recebem a seguinte classificação: < 10%: baixo, $10\% \leq CV < 20$: médio: $20\% \leq CV < 30$: alto, e $\geq 30\%$: muito alto. Desta maneira, uma vez que em todas as situações o CV apresentou valores menores que 9%, infere-se que a utilização das médias das constantes de desagregação dos 10 postos pluviográficos é adequada para o Estado do Tocantins.

Na Figura 4 apresenta-se a comparação das constantes de desagregação obtidas pelo presente estudo para o Estado do Tocantins, com os resultados de Cetesb (1980), Back et al. (2012), Teixeira et al. (2011) e ATP-Engenharia/INFRAERO, 2010.

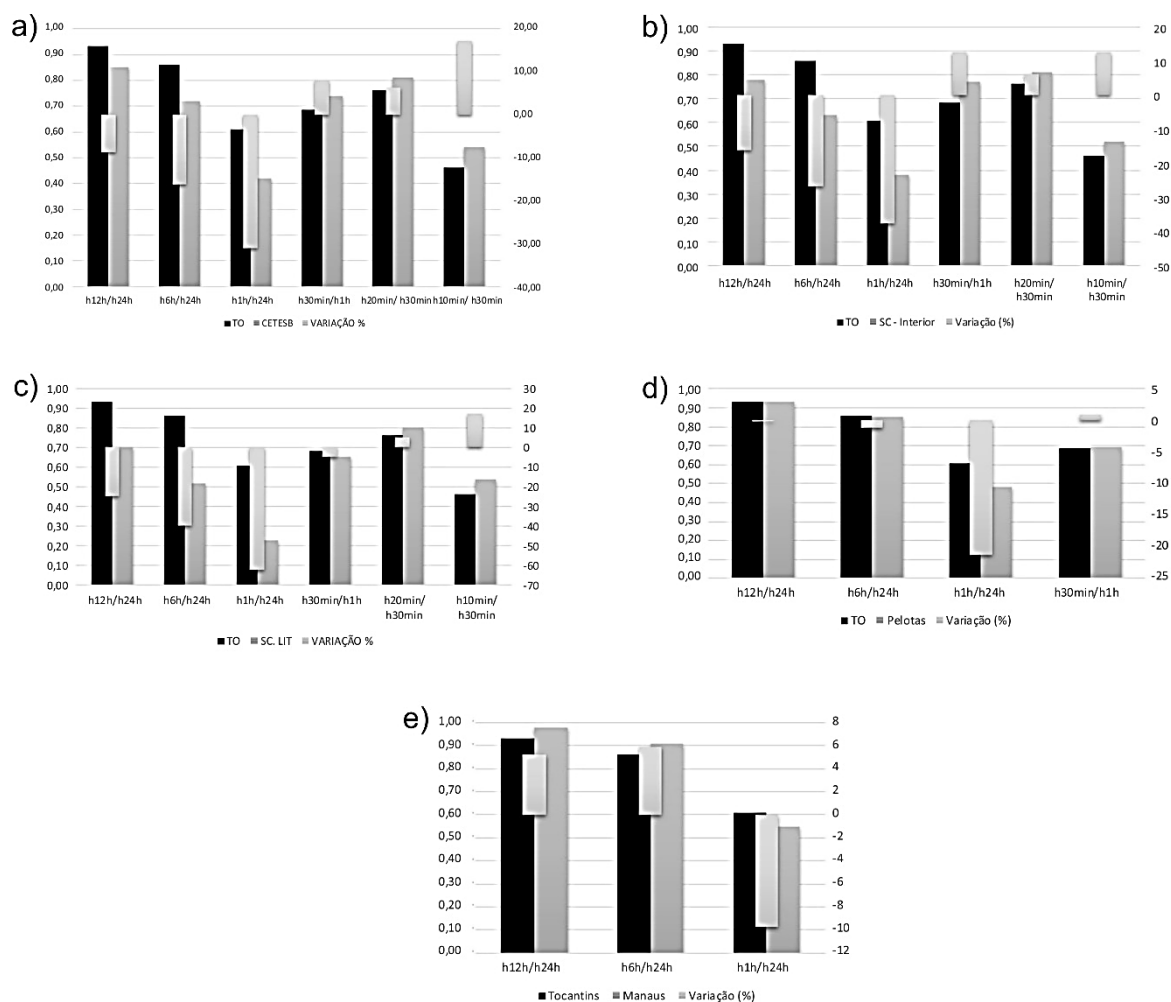


Figura 4 - Comparação das constantes de desagregação de chuvas instensas obtidas pelo presente estudo para o Estado do Tocantins com as constantes obtidas para (a) o Brasil (CETESB, 1980), (b) interior de Santa Catarina (BACK et. al., 2012), (c) litoral de Santa Catarina, (BACK et. al., 2012), (d) Pelotas-RS (TEIXEIRA et al, 2011) e (e) Manaus (ATP-Engenharia/INFRAERO, 2010)

Comparando-se o presente estudo com os resultados de Cetesb (1980) (Figura 4a), que foram obtidas para o Brasil, observa-se variação moderada para a relação h_{1h}/h_{24h} (31%), enquanto que, para as demais relações a variação foi menor que 17%. Resultado similar foi obtido pela comparação com as constantes do interior (Figura 4b) e litoral de Santa Catarina (Figura 4c) para as quais a relação h_{1h}/h_{24h} apresentou variação de 37,6% e 62,2%, respectivamente, enquanto que para todas as demais relações a variação é inferior a 16,3% e 25%, respectivamente.

Comparando-se com as constantes para a cidade de Pelotas (Figura 4d), observa-se menores diferenças para as relações h_{12h}/h_{24h} , h_{6h}/h_{24h} e h_{30min}/h_{1h} (variação menor que 1,1%), com exceção da constante h_{1h}/h_{24h} que apresentou variação de 21,2%. A comparação com as constantes de Manaus evidenciou diferenças de até 10% h_{12h}/h_{24h} , h_{6h}/h_{24h} e h_{1h}/h_{24h} .

Observando a comparação realizada entre as constantes determinadas para o Tocantins, é possível perceber um padrão considerando principalmente a maior variação da relação h_{1h}/h_{24h} obtida para o Tocantins com as obtidas para as localidades citadas anteriormente. Desta maneira constata-se que existem diferenças expressivas entre as constantes de desagregação de chuvas intensas de diferentes regiões, o que reforça as recomendações de Back et al. (2012) e Cetesb (1980), de que nesta metodologia é adequado que sejam utilizadas constantes de desagregação específicas para cada local de interesse, uma vez que cada região apresenta elementos e fatores climáticos que podem interferir diretamente na variável hidrológica.

2.4 CONCLUSÕES

1. Foram obtidas as seguintes constantes de desagregação médias para o Estado do Tocantins: $h_{10min}/h_{30min} = 0,46$, $h_{20min}/h_{30min} = 0,76$, $h_{30min}/h_{1h} = 0,68$, $h_{40min}/h_{1h} = 0,83$, $h_{50min}/h_{1h} = 0,92$, $h_{1h}/h_{24h} = 0,61$, $h_{2h}/h_{24h} = 0,72$, $h_{3h}/h_{24h} = 0,78$, $h_{4h}/h_{24h} = 0,82$, $h_{6h}/h_{24h} = 0,86$, $h_{12h}/h_{24h} = 0,93$.

2. A comparação dos resultados do presente estudo com os de estudos desenvolvidos para outras regiões brasileiras possibilitou identificar expressiva variação das constantes de desagregação de chuvas, permitindo concluir que as constantes desenvolvidas são válidas especificamente para desagregação de chuvas intensas diárias no Estado do Tocantins.

3. Considerando a diversidade climática do Tocantins, observa-se uma variação expressiva das constantes para diferentes regiões do estado.

2.5 AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização de séries hidrológicas, ao Instituto Federal do Tocantins pela concessão de bolsa de

qualificação – PROQUALIFICAR e ao o CNPq pelo fomento ao projeto de pesquisa 482075/2013-9.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, R. D.; SANTANA, G. R. D.; COSTA, C. E. F. F. D.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. D. et al. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 243-252, 2013. ISSN 1415-4366.

BACK, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2009.

BACK, Á. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 391-398, 2012. ISSN 1415-4366.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. D.; VARGAS, M. M.; GUEDES, H. A. S. et al. Desagegação de chuva diária: uma análise para o Estado do Rio Grande do Sul. **2016**, v. 16, n. 3, 2016-04-12 2016. ISSN 1983-2443.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 131-140, 1998.

CETESB. **Drenagem Urbana: manual de projetos**. São Paulo: DAEE/CETESB, 1980. 466 p.

DAMÉ, R.; PEDROTTI, C.; CARDOSO, M.; SILVEIRA, C.; DUARTE, L. et al. Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com aquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. **Revista Brasileira de Agrocência**, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.

DAMÉ, R. D. C.; TEIXEIRA, C. F.; TERRA, V. S.; ROSSKOFF, J. L. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 46-54, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa dos biomas do Brasil. Escala 1: 5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

LIMA, L. L. D.; NUNES, G. H. D. S.; NETO, F. B. Coeficientes de variação de algumas características do meloeiro: uma proposta de classificação. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, 2004.

MELLO, C.R.; FERREIRA, D.; SILVA, A.; LIMA, J. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 25, n. 3, p. 693-698, 2001.

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

OLIVEIRA, L. F. C. D.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. D. O. A.; ROMÃO, P. D. A.; CARVALHO, D. F. D. Estimativa das Equações de Chuvas Intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo Método de desagregação de Chuvas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 23-27, 2000.

PIMENTEL-GOMES, F. **O índice de variação: um substituto vantajoso do coeficiente de variação**. Piracicaba: Ipef, 1991. 4 p. (Circular Técnica, 178).

SEPLAN. Secretária de Planejamento. Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Superintendência de Planejamento e Gestão central de Políticas Públicas. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. Organizado por. BORGES, R.S.T.; DIAS, R.R.; SOUSA, P.A.B. (orgs). 6. ed. rev. atua. Palmas: Seplan, p.80. 2012.

SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, R.; FILHO, G. et al. Equações de Intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado do Tocantins. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 11, n. 4, p. 7-14, 2003.

SOUZA, F. H. M. D. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o estado do Tocantins**. 2016. (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO. 118 p.

SOUZA, R. O. R. D. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. D.; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, A. V. et al. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 999-1005, 2012.

TABORGA, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 120 p.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. D. C. F.; ROSSKOFF, J. L. C. Intensity-duration-frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas - RS, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 687-694, 2011. ISSN 0100-6916.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação (Org.)**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R. D.; LIMA, S. D. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 125-135, 2014. ISSN 0100-204X.

3 MAPEAMENTO DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DO TOCANTINS

RESUMO

O conhecimento da distribuição espacial de chuvas intensas de diferentes durações é suporte fundamental para projetos de estruturas hidráulicas e de conservação dos solos. O presente estudo teve como objetivo promover o mapeamento de chuvas intensas com durações de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, associadas aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, para o Estado do Tocantins. Foram aplicadas séries históricas de 95 postos pluviométricos localizados no Estado do Tocantins e proximidades, com período padronizado de 1983 a 2013. Foi conduzido um estudo geoestatístico, avaliando-se os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, ajustados pelo método dos mínimos quadrados ponderados. A partir deste estudo, o modelo que apresentou o menor erro médio com base na validação cruzada foi aplicado ao processo de mapeamento por krigagem ordinária. Os resultados mostraram bom desempenho das técnicas geoestatísticas, podendo-se destacar o modelo esférico para o mapeamento da precipitação máxima diária anual. Para as chuvas de curta duração obtidas por desagregação, o modelo gaussiano se sobressaiu. Verificou-se a existência de importante variabilidade espacial das chuvas intensas no Estado do Tocantins, o que evidencia diferenças na magnitude da chuva de projeto para dimensionamento de obras hidráulicas e conservação dos solos em diferentes localidades. Verificou-se ainda que as áreas caracterizadas com os eventos de precipitação mais extremos ocorrem na região do Bico do Papagaio (norte), noroeste, Ilha do Bananal (sudoeste) e Cantão (centro-oeste).

Palavras-chaves: geoestatística, chuva de projeto, desagregação de chuvas

HEAVY RAINFALLS MAPPING AT TOCANTINS STATE

SUMMARY

Knowledge of the spatial distribution of heavy rainfall of different durations is fundamental support to hydraulic structures and soil conservation projects. This study aimed to promote the heavy rainfall mapping with durations of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 and 1440 minutes, associated with recurrences of 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 and 1000 years to the State of Tocantins. Were applied historical series of 95 rain gauge stations located in the Tocantins and nearby state with standardized period from 1983 - 2013. Was conducted a geostatistical study, evaluating the semivariogram models spherical, exponential and gaussian, adjusted by the Minimum Square Weighted method. From this study, the model had the lowest average error obtained by cross-validation was applied to the mapping process by ordinary kriging. The results showed good performance of geostatistics can highlight the Spherical model for the annual daily maximum precipitation mapping. For the short rains obtained by disaggregation, the Gaussian model was predominant. It was observed the existence of significant spatial variability of heavy rains in the state of Tocantins, which shows differences in the magnitude of the project rain for calculation

of hydraulic and soil conservation to be held in different locations. It was found that the critical regions as the extreme precipitation events occur in the region of Bico do Papagaio (north), northwest, Bananal Island (southwest) and Cantão State Park (Midwest).

Keyword: geostatistics, design rain, rainfall disaggregation

3.1 INTRODUÇÃO

Para o planejamento integrado da gestão de recursos hídricos e de uso do solo é fundamental compreender a dinâmica espaço-temporal das chuvas intensas sob uma perspectiva ampla. Isto é importante para fornecer subsídios para o dimensionamento de projetos de conservação dos solos e de obras hidráulicas, e também para o planejamento do uso e ocupação da paisagem, visto que o conhecimento das características das chuvas intensas subsidia a identificação de áreas de risco para ocupação humana (MELLO E VIOLA, 2013).

O Estado do Tocantins encontra-se em uma região de transição climática, no contato entre os Biomas Cerrado e Amazônico, e relativamente próximo do semiárido do Nordeste do Brasil. O regime de chuvas sofre influência, dentre outros, do bloqueio atmosférico denominado Anticiclone do Atlântico Sul (ACAS) nos meses de inverno e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que canaliza a umidade atmosférica proveniente da Amazônia principalmente durante os meses do verão. De acordo com Reboita et al. (2010), essa sazonalidade em relação à precipitação é uma característica marcante da região central do Brasil, na qual, durante o período de estiagem, ocorre a intensificação do anticiclone do Atlântico Sul, com redução da presença de vapor d'água na atmosfera, o que impede a organização de nuvens de chuva e o deslocamento de sistemas frontais. Segundo Marcuzzo e Goularte (2013), durante os meses de outubro a abril ocorre cerca de 90,16% da precipitação total anual no Estado do Tocantins.

As chuvas intensas são caracterizadas por sua intensidade (I), duração (D) e frequência de ocorrência (F), sendo frequentemente representadas por equações que modelam a relação entre estas três grandezas, para determinado local (SOUZA et al., 2012).

A determinação das equações IDF por meio de dados pluviográficos apresenta grande dificuldade em razão da baixa densidade da rede pluviográfica e do pequeno período de observações normalmente disponível (BACK et al., 2011). Por esta razão, em algumas regiões poucos trabalhos têm sido realizados com tal

finalidade ocasionando grande entrave na realização de projetos de obras hidráulicas mais confiáveis e econômicos (SOUZA et al., 2012). Desde o estudo pioneiro sobre chuvas intensas no Brasil desenvolvido por Pfafstetter (1957), diversos aperfeiçoamentos foram obtidos, podendo-se destacar os estudos de Festi (2007), que elaborou uma coletânea de equações de chuvas intensas, Silva et al. (2002) para o Estado da Bahia, Souza et al. (2012) para o Estado do Pará, Oliveira et al. (2000) e Oliveira et al. (2008) para o Estado de Goiás, Aragão et al. (2013) para o Estado do Sergipe. Especificamente para o Estado do Tocantins, Silva et al. (2003) elaboraram equações de IDF para 10 localidades, Marcuzzo e Goularte (2013) determinaram índices de anomalias de chuvas e Viola et al. (2014) estudaram o comportamento do Fator R da equação universal de perdas do solo (USLE).

A importância do mapeamento das grandezas climáticas consiste tanto na busca por melhorias de aspectos metodológicos quanto na geração de mapas de uso e aplicação prática para o planejamento do meio físico, manejo de bacias hidrográficas e projetos de obras hidráulicas. Neste tipo de estudo, a utilização de técnicas geoestatísticas possibilita a redução de erros aleatórios, uma vez que a dependência espacial da precipitação é levada em consideração, o que permite o controle da parcela deste erro associada à dependência espacial (MELLO et al. 2003).

Partindo desta premissa, o objetivo deste estudo concentrou-se no mapeamento das chuvas intensas no estado do Tocantins com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 minutos, associadas com as recorrências de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, aplicando a metodologia de desagregação de chuvas abordada no capítulo anterior e técnicas geoestatísticas. Especificamente, objetiva-se avaliar áreas críticas com relação à ocorrência de chuvas intensas, visando produzir informações úteis ao manejo e conservação do solo e da água, subsidiar o mapeamento de áreas com maior vulnerabilidade à erosão no Estado do Tocantins e produzir informação técnica para subsidiar o dimensionamento de obras hidráulicas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Região de Estudo

O estudo foi realizado considerando a área do Estado do Tocantins, localizado entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de Latitude Sul, e entre os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de Longitude Oeste, com área de 277.620,914 km², representando 3,26% da área total do Brasil e 7,2% da Região Norte (SEPLAN, 2013).

Segundo Souza (2016), ocorrem no Estado do Tocantins três regiões climáticas homogêneas (Figura 5), sendo: a) região climática C1s2A'a': Clima subúmido seco, com grande concentração de chuvas no verão, megatérmico; b) região climática C2wA'a': clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico e c) região climática B1wA'a': clima úmido, com deficiência d'água moderada no inverno, megatérmico.

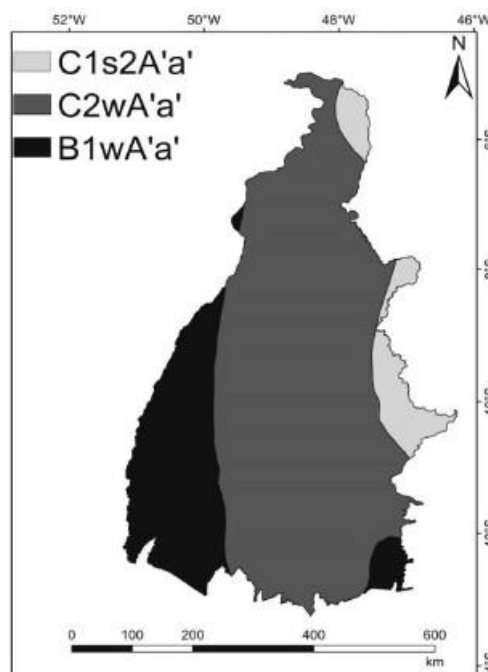


Figura 5 – Classificação climática de Thornthwaite e Matter para o Estado do Tocantins (SOUZA, 2016)

3.2.2 Base de dados

O banco de dados aplicado ao presente estudo consiste de séries históricas de precipitação máxima diária anual do período de 1983 a 2013 para 95 estações pluviométricas. As séries históricas foram obtidas junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo 61 postos

pluviométricos localizados dentro dos limites do Estado do Tocantins e 34 nos arredores do estado, conforme apresenta a Figura 6. A utilização de séries hidrológicas das proximidades do estado visa melhorar o mapeamento na região de contorno, e também, para a adequada representação da estrutura de dependência espacial da variável (ALVES et al., 2016).

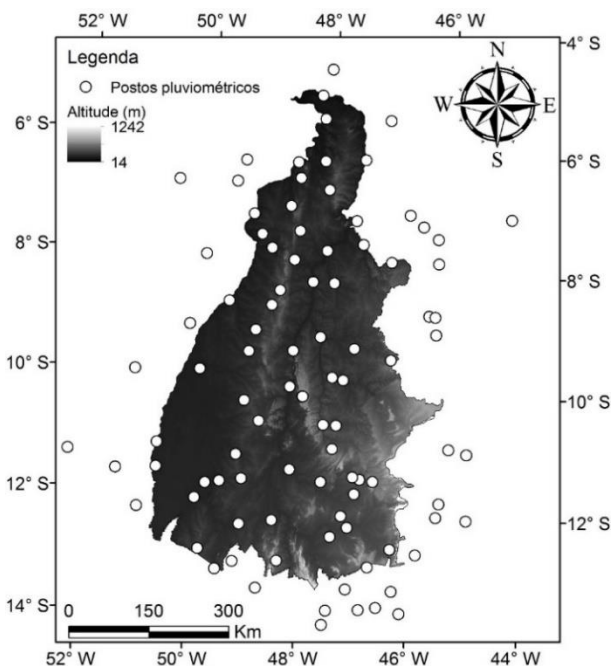


Figura 6 - Modelo digital de elevação ASTER para o Estado do Tocantins e localização dos postos pluviométricos utilizados neste estudo

O anexo IV apresenta a localização e precipitação média máxima diária anual para 95 estações pluviométricas no Tocantins e entorno.

3.2.3 Desagregação de chuvas intensas

Ajustou-se a distribuição de probabilidades de valores extremos máximos Gumbel para modelar a frequência das chuvas intensas diárias no Estado do Tocantins. Esta distribuição vem sendo bastante aplicada a séries de chuvas intensas, com bons resultados, podendo-se destacar os trabalhos desenvolvidos por Silva et al. (2002), Mello et al. (2001), Cardoso et al. (1998), Back (2009), Back et al. (2012), Damé et al. (2006), Damé et al. (2010), Caldeira et al. (2016), justificando a aplicação deste modelo probabilístico no presente estudo. Visando checar a adequabilidade da distribuição Gumbel, foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância.

Na sequência apresenta-se a descrição da distribuição Gumbel de acordo com Mello & Silva (2013). A Função Densidade de Probabilidade (FDP) da distribuição Gumbel é dada por:

$$f(x) = \alpha \cdot e^{[-\alpha \cdot (x-\mu) - e^{-\alpha \cdot (x-\mu)}]} \quad (7)$$

Em que, x é a variável hidrológica em estudo, α é o parâmetro de escala da distribuição e μ é o parâmetro de localização da distribuição. O cálculo dos parâmetros está apresentado na sequência:

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (8)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,45 \cdot s \quad (9)$$

Em que \bar{x} e s correspondem à média e ao desvio padrão da série histórica, respectivamente.

A integração da FDP fornece a função cumulativa de probabilidade (FCP), que na forma de excedência ($P(X \geq x)$), é dada por:

$$P(X \geq x) = 1 - \exp(-\exp[-\alpha \cdot (x - \mu)]) \quad (10)$$

A estimativa da variável hidrológica associada a uma dada recorrência (X_{TR}) é dada por:

$$x_{TR} = \frac{-LN[-LN(1-\frac{1}{TR})]}{\alpha} + \mu \quad (11)$$

Em que, TR é o tempo de retorno, em anos.

Foram aplicadas as seguintes constantes de desagregação para o Estado do Tocantins: $h_{10\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0,46$, $h_{20\text{min}}/h_{30\text{min}} = 0,76$, $h_{30\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,68$, $h_{40\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,83$, $h_{50\text{min}}/h_{1\text{h}} = 0,92$, $h_{1\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,61$, $h_{2\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,72$, $h_{3\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,78$, $h_{4\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,82$, $h_{6\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,86$, $h_{12\text{h}}/h_{24\text{h}} = 0,93$. Em razão do banco de dados do presente estudo não dispor das séries de precipitação máxima diária anual (h_{dia}) para as 10 localidades trabalhadas, não foi possível a obtenção da relação $h_{24\text{h}}/h_{\text{dia}}$. Entretanto, isto não se

caracteriza como uma limitação, uma vez que de acordo com CETESB (1980) a relação h_{24h}/h_{dia} apresenta valor praticamente constante de 1,14, sendo este adotado para esta relação. Maiores detalhamentos sobre o procedimento metodológico para obtenção das constantes de desagregação estão apresentados no Capítulo 1.

3.2.4 Análise Geoestatística

Foram analisadas 96 chuvas intensas para o Estado do Tocantins, sendo 12 durações (10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 min) e 8 tempos de retorno (5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos).

Como procedimento inicial, foi realizada a análise exploratória dos dados, a partir de gráficos de tendência e histogramas de distribuição de frequências para todos os eventos analisados. O primeiro com o objetivo de verificar a existência de tendência no conjunto de dados, e o segundo, se os dados apresentam normalidade. Tais constatações prévias são essenciais para se averiguar a aplicabilidade das técnicas geoestatísticas (ÁVILA et al., 2009; ALVES et al., 2016).

Uma etapa essencial da análise geoestatística consiste no ajuste do modelo de semivariograma teórico, obtendo-se valores para os parâmetros que estruturam tais modelos (efeito pepita, contribuição e alcance). Neste estudo, foram avaliados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, tendo sido aplicado o método de ajuste dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP). Nas Equações 12, 13 e 14 estão apresentados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, respectivamente.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \left(\frac{h}{a}\right) - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right], \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; h \geq a \quad (12)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-3 \cdot h}{a}\right) \right], \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; h > a \quad (13)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left\{ 1 - \exp\left[-3 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2\right] \right\}, \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; h > a \quad (14)$$

Sendo, $\gamma(h)$ o valor de semivariância, C_1 é a contribuição do semivariograma (diferença entre o patamar e o efeito pepita), a é o alcance, C_0 é o efeito pepita e h é a distância entre os pares de pontos.

Com o intuito de analisar a estrutura de dependência espacial dos modelos de semivariograma ajustados foi calculado o grau de dependência espacial (GD), sendo obtido conforme Cambardella et al. (1994) por:

$$GD = \left(\frac{c_1}{c_0 + c_1} \right) \cdot 100 \quad (15)$$

Considerando o GD, pode-se adotar a seguinte classificação: $GD \leq 25\%$ (fraco), entre 25 e 75% (moderado) e $> 75\%$ (forte) (CAMBARDELLA et al., 1994).

Visando verificar o modelo de semivariograma que se sobressaiu foi realizada a validação cruzada. Foi quantificado o Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA), possibilitando a identificação do modelo que produziu o menor erro de estimativa, e a ser utilizado para o mapeamento de cada evento em análise. Procedimento análogo foi adotado em diversos estudos de mesma natureza, com destaque para o trabalho desenvolvido por Mello et al. (2005). O EMPA, em %, foi calculado utilizando a seguinte expressão apresentada na Equação 16:

$$EMPA = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| \cdot 100 \quad (16)$$

Em que, n é o número de postos pluviométricos, Obs_i é a precipitação observada para o posto i e Est_i é a precipitação estimada por krigagem para a posição do posto i .

O viés estatístico ou tendência (BIAS) foi calculado pela média da diferença entre a série simulada e a observada, indicando o erro sistemático do interpolador (subestimativa ou superestimativa). O valor do BIAS corresponde ao percentual de viés das variáveis estimadas com relação às variáveis observadas. O Bias foi obtido pela Equação 17, de acordo com Liew et al. (2007):

$$BIAS = \frac{\sum_{k=1, n}^n (Q_{kobs} - Q_{ksim})(100)}{\sum_{k=1, n}^n (Q_{kobs})} \quad (17)$$

Onde, Q_{ksims} é o valor simulado e Q_{kobs} , é o valor observado da variável estudada e o n é o número de postos pluviométricos.

Os valores foram classificados da seguinte maneira: $|BIAS| < 10\%$, considerado muito bom; $10\% < |BIAS| < 15\%$, bom; $15\% < |BIAS| < 25\%$, satisfatório e $|BIAS| > 25\%$, o modelo é considerado inadequado (LIEW et al., 2007).

Através da aplicação da Krigagem ordinária, foram gerados mapas de precipitação máxima diária anual e de chuvas intensas com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos e associadas aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, utilizando o software Arqgis 10.2. Foi adotada a Projeção Cônica de Albers para a elaboração dos mapas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do teste de adequação estatística de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%, verificou-se que o ajuste da distribuição de probabilidades Gumbel para as 95 séries de precipitação máxima diária anual foi adequado, o que vem a confirmar o emprego desta distribuição no estudo das chuvas intensas, em consonância com os resultados obtidos por Silva et al. (2003), Souza et al. (2012) e Mello e Viola (2013). Silva et al. (2003), ao analisarem séries de precipitação máxima de diferentes durações para 10 localidades do Estado do Tocantins, também verificaram que o modelo teórico de distribuição de probabilidade Gumbel propiciou ajuste adequado. Apresentam-se na Tabela 3 os parâmetros dos modelos de semivariograma (efeito pepita, contribuição e alcance), o viés (ou tendência) estatístico, erro médio percentual absoluto e o grau de dependência espacial obtido pelos modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, para a precipitação máxima diária anual no Estado do Tocantins. Na Figura 17 apresenta-se os modelos teóricos exponencial, esférico e gaussiano, ajustados ao semivariograma experimental.

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano (efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), alcance (A)), grau de dependência espacial (GD), tendência e erro médio percentual absoluto (EMPA) obtido por validação cruzada para a precipitação máxima diária anual no Tocantins

Modelo	GD (%)	C_0	C_1	A (Km)	Tendência (%)	EMPA (%)
Esférico*	100,00	0,00	37,83	78,64	0,26	5,59
Exponencial	100,00	0,00	40,14	99,01	0,34	5,63
Gaussiano	87,98	4,58	33,54	66,28	0,24	5,62

* Modelo que apresentou melhor ajuste.

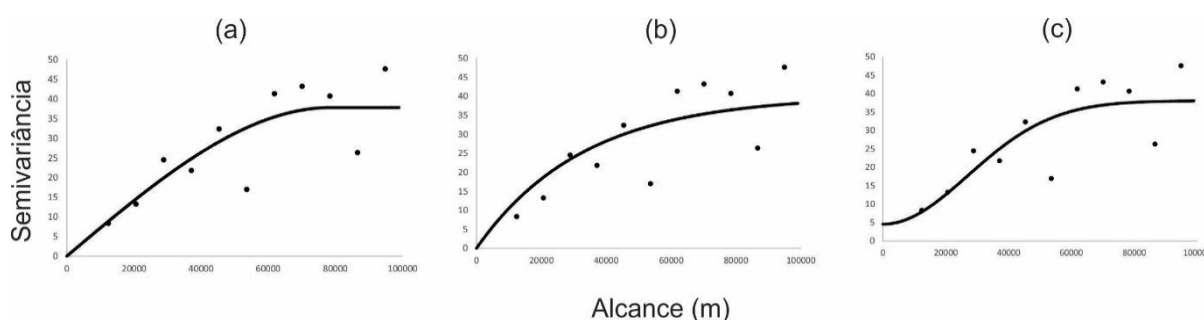


Figura 7 - Semivariogramas teóricos ajustados para o mapeamento da precipitação máxima diária anual no Tocantins. (a), Esférico, (b) Exponencial e (c) Gaussiano

Os valores de EMPA revelaram menores erros produzidos pelo modelo esférico (5,59%), seguido pelos modelos gaussiano e exponencial, com 5,62% e 5,63%, respectivamente. A menor tendência foi apresentada pelo modelo gaussiano (0,24%), seguida pelo modelo esférico (0,26%) e exponencial (0,34%). Souza (2016) obteve melhor desempenho do modelo esférico em estudos sobre regionalização climática do Tocantins. Mello et al. (2003), comparando interpoladores Krigagem e Inverso do Quadrado da Distância, também observaram bom ajuste do modelo esférico.

Em estudos sobre a precipitação média anual de 1.027 postos pluviométricos do Estado de São Paulo, Carvalho e Assad (2005), ajustaram o modelo esférico e utilizaram a krigagem ordinária para estimar os valores em pontos não amostrados, observando que o semivariograma esférico foi o que melhor se ajustou aos dados. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, possibilitando constatar que o interpolador geoestatístico é uma ferramenta apropriada para análise de dados climáticos.

Os resultados demonstram GD equivalente a 100% para o modelo esférico, que se sobressaiu em relação ao modelo exponencial e gaussiano, demonstrando forte grau de dependência espacial (> 75%) para os valores de precipitação máxima diária anual, para os três modelos testados (CAMBARDELLA, 1994). Mello e Silva (2013), afirmam que quando o efeito pepita é aproximadamente igual ao patamar denomina-se efeito pepita puro, o que significa que a amostra não apresenta dependência espacial. Quanto maior seu valor, menor a estrutura de dependência espacial, porém não significa que não haja dependência espacial, sendo necessária, a redução da distância entre as amostras para melhor detectá-la. Neste caso, deve-se considerar que o efeito pepita (C_0) equivale a zero, determinando assim, 100% de dependência espacial.

Andriotti (2003), afirma que o alcance (a) é a distância limite onde às amostras apresentam dependência espacial. Permite separar o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes). Souza (2016) afirma que o patamar (C) é o valor de semivariância correspondente ao alcance (a), representando a variabilidade máxima entre pares de valores. Considera-se que a partir deste ponto não exista mais dependência espacial entre as amostras. A observação dos semivariogramas permite identificar a variação do alcance entre 66 a 99 km, com o alcance do modelo esférico (melhor desempenho) equivalente a 78,64 km.

Observa-se na Figura 8 que as regiões do Bico do Papagaio (extremo norte), noroeste, Ilha do Bananal (que abrange o Parque Nacional do Araguaia e Terra Indígena do Araguaia) e o centro-leste do estado podem ser consideradas críticas com relação à ocorrência da chuva intensa diária. Por outro lado, na região sudeste e em uma pequena faixa no centro-oeste do Tocantins, verificam-se chuvas intensas diárias com menor intensidade.

Outro aspecto relevante é que os valores mapeados corroboram com os estudos de Alves (2016) e Silva Neto et al. (2016). O primeiro, a partir da análise e elaboração do mapa da distribuição espacial da precipitação máxima diária anual da bacia do rio Formoso (sudoeste do Tocantins), encontrou pequena variabilidade espacial desta variável hidrológica, com valores entre 88 e 96 mm. Já o segundo trabalho, para região Central do estado, no município de Guaraí, os autores encontram a precipitação máxima diária anual de 87 mm.

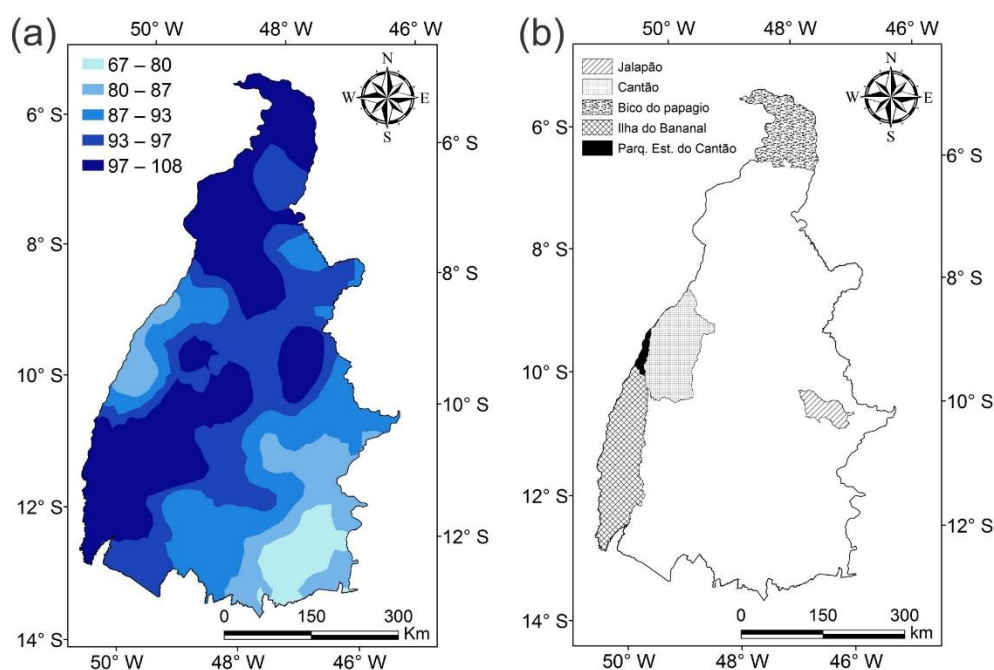


Figura 8 – (a) Precipitação máxima diária anual (mm) para o Estado do Tocantins obtido por krigagem ordinária e (b) regiões de ocorrência extrema das chuvas intensas no Estado

Os resultados da análise variográfica das chuvas intensas obtidas por desagregação da precipitação máxima diária anual associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos estão apresentados nas Figuras 9 a 20. Observa-se que para as 96 situações analisadas, o modelo gaussiano se sobressaiu com os menores valores de EMPA, embora o modelo esférico tenha se sobressaído para a precipitação máxima diária anual.

Considerando o GD, pode-se adotar a seguinte classificação: $GD \leq 25\%$ (fraco), entre 25 e 75% (moderado) e $> 75\%$ (forte) (CAMBARDELLA et al., 1994). Considerando-se apenas o modelo escolhido, observou-se que 75% dos ajustes apresentaram grau de dependência espacial moderado, e 25% apresentaram grau de dependência espacial fraca. A chuva intensa que apresentou maior grau de dependência espacial foi a de 720 minutos associada a um tempo de retorno de 5 anos; o que apresentou menor GD foi a chuva intensa de 1440 min associada ao tempo de retorno de 1000 anos.

Observando os valores do erro médio percentual absoluto (EMPA) calculados a partir da validação cruzada verifica-se que, de maneira geral, para uma mesma duração da chuva intensa, na medida em que se aumenta o tempo de retorno, ocorre o aumento do EMPA. Outro aspecto relevante é que para um mesmo tempo de retorno, os valores de EMPA são iguais, independente da duração da chuva analisada. Quanto mais alto o TR, maior a precipitação, contudo, esta última cresce com um comportamento de duplo exponencial, ou seja, proporcionalmente, o aumento é bem menor do que o aumento de TR. Isto significa valores muito próximos e portanto, uma diferença pequena na variância, não alterando o semivariograma.

A análise do viés estatístico para chuvas intensas, considerando todas situações analisadas, demonstrou valores que variaram entre 0,75% e 2,13%, sendo classificado, de acordo com Liew et al. (2007) como “muito bom” ($|\text{BIAS}| < 10\%$). Nesta análise, constatou-se um aumento pequeno deste coeficiente na medida em que aumenta o tempo de retorno, mas sem variação observada com relação às diferentes durações de chuva.

É importante discutir o alcance do semivariograma, pois segundo Mello e Viola (2013), está associado à existência da dependência espacial e da aplicação dos princípios da autocorrelação espacial. Observam-se valores expressivos para o alcance dos semivariogramas, que variaram de 336,93 a 468,22 km. Constata-se também que ocorre sua redução na medida em que ocorre o aumento do tempo de retorno.

O anexo V apresenta o grau de dependência espacial (GD), efeito pepita (C0), contribuição (C1), alcance (A) e erro médio percentual absoluto (EMPA) para os modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano para os tempos de retorno 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos. Apresenta-se em negrito o modelo escolhido.

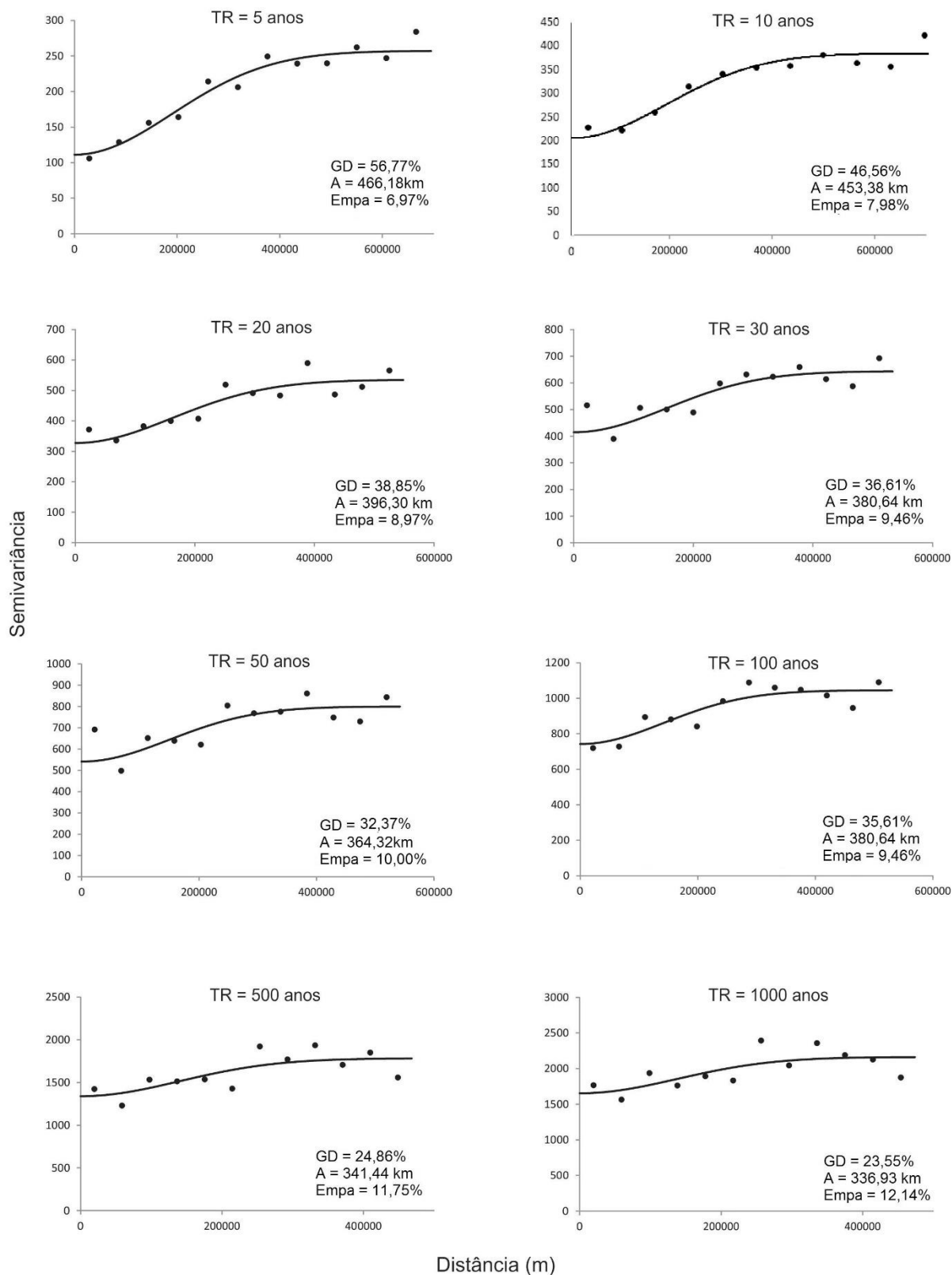


Figura 9 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 10 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

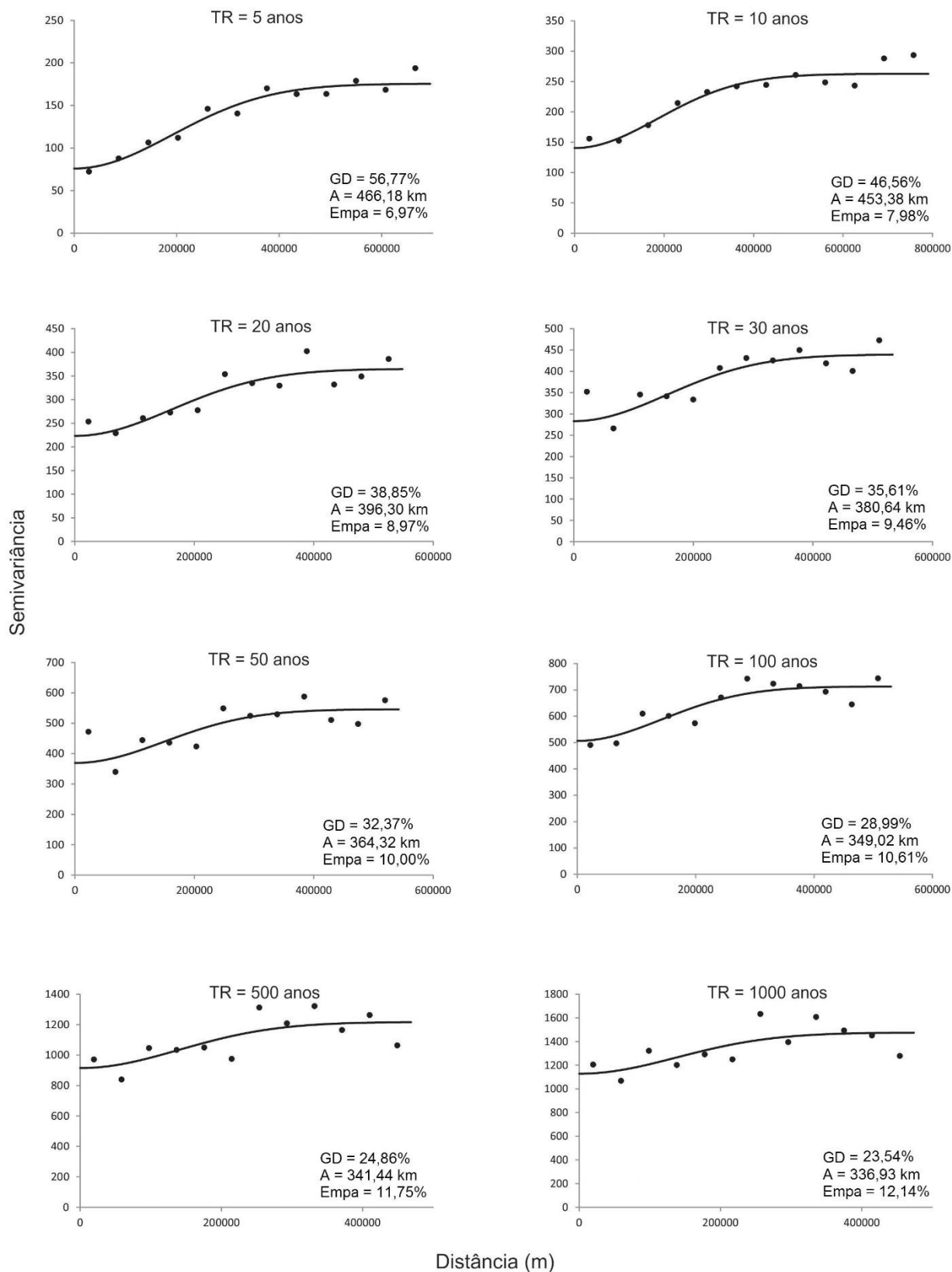


Figura 10 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 20 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

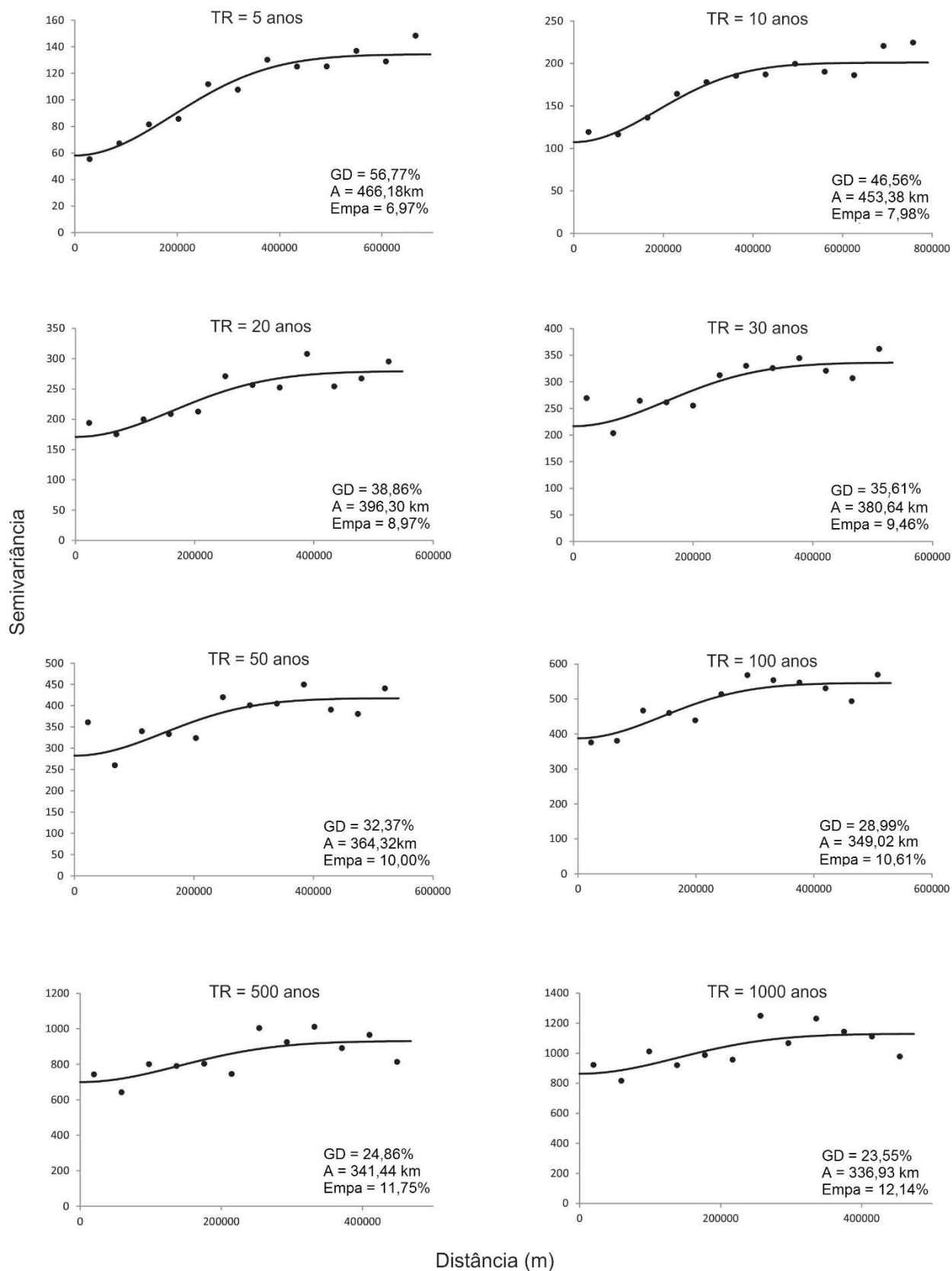


Figura 11 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 30 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

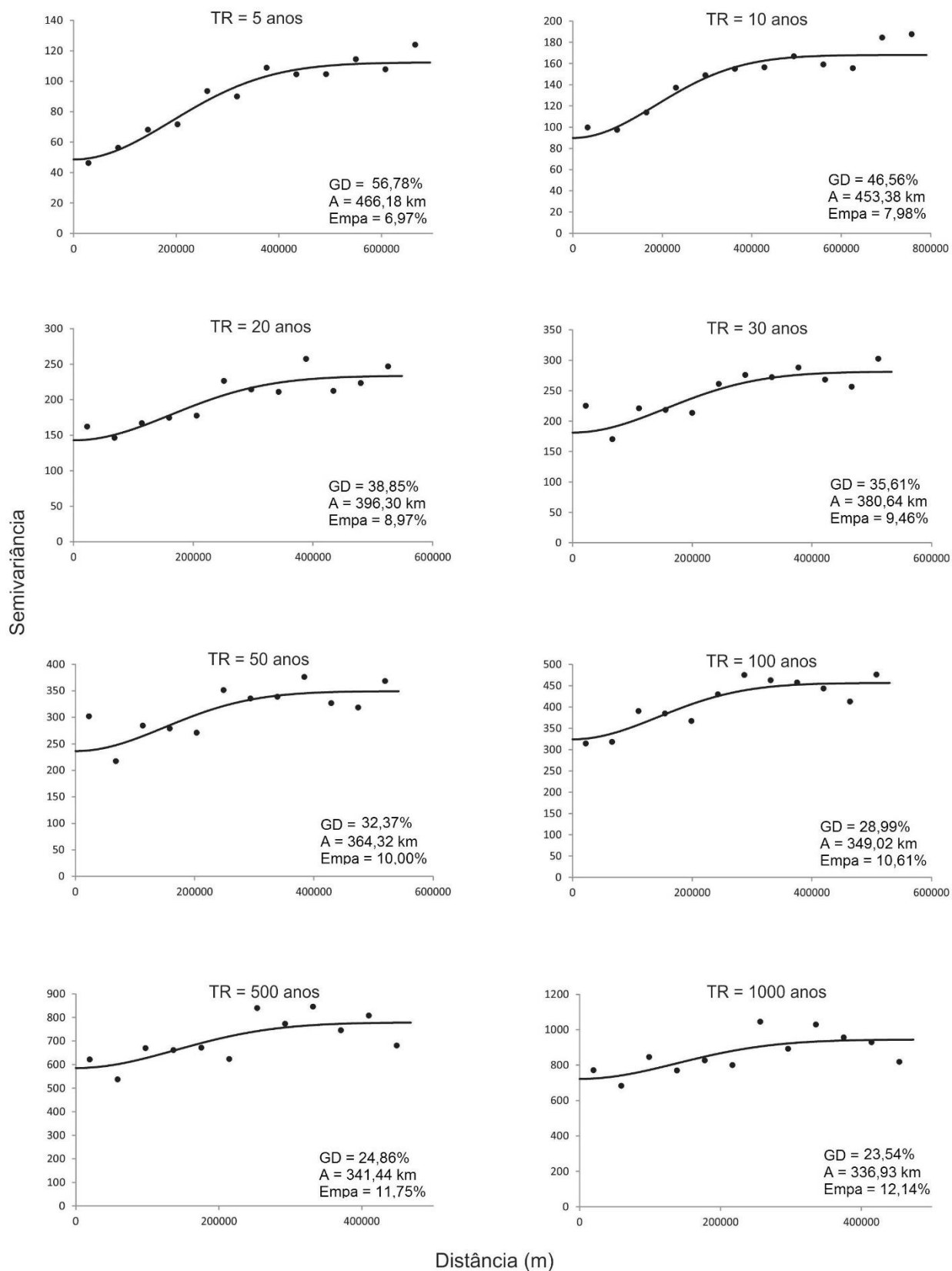


Figura 12 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 40 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

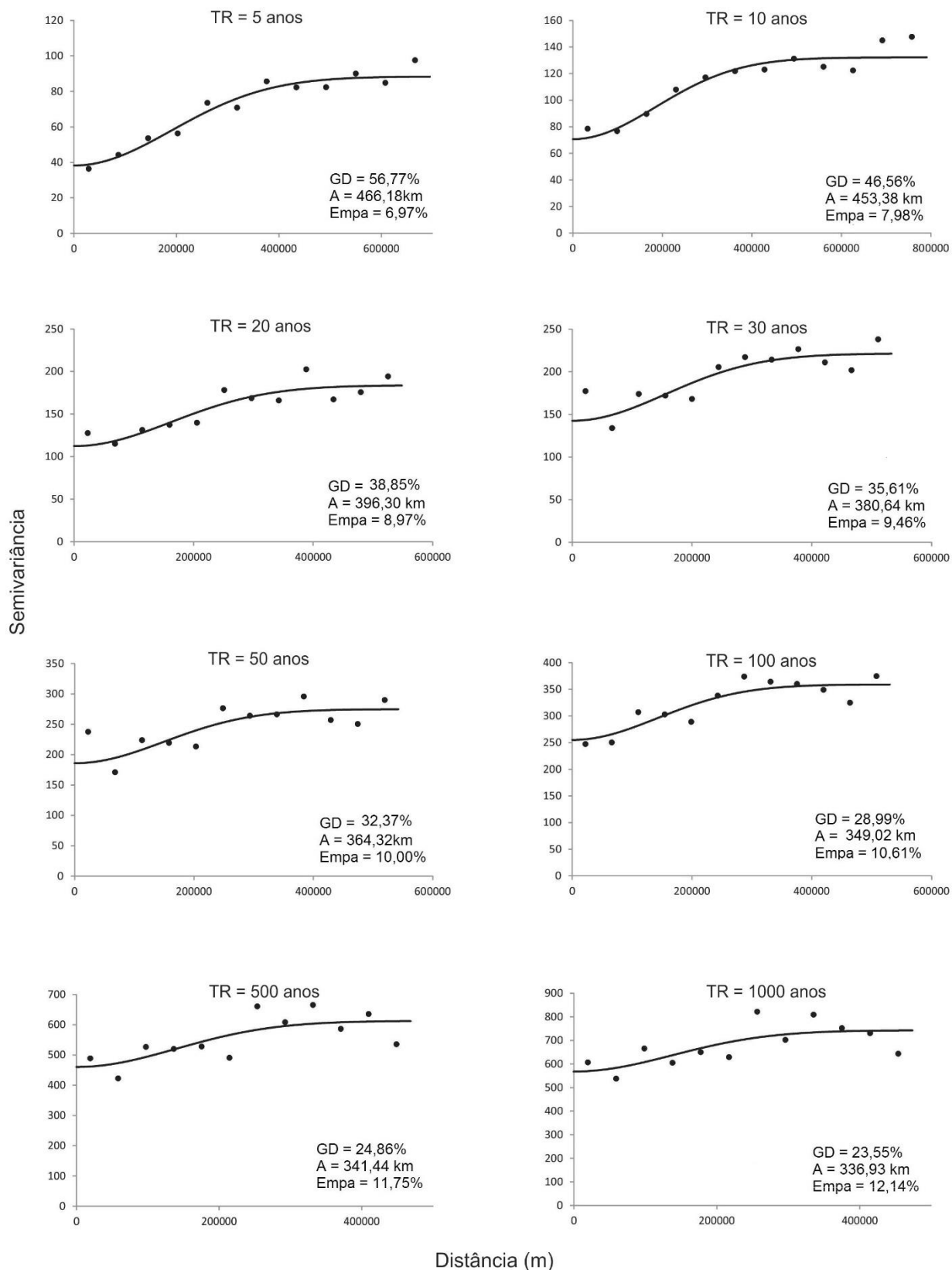


Figura 13 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 50 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

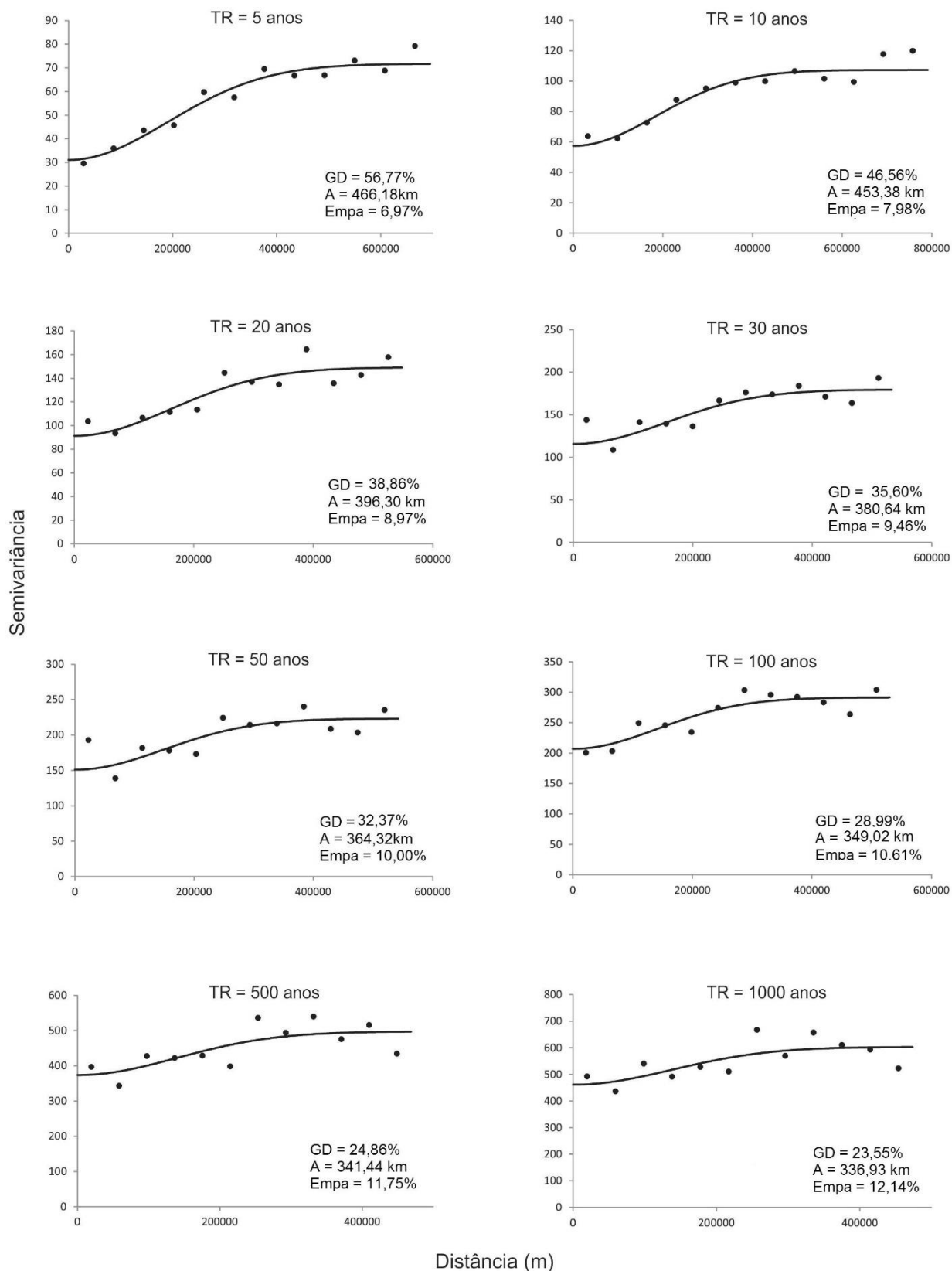


Figura 14 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 60 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

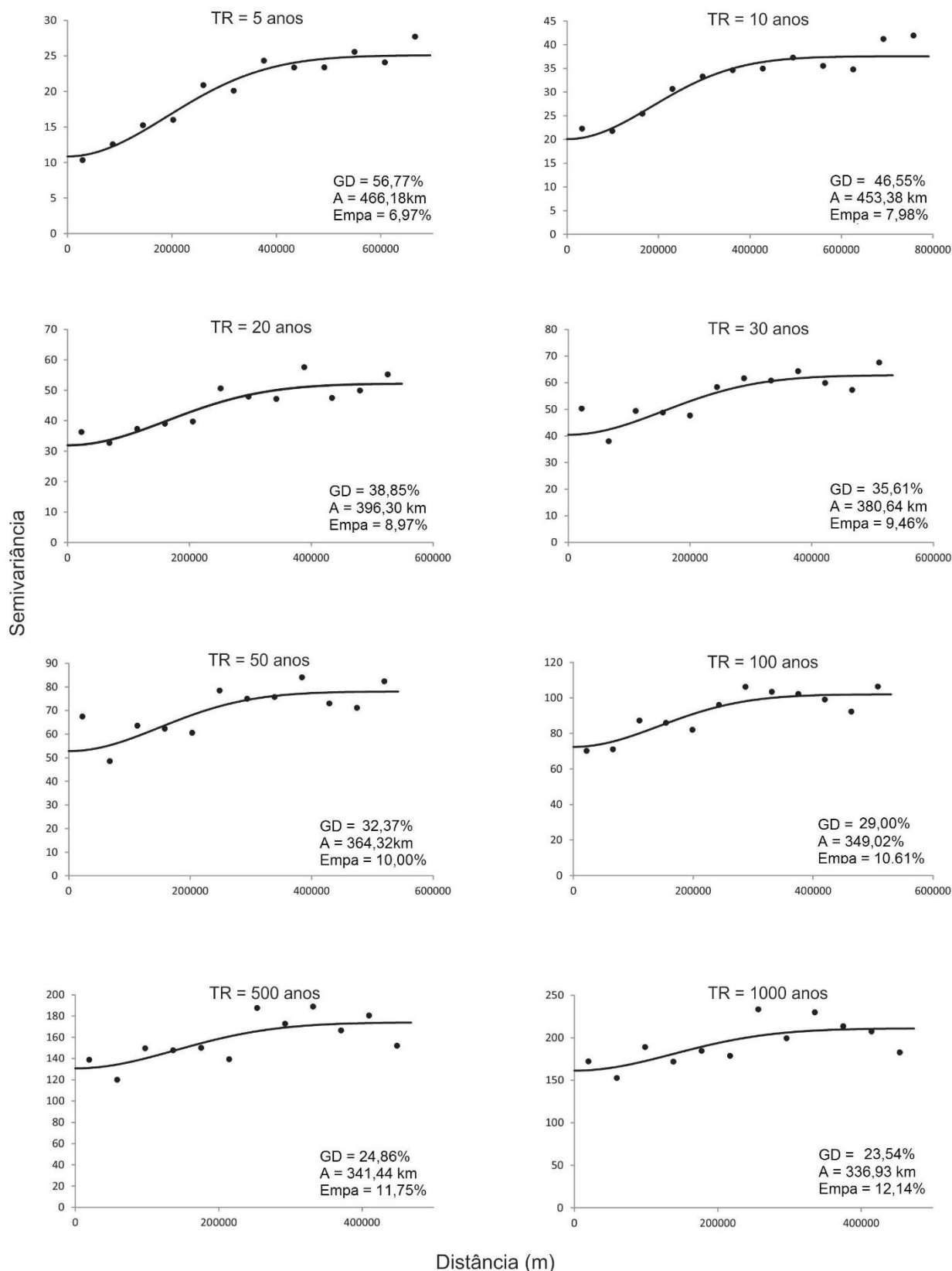


Figura 15 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 120 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

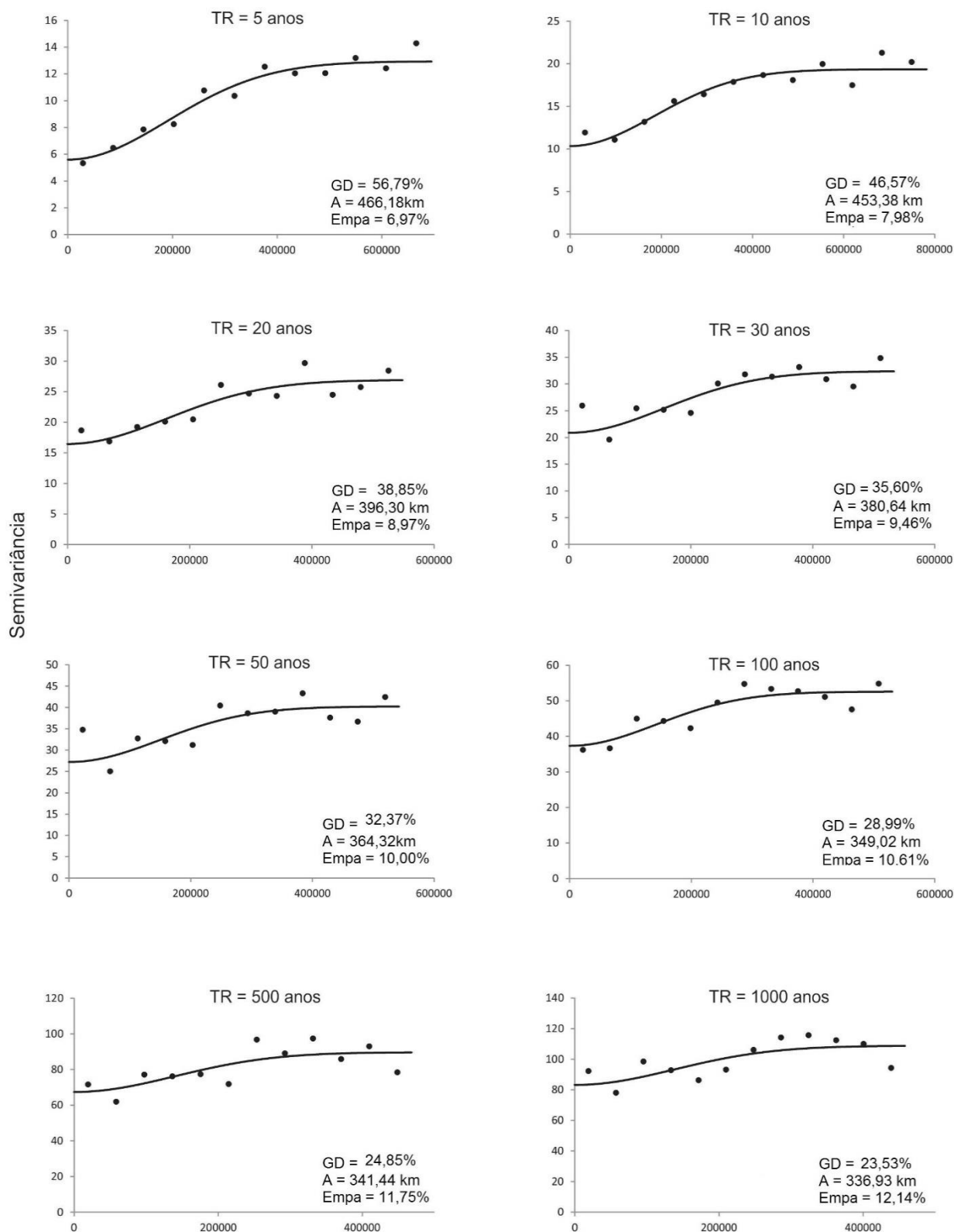


Figura 16 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 180 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

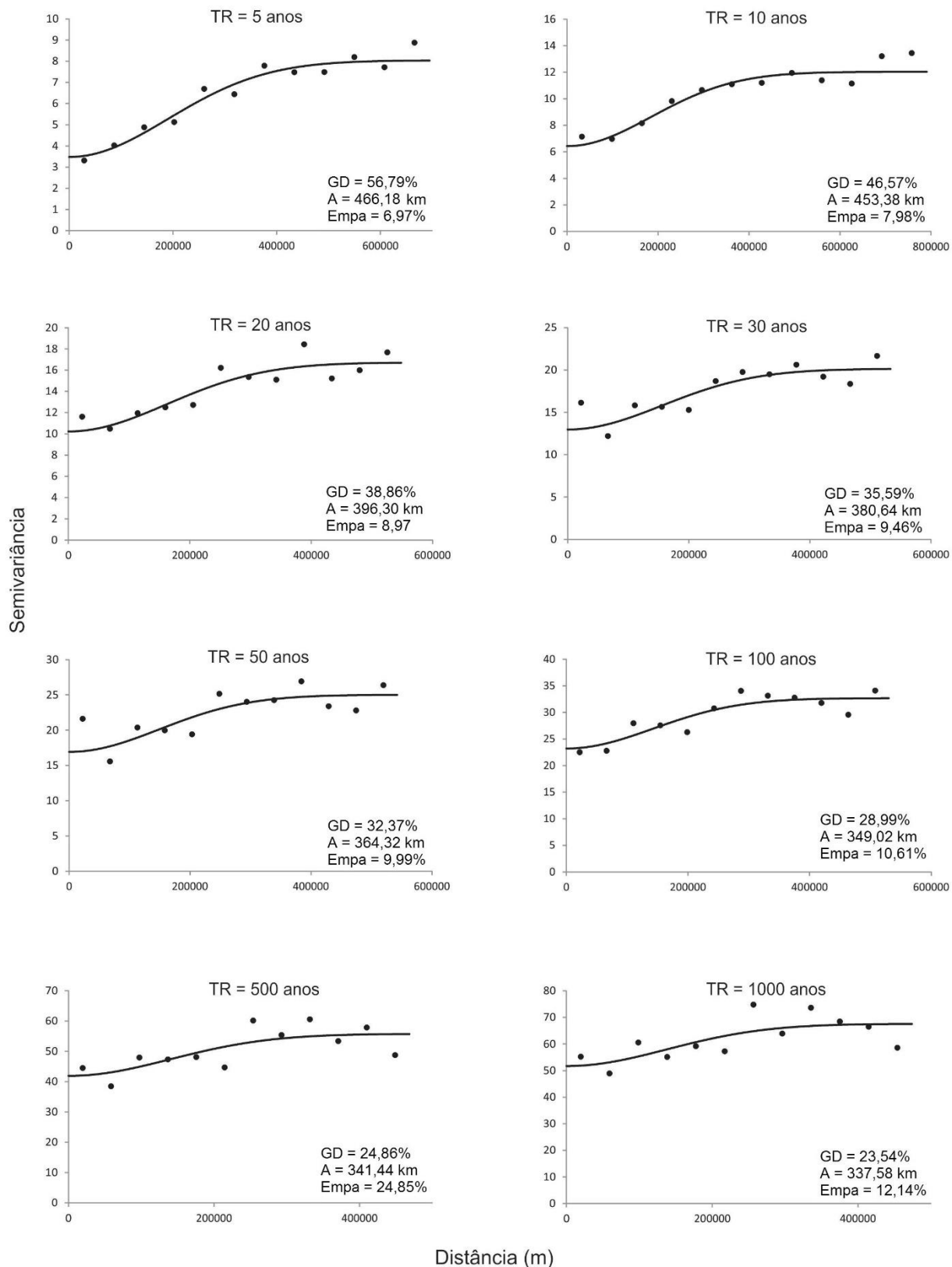


Figura 17 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 240 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

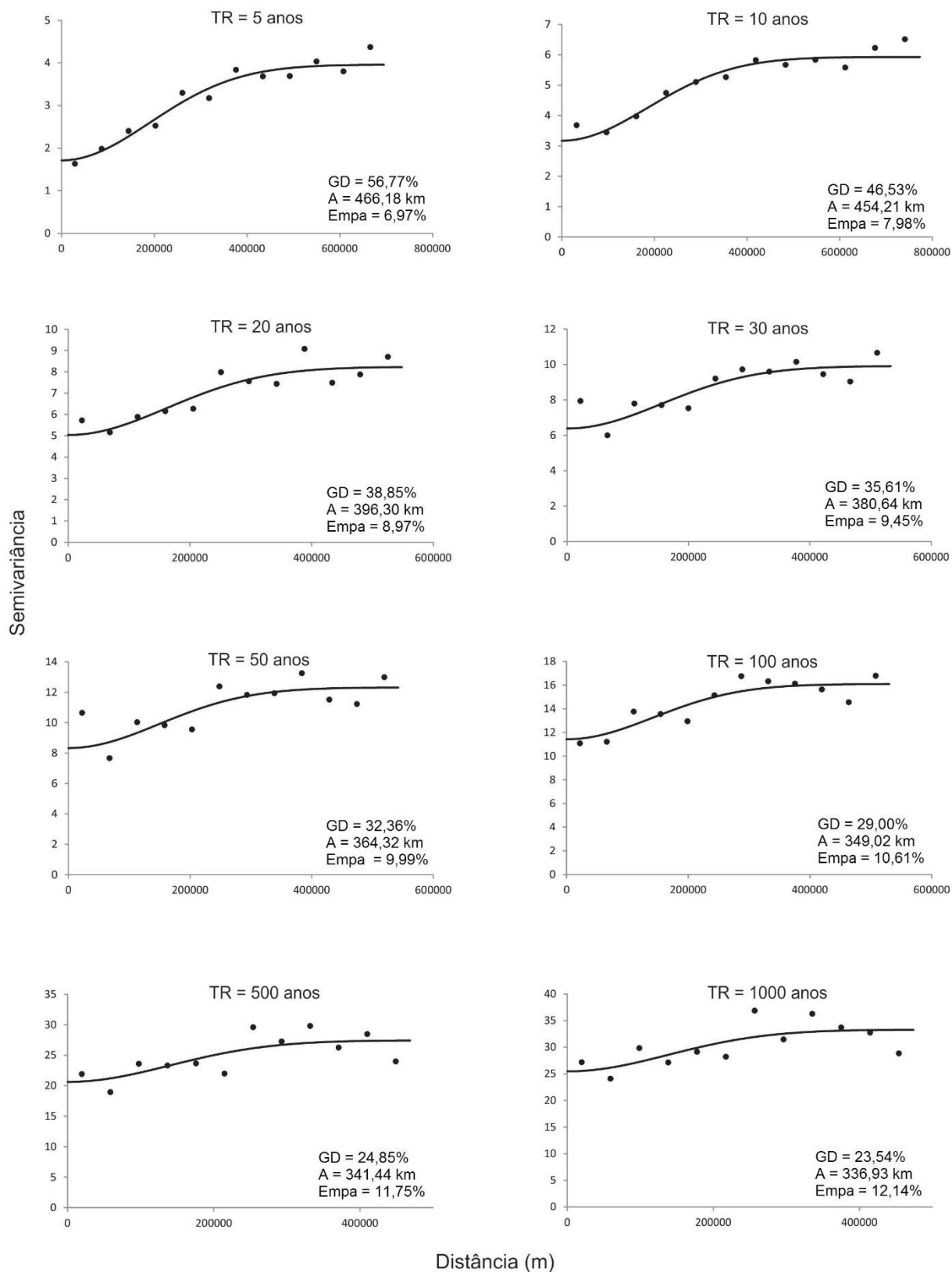


Figura 18 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 360 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

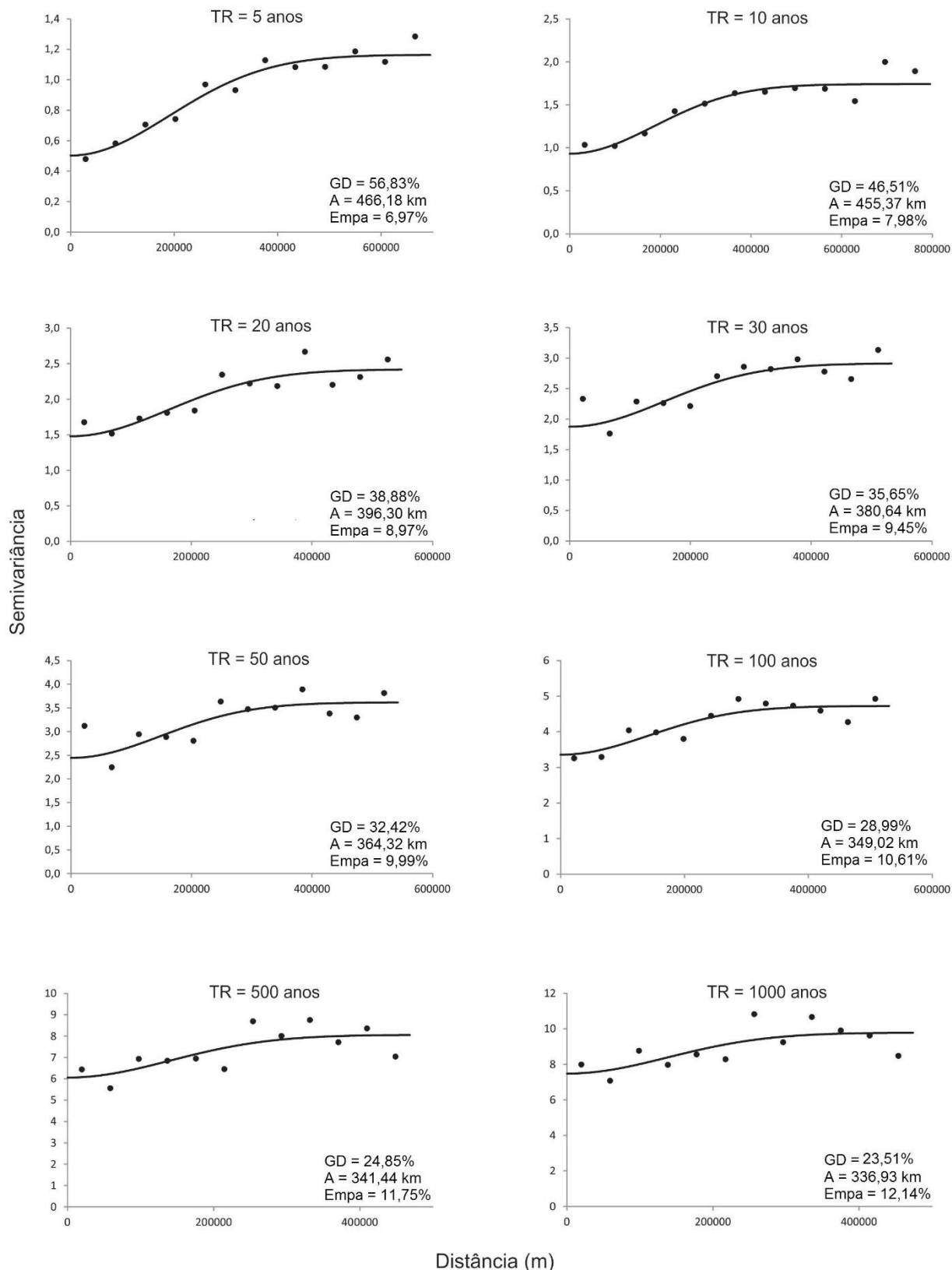


Figura 19 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 720 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

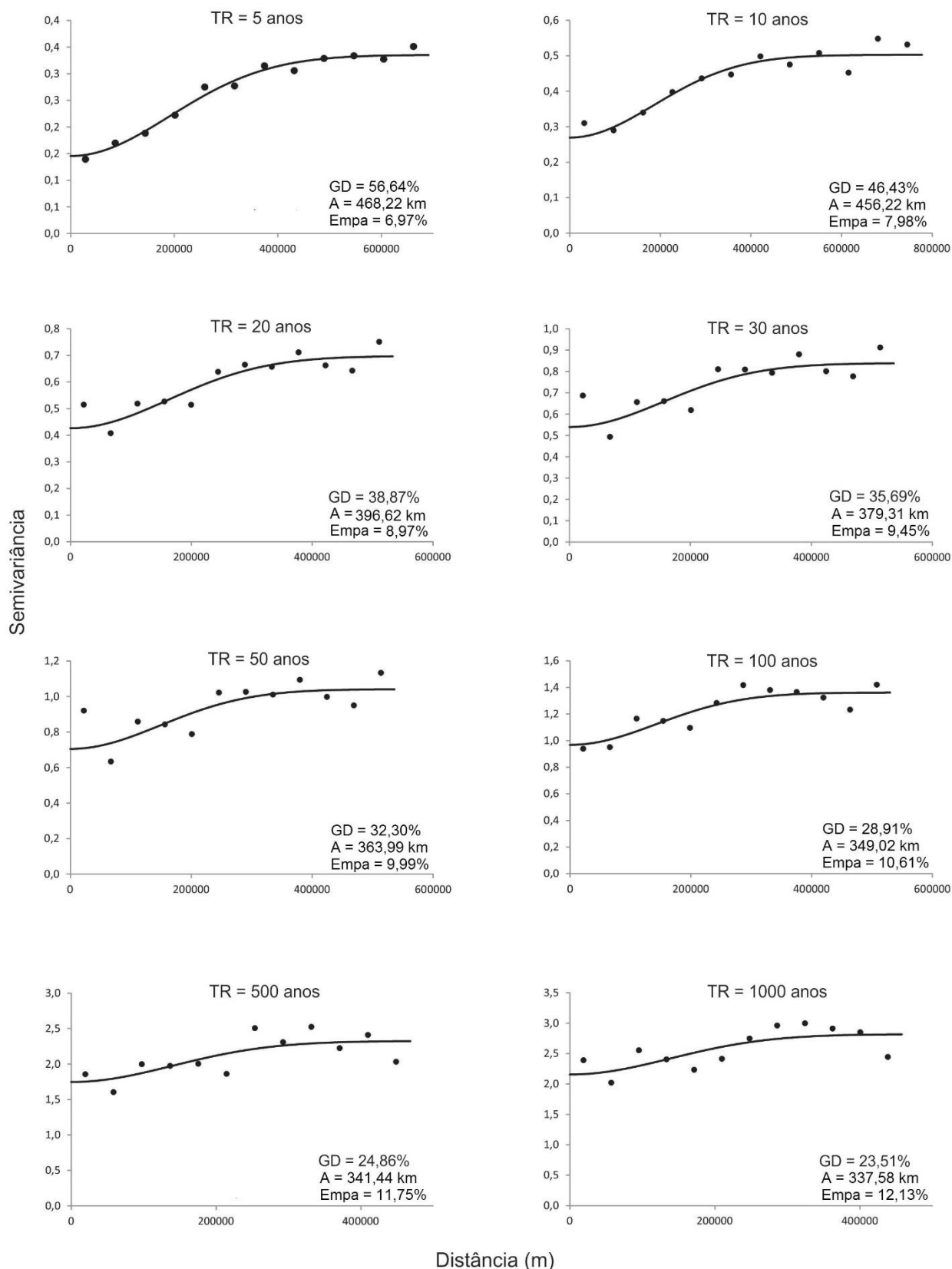


Figura 20 - Semivariogramas ajustados para a chuva intensa de 1440 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, no Estado do Tocantins, com destaque para o grau de dependência espacial (GD), alcance (A) e erro médio percentual absoluto obtido por validação cruzada (EMPA)

As Figuras de 21 a 32 apresentam os mapas das chuvas intensas de diferentes durações obtidos por krigagem ordinária para o estado do Tocantins, associados a diferentes tempos de retorno. Os mapas estão na Projeção Albers Cônica Igual Área (unidade em metros) com Datum Horizontal SAD 69. As intensidades estão apresentadas em mm.h^{-1} .

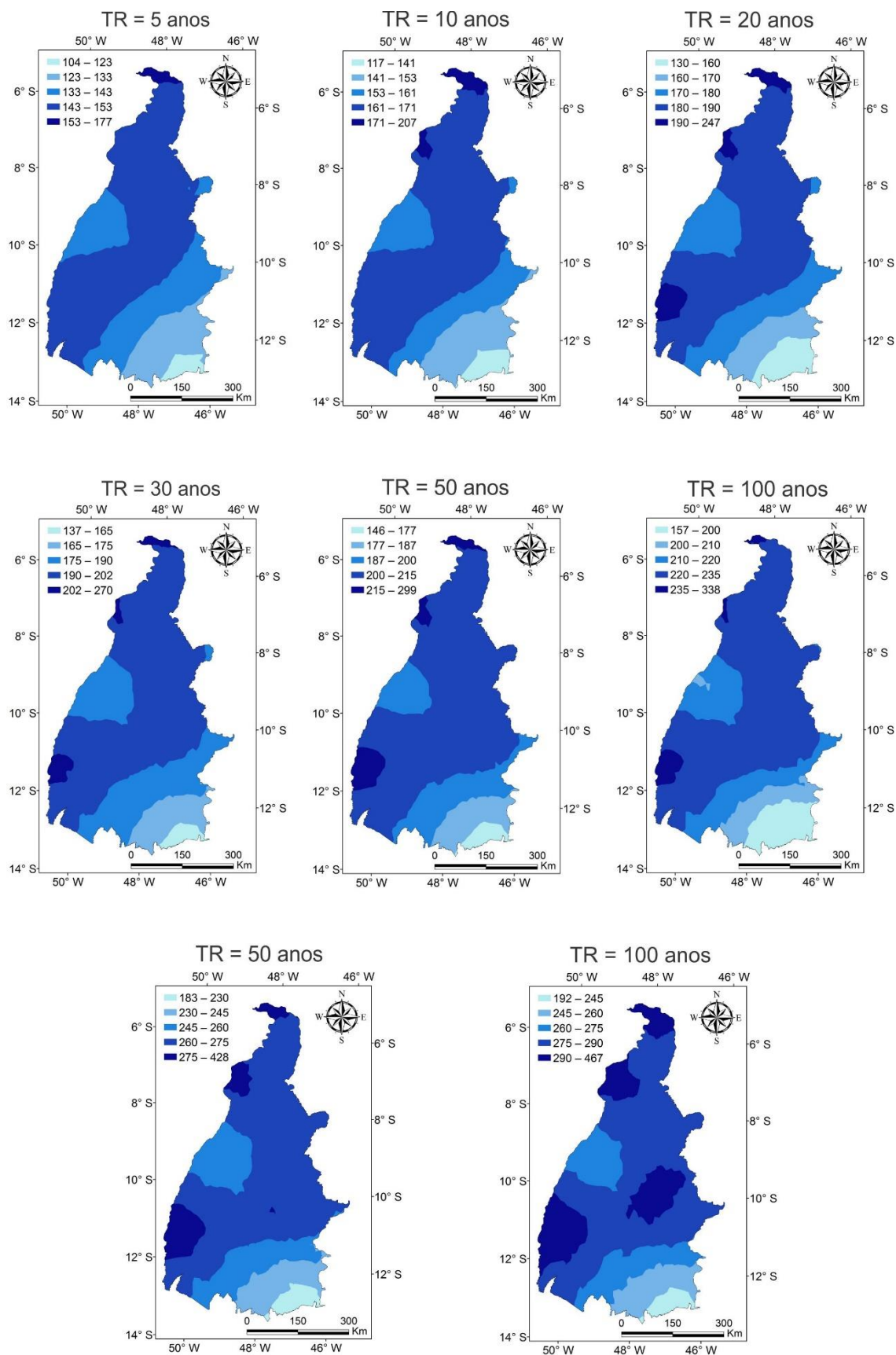


Figura 21 - Mapas de chuva intensa com duração de 10 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

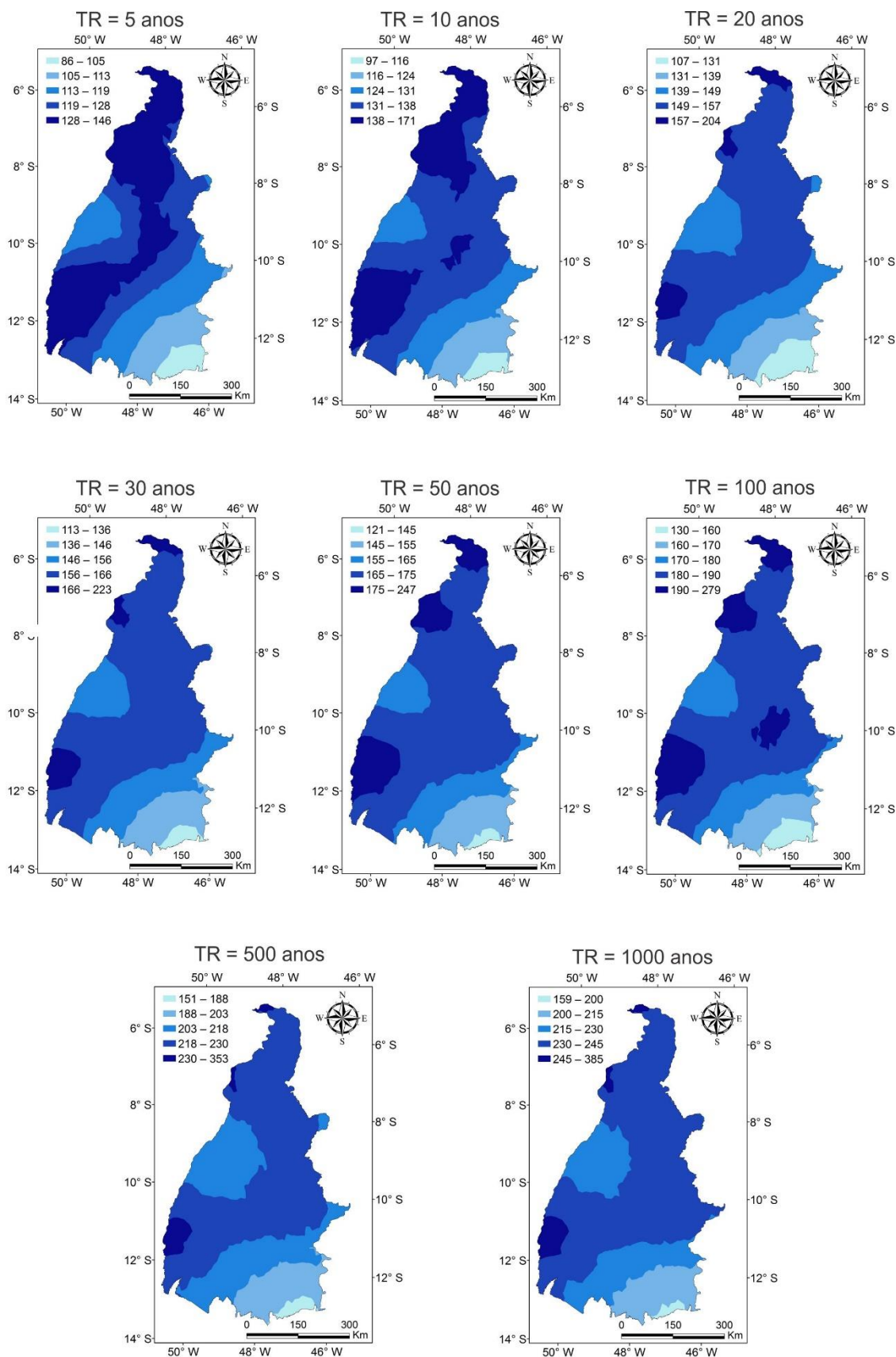


Figura 22 - Mapas de chuva intensa com duração de 20 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h^{-1} , para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

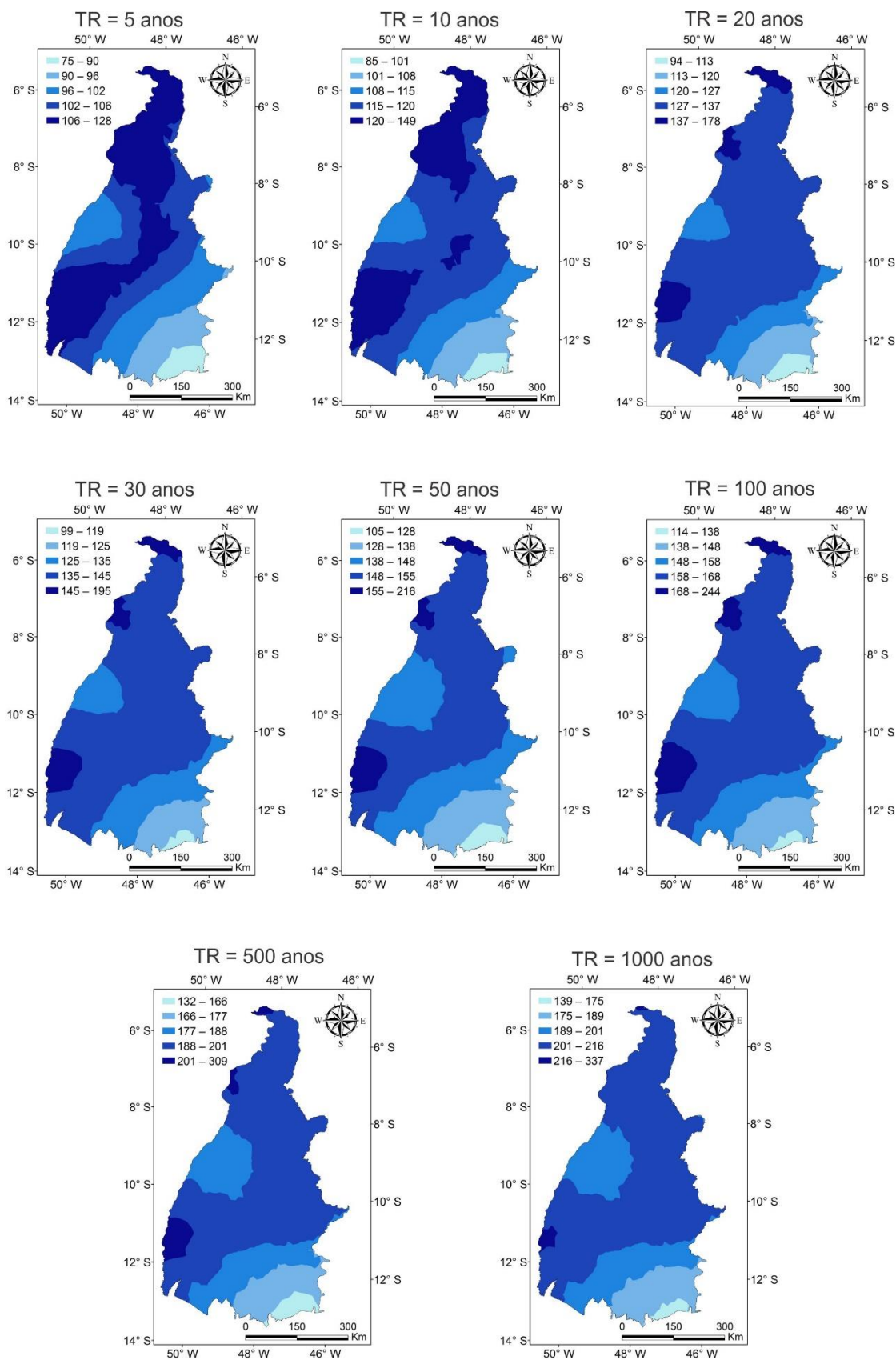


Figura 23 - Mapas de chuva intensa com duração de 30 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

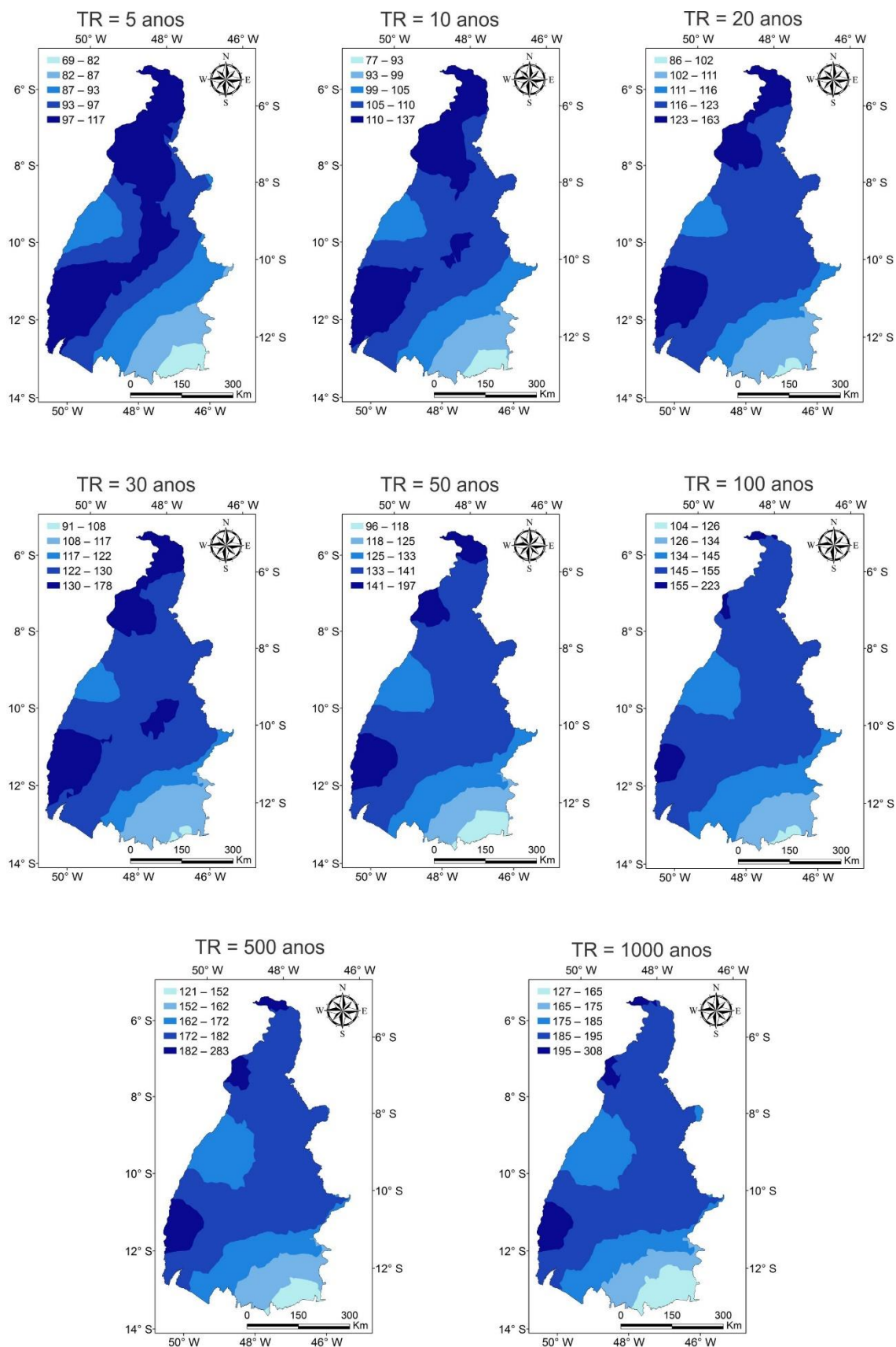


Figura 24 - Mapas de chuva intensa com duração de 40 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

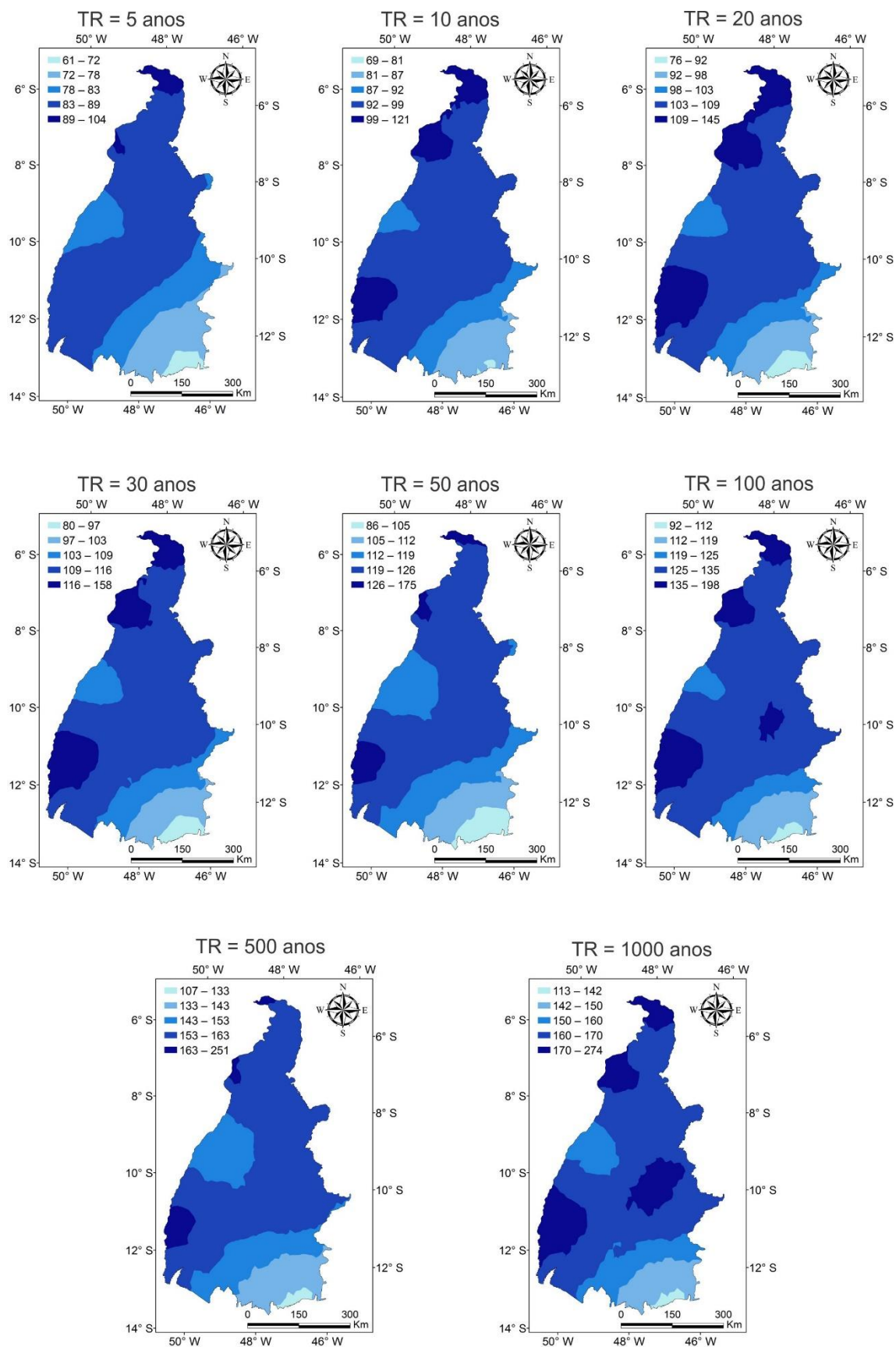


Figura 25 - Mapas de chuva intensa com duração de 50 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

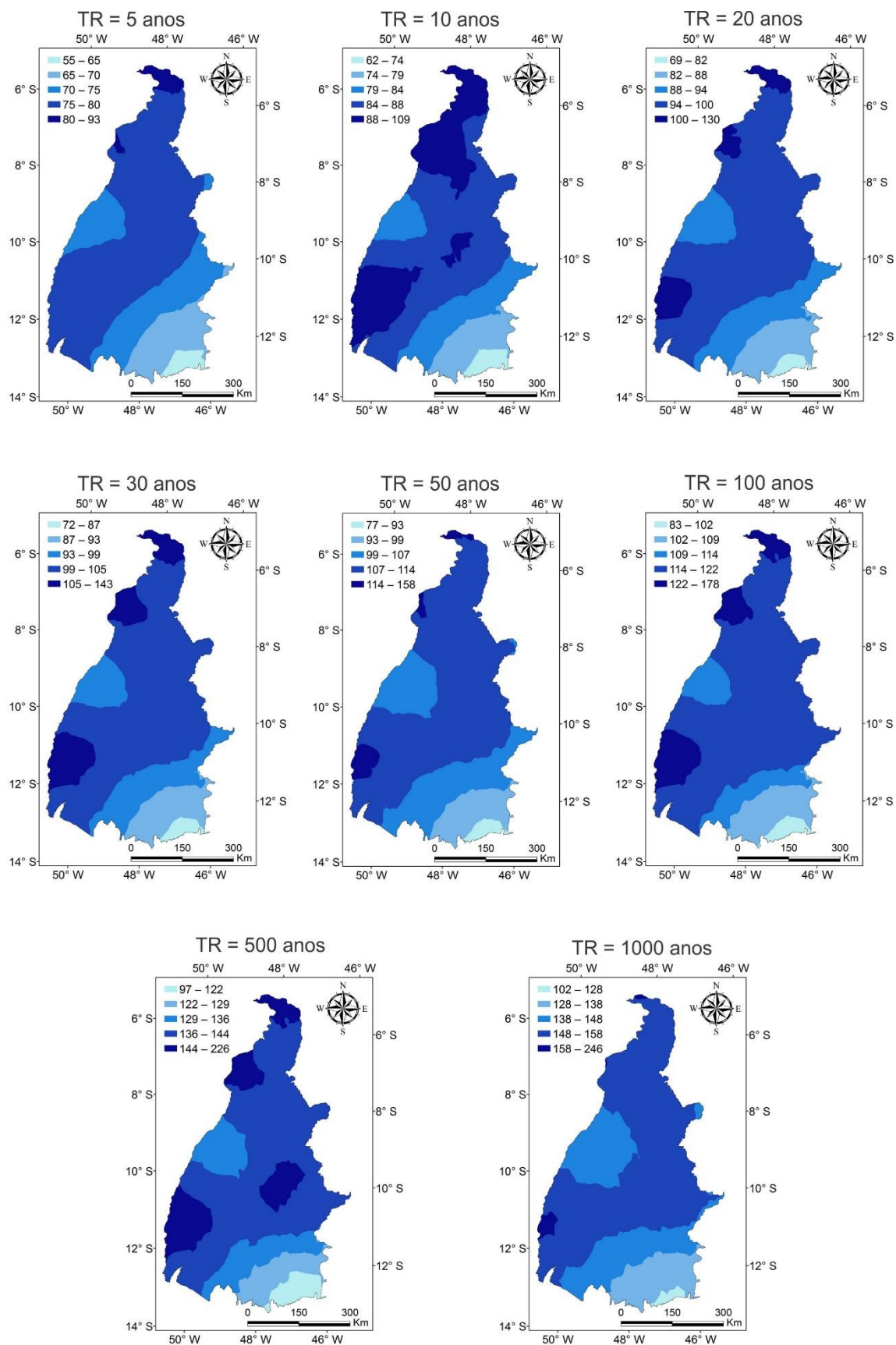


Figura 26 - Mapas de chuva intensa com duração de 60 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

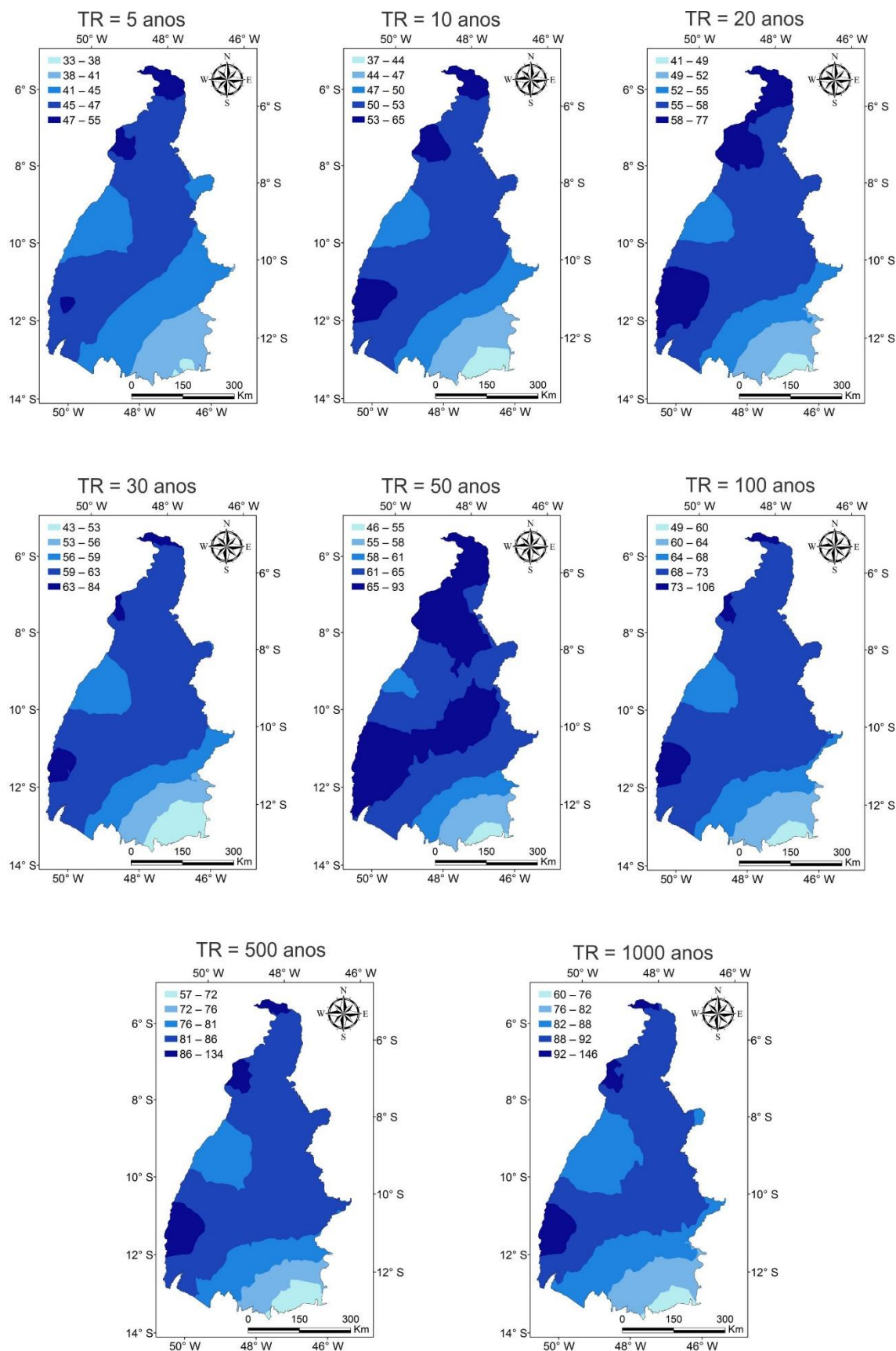


Figura 27 - Mapas de chuva intensa com duração de 120 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

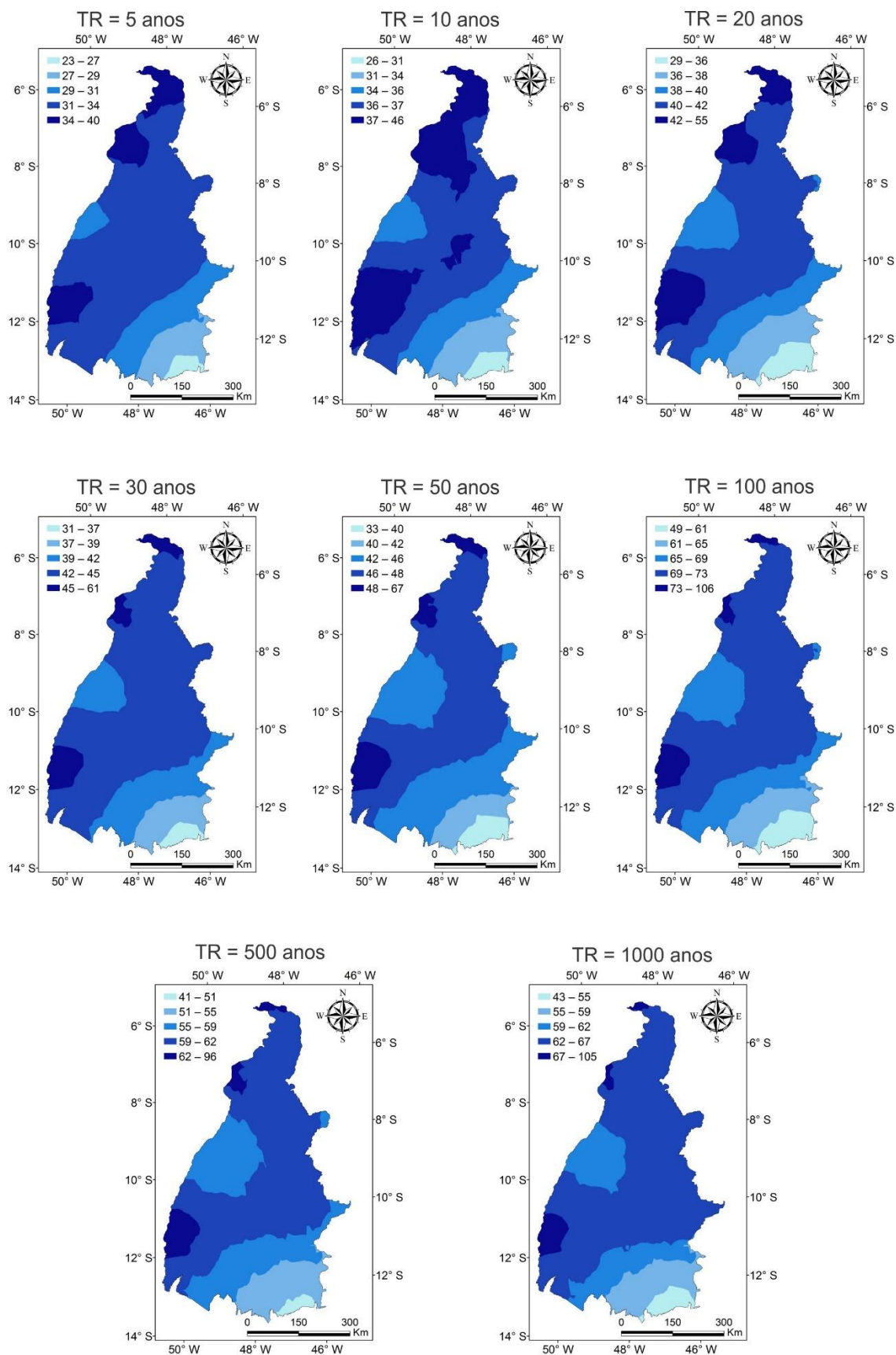


Figura 28 - Mapas de chuva intensa com duração de 180 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

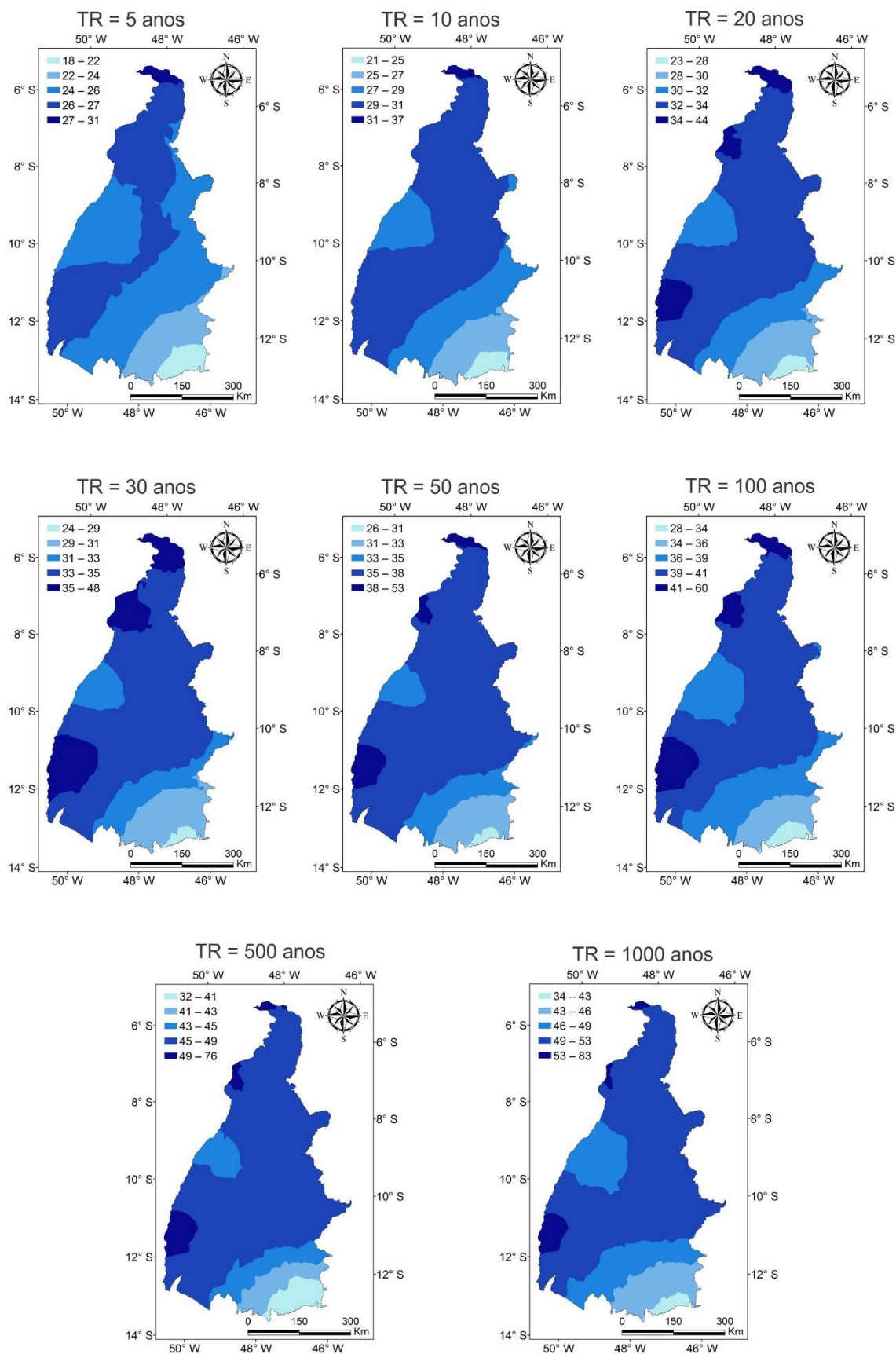


Figura 29 - Mapas de chuva intensa com duração de 240 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

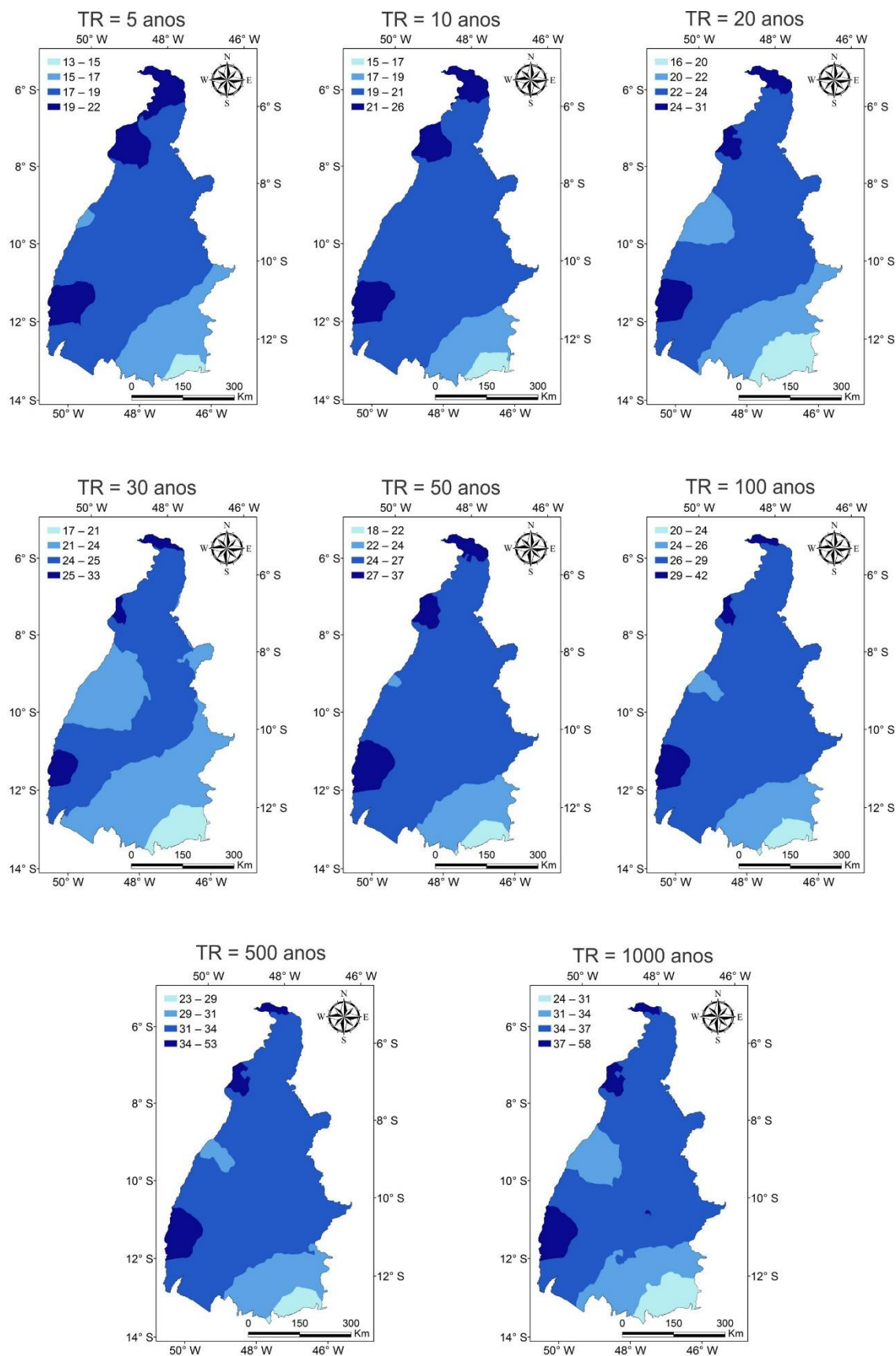


Figura 30 - Mapas de chuva intensa com duração de 360 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

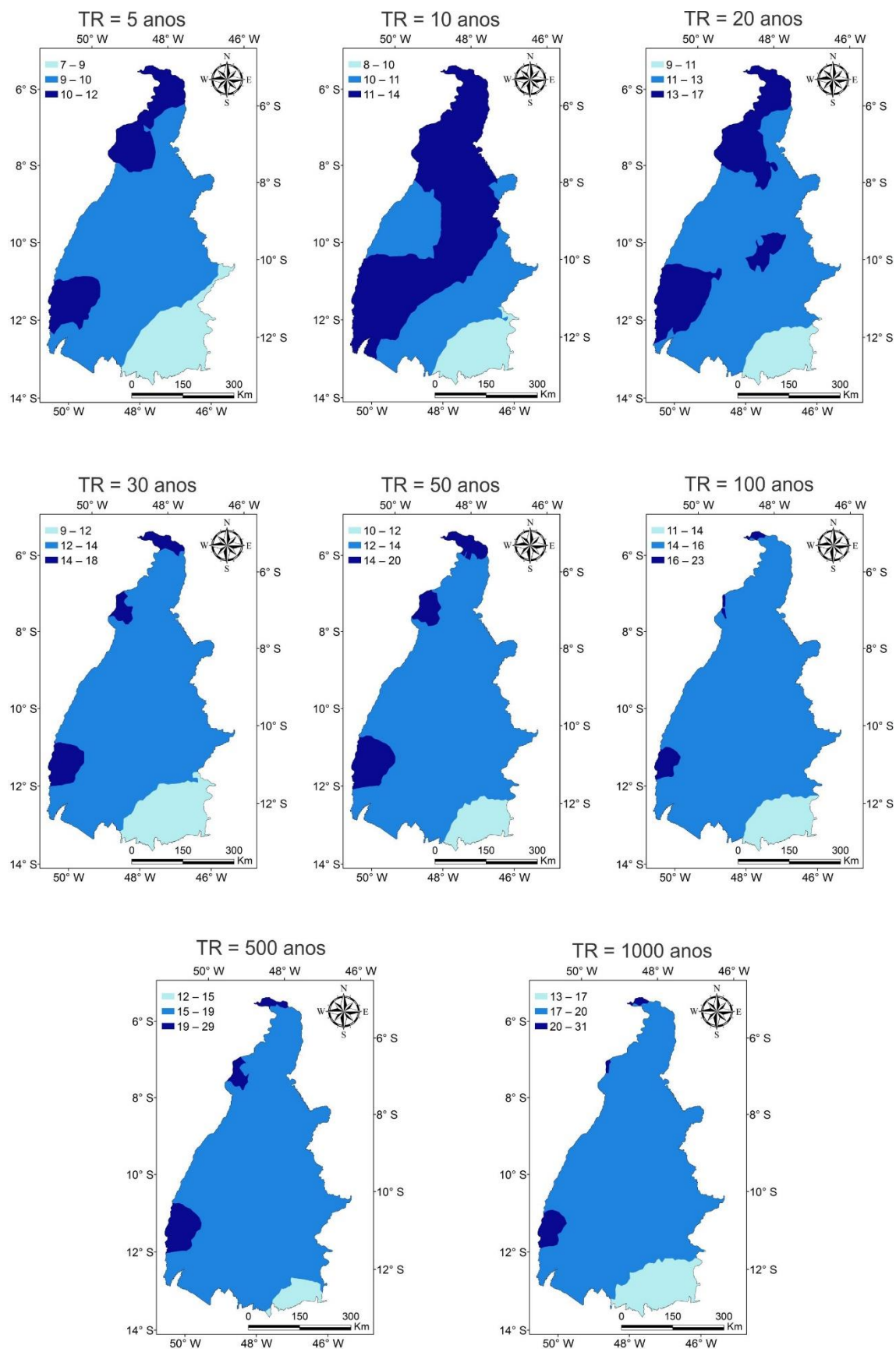


Figura 31 - Mapas de chuva intensa com duração de 720 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h⁻¹, para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

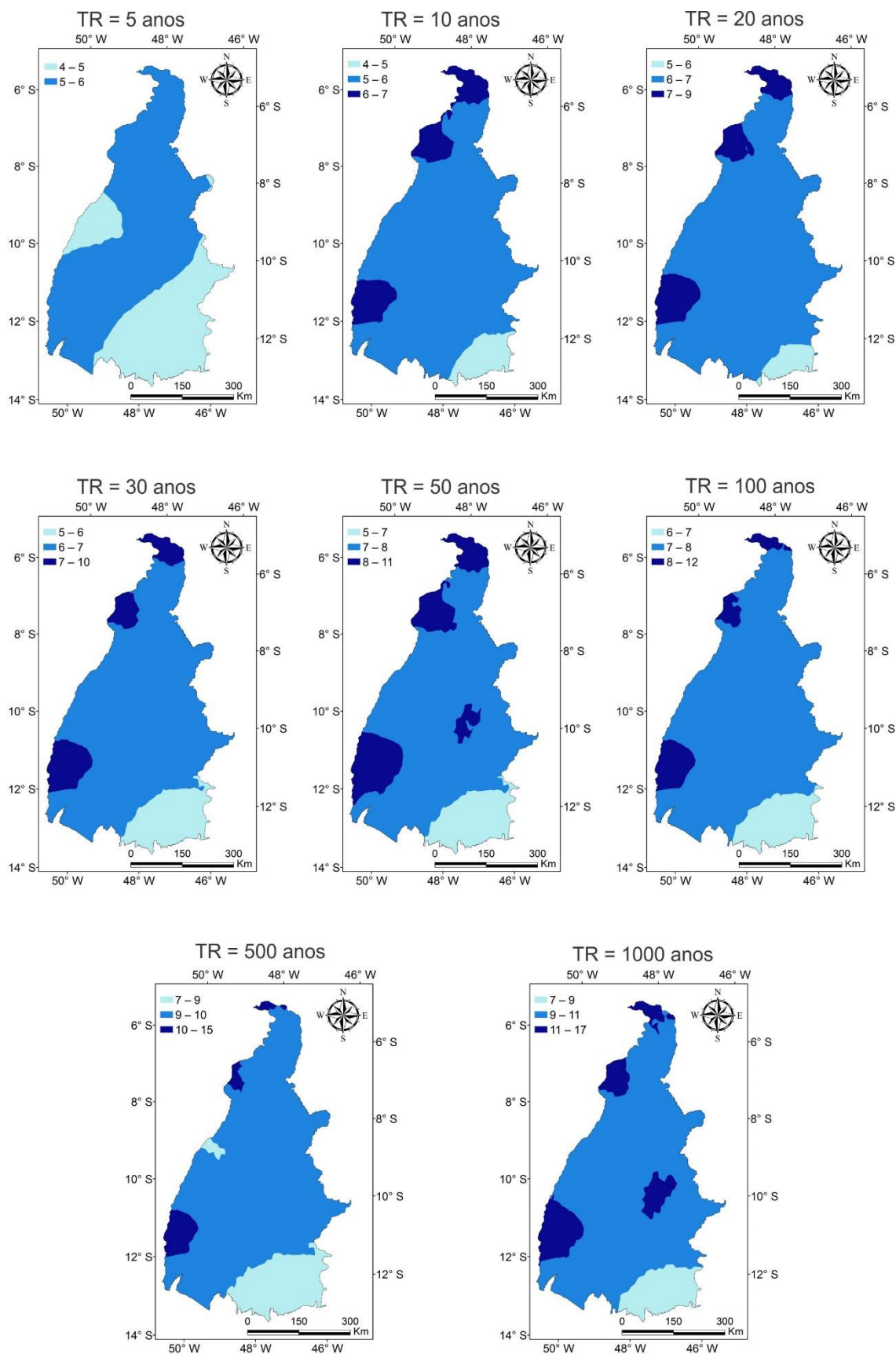


Figura 32 - Mapas de chuva intensa com duração de 1440 minutos associada aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, em mm h^{-1} , para o Estado do Tocantins, obtido por krigagem ordinária

A análise dos mapas permite observar três regiões com chuvas intensas de maior magnitude para curtas durações (10, 50 e 60 minutos, considerando os 8 tempos de retorno), sendo uma ao norte, na região conhecida como Bico do Papagaio, outra em uma pequena porção ao noroeste do Tocantins e outra abrangendo o extremo oeste, de sul até a região central do Estado, na área onde se localizam a Ilha do Bananal. Nestes locais do Estado do Tocantins ocorre o Bioma Amazônico, com atuação marcante da massa de ar Equatorial Continental, quente e úmida, favorecendo a ocorrência de eventos de precipitação convectiva, o que explica a ocorrência de eventos extremos nestes locais. Para durações de 20, 30 e 40 minutos, com tempos de retorno de 5, 10 e 50 anos, além destas, a região central do estado também se destaca com relação à intensidade das chuvas.

A região com os menores valores de chuvas intensas, considerando todas as durações e tempos de retorno concentra-se no sudeste do Tocantins. Para a duração de 10 minutos esta região apresentou valores que variam entre 104 a 123 mm h⁻¹ para TR = 5 anos, 137 a 165 mm h⁻¹ para TR = 30 anos e 192 a 245 mm h⁻¹ para TR = 1000 anos. Para 30 minutos as intensidades na região sudeste variaram entre 75 a 90 mm h⁻¹ para TR = 5 anos, de 99 a 119 mm h⁻¹ para TR = 30 anos e de 139 a 175 mm h⁻¹ para TR = 1000 anos.

A identificação e análise da variabilidade espacial de chuvas intensas no Estado do Tocantins evidencia a aplicação de diferentes valores para cálculos de estruturas e práticas mecânicas para controle do escoamento superficial a serem realizados em diferentes localidades. Outro aspecto relevante concerne à conservação dos solos, sobretudo para a indicação de áreas prioritárias para a aplicação de políticas de incentivo a adoção de práticas conservacionistas, no intuito de evitar os efeitos adversos decorrentes da erosão hídrica.

3.4 CONCLUSÕES

1. O modelo de semivariograma esférico apresentou o melhor ajuste para o mapeamento da precipitação máxima diária anual, enquanto que para as chuvas intensas desagregadas e associadas a um fator de frequência pela distribuição Gumbel houve melhor desempenho do modelo gaussiano.

2. As regiões do Bico do Papagaio (extremo norte), Ilha do Bananal (extremo sudoeste), Parque Estadual do Cantão (extremo centro-oeste) e noroeste, sob

ocorrência de clima Amazônico, respondem pela ocorrência crítica dos eventos extremos de precipitação no Estado do Tocantins.

3.5 AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização de séries hidrológicas, ao Instituto Federal do Tocantins pela concessão de bolsa de qualificação – PROQUALIFICAR e ao o CNPq pelo fomento ao projeto de pesquisa 482075/2013-9.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, K. C. C. D. L. F.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; GIONGO, M.; SANTOS, A. F. D. Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. **Ambiência**, v. 12, n. 1, p. 49-70, 2016.

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

ARAGÃO, R. D.; SANTANA, G. R. D.; COSTA, C. E. F. F. D.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. D. et al. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 243-252, 2013.

BACK, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2009.

BACK, Á. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2127-2134, 2011. ISSN 0100-0683..

BACK, Á. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 391-398, 2012. ISSN 1415-4366.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. D.; VARGAS, M. M.; GUEDES, H. A. S. et al. Desagegação de chuva diária: uma análise para o Estado do Rio Grande do Sul. **2016**, v. 16, n. 3, 2016-04-12 2016. ISSN 1983-2443.

CAMBARDELLA, C.; MOORMAN, T.; PARKIN, T.; KARLEN, D.; NOVAK, J. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. ISSN 0361-5995.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 131-140, 1998.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 377-384, maio/ago. 2005.

DAMÉ, R.; PEDROTTI, C.; CARDOSO, M.; SILVEIRA, C.; DUARTE, L. et al. Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com aquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. **Revista Brasileira de Agrocência**, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.

DAMÉ, R. D. C.; TEIXEIRA, C. F.; TERRA, V. S.; ROSSKOFF, J. L. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 46-54, 2010.

FESTI, A. V. Coletânea de Equações de Chuvas no Brasil. **XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS- SÃO PAULO- 2007**, p. 1-18, 2007.

LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: Comparison on USDA agricultural research service watersheds. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 12, n. 2, p. 173-189, 2007. ISSN 1084-0699.

MARCUZZO; GOULARTE. **Índice de Anomalias de Chuvas do Estado do Tocantins**. 2013 Geoambiente on line, 2013. p.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. **Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins**. 2013 Revista Brasileira de Geografia Física, 2013. p.

MELLO, C.; FERREIRA, D.; SILVA, A.; LIMA, J. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 25, n. 3, p. 693-698, 2001.

MELLO, C. D.; LIMA, J.; SILVA, A.; MELLO, J.; OLIVEIRA, M. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003. ISSN 0100-0683.

MELLO, C. R. D.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; DE MELLO, J. M.; VIOLA, M. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MELLO, C. R. D.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 37-44, 2013.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; JÚNIOR, P. J. R.; DE OLIVEIRA, M. S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis* **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 25-37, 2005.

OLIVEIRA, L. F. C. D.; ANTONINI, J. C. D. A.; GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 22-33, 2008.

OLIVEIRA, L. F. C. D.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. D. O. A.; ROMÃO, P. D. A.; CARVALHO, D. F. D. Estimativa das Equações de Chuvas Intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo Método de desagregação de Chuvas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 23-27, 2000.

PFRAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: DNOS, 1957. p.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. D.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

SEPLAN. Secretária de Planejamento. Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Superintendência de Planejamento e Gestão central de Políticas Públicas. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. Organizado por BORGES, R.S.T.; DIAS, R.R.; SOUSA, P.A.B. (orgs). 6. ed. rev. atua. Palmas: Seplan, p.80. 2012.

SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. D. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.

SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, R.; FILHO, G. et al. Equações de Intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado do Tocantins. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 11, n. 4, p. 7-14, 2003.

SILVA NETO, V. L.; VIOLA, M. R.; RÊGO, P. L.; OLIVEIRA, A. L. D.; SILVA, L. L. D. Relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) Para Precipitação Extrema em Guaraí-TO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 1146-1154, 2016.

SOUZA, F. H. M. D. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o estado do Tocantins**. 2016. (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO. 118 p.

SOUZA, R. O. R. D. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. D.; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, A. V. et al. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012.

4 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NO ESTADO DO TOCANTINS

RESUMO

A Precipitação Máxima Provável (PMP) é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada duração, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo. Este estudo teve como objetivo mapear a precipitação máxima provável para o estado do Tocantins com base na metodologia de Hershfield, para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Para o mapeamento foi adotado o interpolador inverso do quadrado da distância, tendo sido a sua qualidade avaliada pelo procedimento de validação cruzada, a partir do cálculo da tendência e do erro médio percentual absoluto (EMPA). Para a maior duração avaliada (24 horas) encontraram-se lâminas variando de 410,8 a 768,2 mm, enquanto que, para a menor duração avaliada (10') as lâminas variaram de 62,5 a 104,6 mm. De maneira geral, a precipitação máxima provável no Estado do Tocantins apresenta valores mais elevados junto à região do Bico do Papagaio (extremo norte) e no sudoeste do Estado.

Palavras-chaves: PMP, IQD, dependência espacial, mapeamento

SPATIAL DISTRIBUTION OF PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION OF TOCANTINS

ABSTRACT

The Probable Maximum Precipitation (PMP) is defined as the largest rain height meteorologically possible to occur on a particular watershed, corresponding to a duration, without taking into account the long-term climate trends. This study aimed the probable maximum precipitation mapping for the State of Tocantins, based on Hershfield methodology for durations of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 and 1440 minutes. For the mapping, was adopted the inverse-square-distance interpolator, being their quality assessed by cross-validation procedure from the calculation of the trend (bias) and the mean absolute percentage error. For the most evaluated duration (24 hours) met blades ranging from 410.8 - 768.2 mm, while for the lowest measured duration (10 ') slides ranged from 62.5 - 104.6 mm. In general, the probable maximum rainfall in the state of Tocantins has extreme occurrence in the region of Bico do Papagaio (north) and southwest of the State.

Keywords: PMP, ISD, spatial dependence, mapping

4.1 INTRODUÇÃO

Dentro do ciclo hidrológico, a precipitação consiste de uma variável de entrada fundamental para o entendimento da dinâmica do meio físico. Entender seu comportamento é de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de energia e manejo da agricultura, especialmente em condições tropicais (MELLO e SILVA, 2009).

Segundo a WMO - World Meteorological Organization (2009), a Precipitação Máxima Provável (PMP) é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada duração e época do ano, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo.

Segundo Burger (2014), através da utilização de modelos de transformação da chuva em vazão, partindo-se da Precipitação Máxima Provável encontra-se por sua vez a Cheia Máxima Provável (CMP), que é o hidrograma máximo teórico que pode ocorrer em uma determinada bacia hidrográfica, em uma determinada época do ano. Ainda segundo Burger (2014), dados pluviométricos e meteorológicos são utilizados para definir a chuva de projeto, e as peculiaridades da bacia hidrográfica são interpretadas na forma de um modelo de transformação de precipitação em escoamento. Por isso, é imprescindível a adequada determinação da cheia de projeto de estruturas hidráulicas, sendo um dos principais critérios recomendados para o dimensionamento de grandes barragens, a adoção da Cheia Máxima Provável.

Para a determinação da PMP, os métodos utilizados podem ser classificados basicamente em métodos hidrometeorológicos e métodos estatísticos. Os métodos hidrometeorológicos buscam as condições meteorológicas mais severas das ocorrências observadas, considerando que o total precipitado tende a crescer à medida que aumenta o teor de umidade do fluxo de ar que alimenta as tempestades. Este método é aplicável quando existem dados pluviométricos de um número significativo de tormentas severas observadas na bacia do projeto, cuja base de cálculo consiste em: a) seleção das maiores chuvas intensas observadas na região; b) obtenção da umidade representativa e máxima provável de cada evento selecionado; e c) cálculo dos fatores de maximização da umidade e estimativa das chuvas maximizadas (TUCCI, 2009).

A seleção das maiores chuvas intensas observadas consiste em se identificarem as maiores tormentas em uma dada região e multiplicá-las por um fator de maximização. O processo de maximização de umidade requer a identificação de duas adiabáticas saturadas. A primeira delas é representativa da temperatura e umidade específica da tormenta a ser maximizada. Já a segunda corresponde à adiabática mais quente esperada na região em uma dada época do ano. As referidas adiabáticas são identificadas pelas temperaturas de bulbo úmido de um psicrômetro, que corresponde à temperatura do ponto de orvalho à pressão de 1.000 mb (WMO, 2009).

De acordo com Tucci (2009), a Transposição de tormentas severas se aplica quando o número de observações de tormentas severas não é suficiente na bacia de interesse. A transposição somente é válida se existem reais condições de que a tormenta possa ocorrer nas duas regiões. Nesse caso, as regiões são ditas meteorologicamente homogêneas, estando expostas à incursão das mesmas massas de ar e aos mesmos tipos de tormentas. O ajuste de transposição é realizado pela multiplicação da altura pluviométrica da tormenta observada por um ou mais fatores, que tem por objetivo compensar as diferenças de condições nas duas áreas de estudo. A frequência de ocorrência das tormentas nas duas áreas não precisa ser necessariamente a mesma. No entanto, as diferenças topográficas entre as regiões podem dificultar ou mesmo inviabilizar a transposição. Dessa forma, é necessária uma análise prévia dos fatores topográficos, morfológicos, geométricos e de orientação das bacias (TUCCI, 2009).

A Maximização de sequências de tormentas severas é aplicável a grandes bacias, nas quais a área de drenagem supera significativamente a extensão das tormentas. Nesse caso, é necessário definir o sincronismo mais adverso entre as máximas precipitações acumuladas e o desenvolvimento e propagação das enchentes. Na definição do referido sincronismo, analisam-se os registros históricos relacionados às grandes enchentes, diagnosticam-se as tormentas geradoras das máximas precipitações acumuladas e determinam-se as maximizações a serem efetuadas, abrangendo-se a relocação e transposição de tormentas (TUCCI, 2009).

Os procedimentos estatísticos para estimar a PMP podem ser empregados sempre que há dados disponíveis de precipitação, e são particularmente úteis para estimativas onde outros dados meteorológicos, como registros de ponto de orvalho e vento, são escassos. Portanto, o método estatístico em muitos casos é mais vantajoso

do que o método hidrometeorológico, em função da carência de dados meteorológicos e do custo que este método demanda para ser aplicado. No entanto, os métodos estatísticos contêm duas desvantagens importantes: a primeira, é que ele apenas aponta valores de PMP e, portanto, requer curvas de redução de área para ajustar os valores para as áreas de vários tamanhos. O segundo problema é determinar o valor apropriado para utilização de K, uma variável estatística que depende da distribuição de frequência de dados hidrológicos de valores extremos (WMO, 2009).

Os métodos estatísticos permitem uma rápida estimativa da PMP e constituem-se como ferramentas de grande utilidade. Dentre os métodos estatísticos propostos para a estimativa da PMP, pode-se destacar o recomendado pela *World Meteorological Organization* (WMO), que é o método de Hershfield. No entanto, deve-se considerar que este método foi recomendado para bacias de até 1.000 km², mas tem sido aplicado a áreas muito maiores e para durações de chuva de até 24h, e seus parâmetros foram determinados para regiões em sua maioria localizadas nos Estados Unidos (WMO, 2009; BURGUER, 2014).

Segundo Burger (2014), no momento da escolha do método a ser utilizado para a estimativa da PMP, um dos fatores importantes a ser observado é a disponibilidade de dados. Por isso, em muitos casos opta-se pela estimativa da PMP através do método estatístico, que somente utiliza dados de precipitação.

Estudos sobre estimativas de precipitação máxima provável (PMP) foram realizados na região do nordeste do Irã por Ghahraman (2008), em uma tentativa de estimar a PMP para uma duração de um dia, com base em um fator de frequência adequada; na região da Catalunha por Casas et al. (2008); na Índia, análises e estimativas de PMP foram feitas por Deshpande et al. (2008); no Brasil por Hartmann et al. (2011), em Presidente Prudente, Lima et al. (2012), no Rio Grande do Norte, Burger (2014), sobre adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da PMP.

O interpolador inverso do quadrado da distância (IQD) pode ser aplicado no mapeamento de variáveis climáticas com bons resultados (CECILIO e PRUSKI, 2003; VIOLA et al., 2010; GARDIMAN JUNIOR et al., 2012). De acordo com Mello et al. (2003), a base teórica para aplicação desta metodologia centra-se na sua semelhança com a Lei de Gravitação Universal com enfraquecimento proporcional ao quadrado do inverso da distância.

O Tocantins apresenta grande potencial hidráulico, com 14 usinas hidrelétricas em operação, 13 projetadas e 8 usinas em construção, e com potencial para novos projetos (TOCANTINS, 2012). Diante disto, é imprescindível a adequada determinação da PMP, visando subsidiar o cálculo da cheia de projeto e consequente adequado dimensionamento de estruturas hidráulicas que a exigem. Ressalta-se que, segundo Burger (2014), a PMP é adotada para o dimensionamento de grandes barragens.

Neste contexto, objetivou-se calcular a precipitação máxima provável com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos e proceder seu mapeamento pelo interpolador inverso do quadrado da distância para o Estado do Tocantins.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo

O Estado do Tocantins está localizado entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de latitude sul, e entre os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de longitude oeste, com área de 277.620,914 km², representando 3,26% da área total do Brasil e 7,2% da Região Norte. O Estado apresenta formações vegetais típicas da Amazônia, com florestas Ombrófila Aberta e Ombrófila Densa que ocupam 9% da área do estado, e as florestas estacionais com pequena representatividade vegetal (IBGE, 2004).

De acordo com levantamento realizado pela Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Estado do Tocantins - SEPLAN para o ano de 2007 (TOCANTINS, 2012), o Bioma Cerrado ocupa cerca de 91% da área do Estado e comporta formações vegetais de estrutura campestre, tendo o campo limpo (savana gramíneo-lenhosa) e o campo sujo, formação savânica ou florestal com os subtipos que caracterizam-se por uma camada rasteira predominantemente herbácea e por uma cobertura lenhosa que varia de 5 a 20% em áreas de cerrado ralo (savana parque), situa-se entre 20 e 50% em cerrado típico, e vai de 50 a 70% em cerrado denso. O cerrado rupestre desenvolve-se sobre afloramento rochoso. Nas planícies inundáveis do estado desenvolve-se o parque de cerrado (savana parque). As veredas são formações savânicas que ocupam as cabeceiras (nascentes) dos corpos hídricos. O cerradão (savana florestada) é considerado uma formação florestal e

ocorre em menor proporção em relação às demais fitofisionomias de Cerrado dentro do Tocantins.

O regime de chuvas é diversificado ao longo do estado, tendo-se em vista a atuação dos fenômenos meteorológicos Anticiclone do Atlântico Sul (ACAS) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Segundo Souza (2016), ocorrem três regiões climáticas homogêneas de acordo com a classificação de Thornthwaite: a) região climática C1s2A'a': clima subúmido seco, com grande excesso d'água no verão, megatérmico; b) região climática C2wA'a': clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico e c) região climática B1wA'a': clima úmido, com deficiência d'água moderada no inverno, megatérmico (Figura 33).

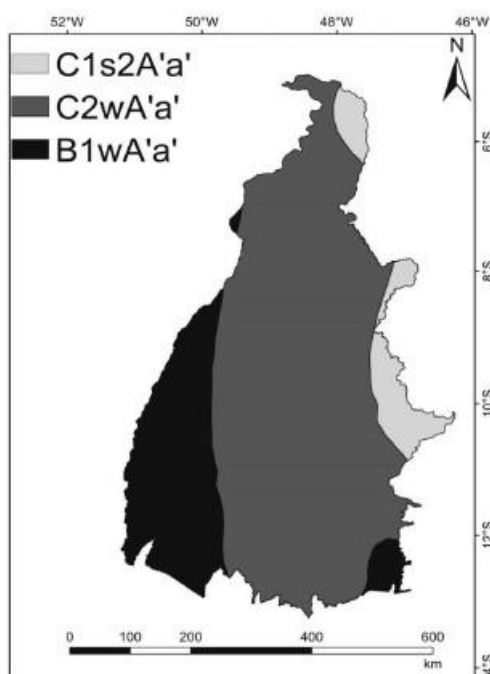


Figura 33 - Classificação climática de Thornthwaite e Matter para o Estado do Tocantins obtida por co-krigagem (Souza, 2016)

4.2.2 Base de dados e metodologia de cálculo e mapeamento da PMP

Os dados utilizados consistem de séries históricas de chuvas intensas com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, para 10 localidades no Estado do Tocantins com série pluviográfica, além de 95 séries de precipitação máxima diária anual do período de 1983 a 2013 obtidos a partir de registros pluviométricos, ambos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) (Figura 34 a e b).

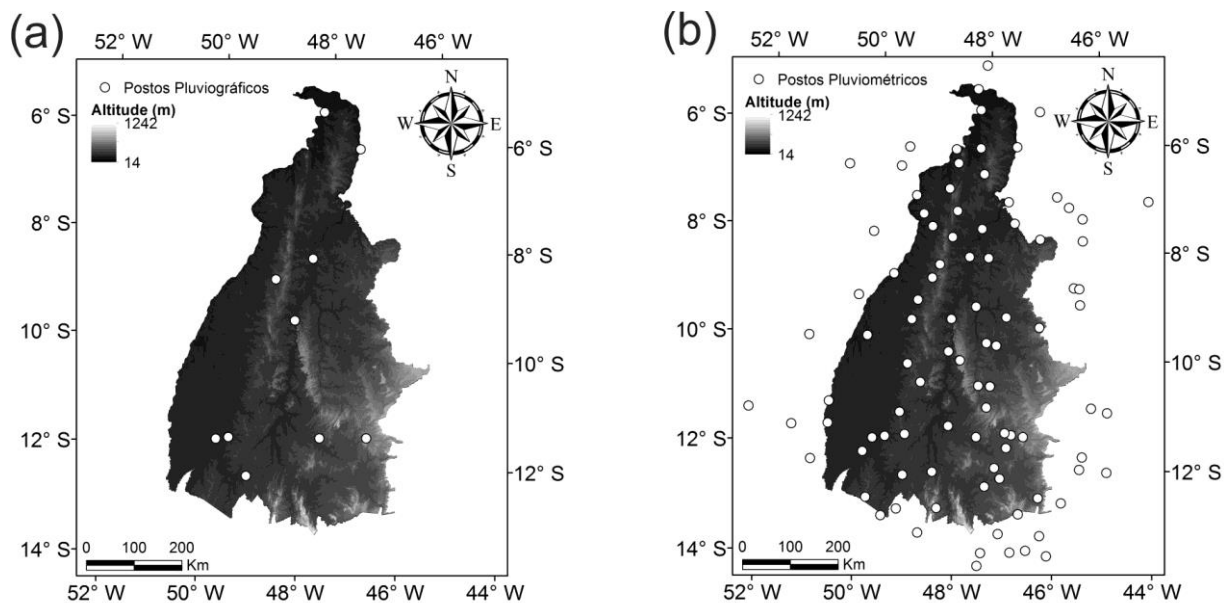


Figura 34 - Modelo digital de elevação ASTER para o Estado do Tocantins e (a) localização das 10 estações pluviográficas e (b) localização dos 95 postos pluviométricos utilizados neste estudo

Segundo a WMO (2009), a metodologia para determinação da PMP, desenvolvida por Hershfield (1961) e aperfeiçoada por ele em 1965 baseia-se na equação geral de frequência proposta por Ven Te Chow (1964):

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + K_m \cdot S_n \quad (18)$$

Sendo X_{PMP} a precipitação máxima provável para uma determinada duração e local, e \bar{X}_n e S_n são, respectivamente, a média e o desvio padrão da série de n valores de chuvas intensas para uma determinada duração, e K_m é o fator de frequência.

Os valores dos fatores de frequência K_m para cada uma das estações foram calculados utilizando-se a Equação 19, proposta por Burger (2014), que representa matematicamente as curvas do gráfico de Hershfield apresentadas na Figura 35.

$$K_m = 20 - \frac{0,732 \cdot \bar{P}_d^{0,693}}{(d+0,372)^{0,420}} \quad (19)$$

\bar{P}_d é a média das chuvas máximas anuais de d horas de duração (mm) e d é a duração da chuva, em horas.

A Eq. 18 e a Figura 35 constituem a base do método estatístico de Hershfield para a estimativa da PMP.

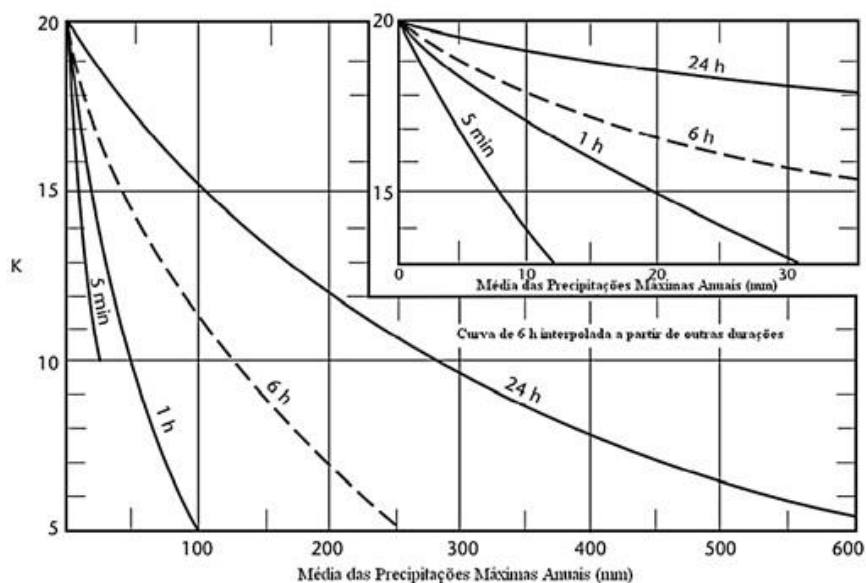


Figura 35 - Valores de K_m em função da duração da chuva intensa (curvas de 5 min, 1 h, 6 h e 24 h) e da lâmina média observada (WMO, 2009)

Segundo WMO (2009), a presença de valores atípicos (*outliers*), entendidos como chuvas de ocorrência rara, pode influenciar a média e o desvio padrão das séries históricas. A magnitude do efeito é menor para longos registros do que para curtos, e isso varia de acordo com a raridade do evento. Hershfield (1961) estudou este efeito e a Figura 36 (a, b) apresenta os ajustes sugeridos para \bar{X}_n e S_n , como função do tamanho da série e do valor médio observado, em mm, visando compensar a presença de valores atípicos (WMO, 2009). O procedimento deve ocorrer da seguinte forma:

- I. Determinar \bar{X}_n (média) e S_n (desvio padrão) da série histórica anual;
- II. Determinar \bar{X}_{n-m} e S_{n-m} , sendo \bar{X}_{n-m} , a média da precipitação máxima obtida pela série histórica anual, excluindo-se dela o maior valor observado e, S_{n-m} , o desvio padrão obtido da série histórica anual de precipitação máxima, excluindo-se da série o maior valor observado.
- III. Estabelecer a relação \bar{X}_{n-m}/\bar{X}_n e a relação S_{n-m}/S_n ;

IV. Com o valor obtido dessas relações, a partir do eixo x como referência, determinar o ajuste recomendado no eixo y (%) em função do tamanho da série (anos) para X_n (Figura 36a) e S_n (Figura 36b).

Em termos práticos, isto significa que, para uma relação \bar{X}_{n-m}/\bar{X}_n igual a 0,9 (eixo x), considerando uma série histórica de 30 anos, o ajuste recomendado será equivalente a 0,93 (eixo y), que deve ser multiplicado a \bar{X}_{n-m} . Da mesma forma, para uma relação S_{n-m}/S_n equivalente a 0,9 (eixo x), considerando a mesma série de 30 anos, o ajuste aplicado para S_n será de 1,02 (eixo y), que deve ser multiplicado a S_{n-m} .

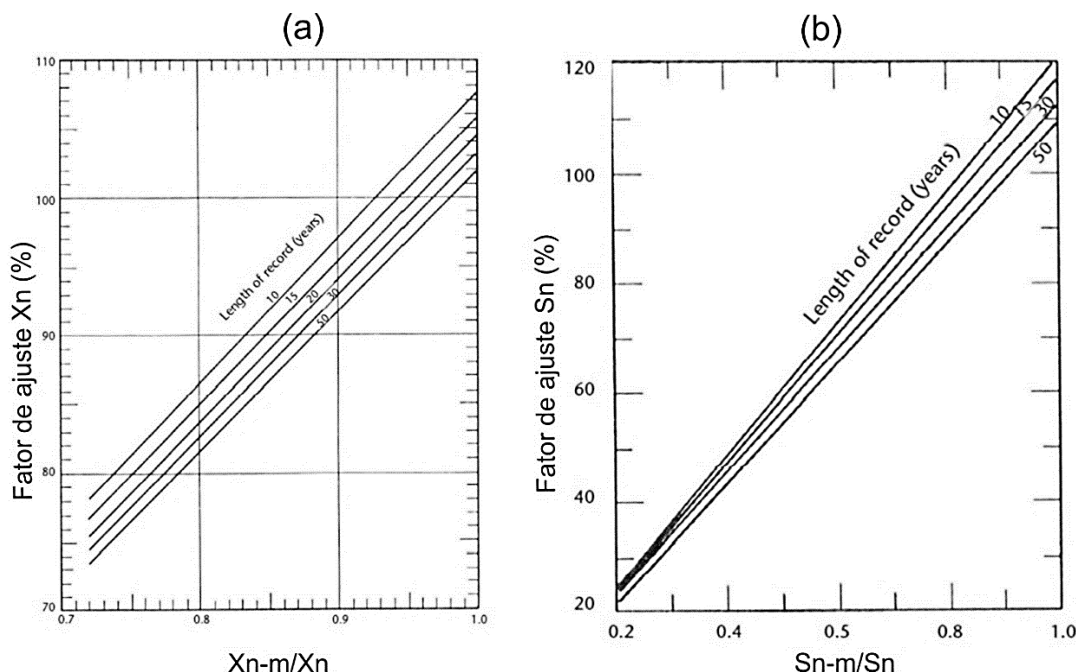


Figura 36 - Fatores de correção para a média (a) e desvio padrão (b) das séries anuais de precipitação máxima como função do tamanho da série e do valor médio observado, em mm, visando compensar a presença de valores atípicos (WMO, 2009).

Segundo Burguer (2014), a média e o desvio padrão das séries anuais tendem a aumentar com o tamanho da amostra, uma vez que a distribuição de frequência de valores extremos de chuva é assimétrica com a cauda para a direita. Assim, a Figura 37 apresenta os ajustes sugeridos conforme o tamanho da amostra (WMO, 2009). Assim como nos ajustes anteriores, o eixo y corresponde ao ajuste recomendado (%) de acordo com tamanho da amostra descrita no eixo x, ou seja, para uma série de 25 anos, o ajuste recomendado para \bar{X}_n será de 1,01 e para S_n , de 1,05, que deve ser aplicado ao valor da média e desvio padrão ajustados. Este ajuste difere do

recomendado na Figura 36 por não considerar o valor atípico obtido pelas relações anteriormente mencionadas, mas sim, apenas a recomendação de um fator de ajuste (eixo *y*) conforme forme o tamanho da amostra (eixo *x*).

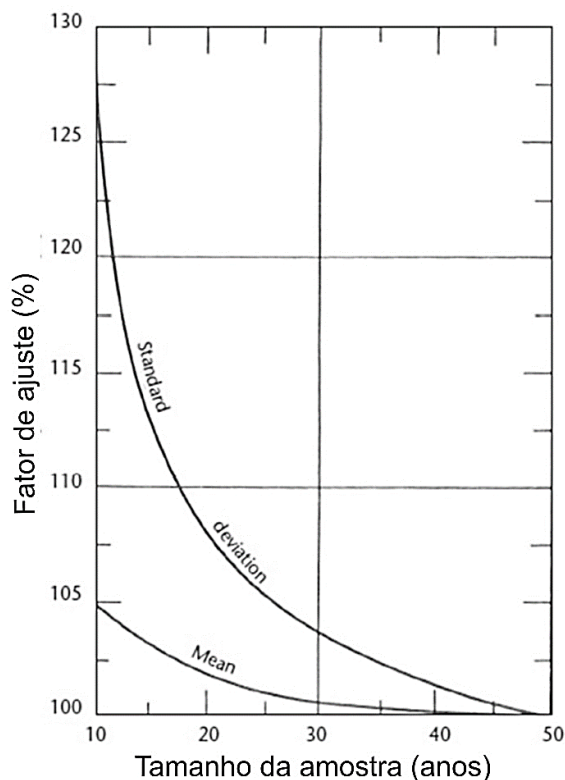


Figura 37 - Fator de Ajuste (%) da média e desvio padrão das séries anuais em função do tamanho da série (WMO, 2009)

Partindo-se das séries de chuvas intensas tabuladas por Silva et al. (2003) para 10 localidades do Estado do Tocantins, procedeu-se o cálculo da precipitação máxima provável (PMP) para as seguintes durações: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Em uma segunda abordagem buscou-se quantificar a PMP a partir de 95 séries de precipitação máxima diária anual. Nesta situação procedeu-se a quantificação da PMP de 24 horas aplicando um fator de correção, que visa corrigir a precipitação diária para a de 24 horas, conforme descrito por Casas et al. (2008). De acordo com estes autores e WMO (2009), o valor deste fator de correção pode ser considerado igual a 1,13, tendo sido aplicado no presente estudo. Desta maneira, especificamente para a duração de 24 horas foram obtidos dois bancos de dados, sendo o primeiro a partir das 10 séries de precipitação máxima de 1440 minutos tabuladas por Silva et al. (2003), e o segundo a partir de 95 séries de precipitação máxima diária anual do Hidroweb.

Para o mapeamento da PMP foi empregado o interpolador inverso do quadrado da distância (IQD), cuja formulação encontra-se descrita na Equação 20 (MELLO et al., 2003). A justificativa para aplicação do IQD encontra-se na inviabilidade de utilização de interpoladores geoestatísticos, uma vez que a maioria dos mapeamentos será desenvolvido a partir de dados de 10 localidades do estado do Tocantins.

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \cdot X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (20)$$

Em que X_p corresponde à variável interpolada, X_i é a PMP conhecida nos pontos vizinhos, d_i é a distância euclidiana (linha reta) da respectiva estação ao ponto a ser estimado e n é o número de estações utilizadas.

A fim de verificar a qualidade do mapeamento aplicou-se a técnica da validação cruzada. Esta técnica consiste em estimar os valores da variável em estudo para a exata localização dos pontos amostrados, permitindo quantificar o erro médio percentual absoluto (EMPA), em %, conforme a Equação 21 (SANTOS et al., 2011):

$$EMPA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| \cdot 100 \quad (21)$$

Em que, n é o número de postos pluviométricos, Obs_i é a precipitação observada para o posto i e Est_i é a precipitação estimada por krigagem para a posição do posto i .

Para Lewis (1997), a classificação do Empa é apresentada como: Empa < 10% “muito bom”; Empa < 20% “bom”; Empa < 30% “razoável” e Empa > 30% “impreciso”.

O viés estatístico ou Bias (BIAS) foi calculado de acordo com Liew et al. (2007), pela Equação 22. O valor do BIAS corresponde ao percentual de viés das variáveis estimadas com relação às variáveis observadas.

$$BIAS = \frac{\sum_{k=1, n}^n (Q_{kobs} - Q_{ksim})(100)}{\sum_{k=1, n}^n (Q_{kobs})} \quad (22)$$

Onde, $Q_{k_{sims}}$ é o valor simulado e $Q_{k_{obs}}$ é o valor observado da variável estudada e o n é o número de postos pluviométricos.

Os valores foram classificados da seguinte maneira: $|BIAS| < 10\%$, considerado muito bom; $10\% < |BIAS| < 15\%$, bom; $15\% < |BIAS| < 25\%$, satisfatório e $|BIAS| > 25\%$, o modelo é considerado inadequado (LIEW et al., 2007).

Os mapas encontram-se na Projeção Albers Conica Igual Área (unidades em metros), com datum horizontal SAD 69. A lâmina da PMP, em mm, foi mapeada em escala de azul, sendo que as classes de menores valores receberam coloração clara, seguindo para a coloração escura com seu incremento.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados da tendência (BIAS) e do erro médio percentual absoluto (EMPA) obtidos no processo de validação cruzada. Analisando-se os valores de BIAS, observam-se valores de tendência inferiores a 10% para todas as durações, exceto para a de 360', que apresentou resultado muito próximo disso (10,48%). De acordo com a classificação proposta por Liew et al. (2007), para o BIAS, este resultado pode ser considerado "muito bom" para todos os eventos, com a exceção da duração de 360', que apresentou resultado classificado como "bom".

Tabela 4 - Tendência (BIAS) e erro médio percentual absoluto (EMPA) produzidos por validação cruzada, no mapeamento da precipitação máxima provável com durações variando de 10 a 1440 minutos no Estado do Tocantins, pelo interpolador inverso do quadrado da distância

DURAÇÃO	BIAS (%)	EMPA (%)
h1440'	5,19	25,64
h720'	6,34	26,02
h360'	10,48	35,47
h240'	9,65	35,66
h180'	6,85	30,60
h120'	6,41	25,16
h60'	2,98	17,19
h50'	2,33	14,89
h40'	2,98	16,36
h30'	3,63	18,92
h20'	4,73	25,33
h10'	2,28	20,46

Considerando o EMPA, os resultados produziram uma similaridade com o Bias, sendo que as durações de 50' (14,89%), 40' (16,36%) e 60' (17,19%) também correspondem aos menores erros, enquanto que as durações 240' (35,66%), 360' (35,47%) e 180' (30,60%) corresponderam aos maiores erros produzidos. Segundo Lewis (1997), o EMPA foi considerado “potencialmente bom” para as durações de 30', 40', 50' e 60' (Empa < 20%); considerado “razoável” 10', 20', 120', 720' e 1440' (Empa < 30%); e considerado “impreciso” para as durações de 180', 240' e 360' (Empa > 30%).

Alves et al. (2016), em estudos sobre o mapeamento das precipitações médias mensais e anuais na bacia do Rio Formoso (sudoeste do Tocantins), determinou EMPA variando entre 10,5% a 167%, ao longo do ano. Souza (2016), na regionalização climática do Tocantins segundo Thorntwhaite Mhatter, encontrou EMPA variando entre 12,2% a 12,57%, considerando apenas a precipitação como variável. Castro et al. (2010), estudando o desempenho de diferentes interpoladores, para espacialização de dados climatológicos observou erro médio percentual em torno de 9,13%. Mello et al. (2003), comparando as interpolações pelos métodos krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância, observou erros médios acima de 23% por ambos, indicando que os erros encontrados no presente estudo são condizentes com a variável trabalhada.

A Figura 38 apresenta os mapas de PMP com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, obtidos a partir de séries de chuvas intensas de 10 localidades do Estado do Tocantins. De maneira geral, analisando-se os mapas é possível observar duas regiões específicas onde a PMP apresentou maiores valores, sendo no norte (Bico do Papagaio) e sudoeste do estado. Entretanto, para algumas durações, além dessas regiões, a porção centro-sul do estado também apresentou maiores valores de PMP. A variação da PMP para duração de 10 minutos foi de 63 a 105 mm, para 20 minutos de 70 a 144 mm, para 120 minutos a variação foi de 177 a 410, para 180 minutos de 199 a 453 mm e para 240 minutos de 198 a 483 mm.

Considerando as chuvas com duração de 360 minutos a variação foi de 197 a 519 mm, para a duração de 720 minutos a variação foi de 335 a 667 mm e para 1440 minutos a variação foi de 411 a 768 mm.

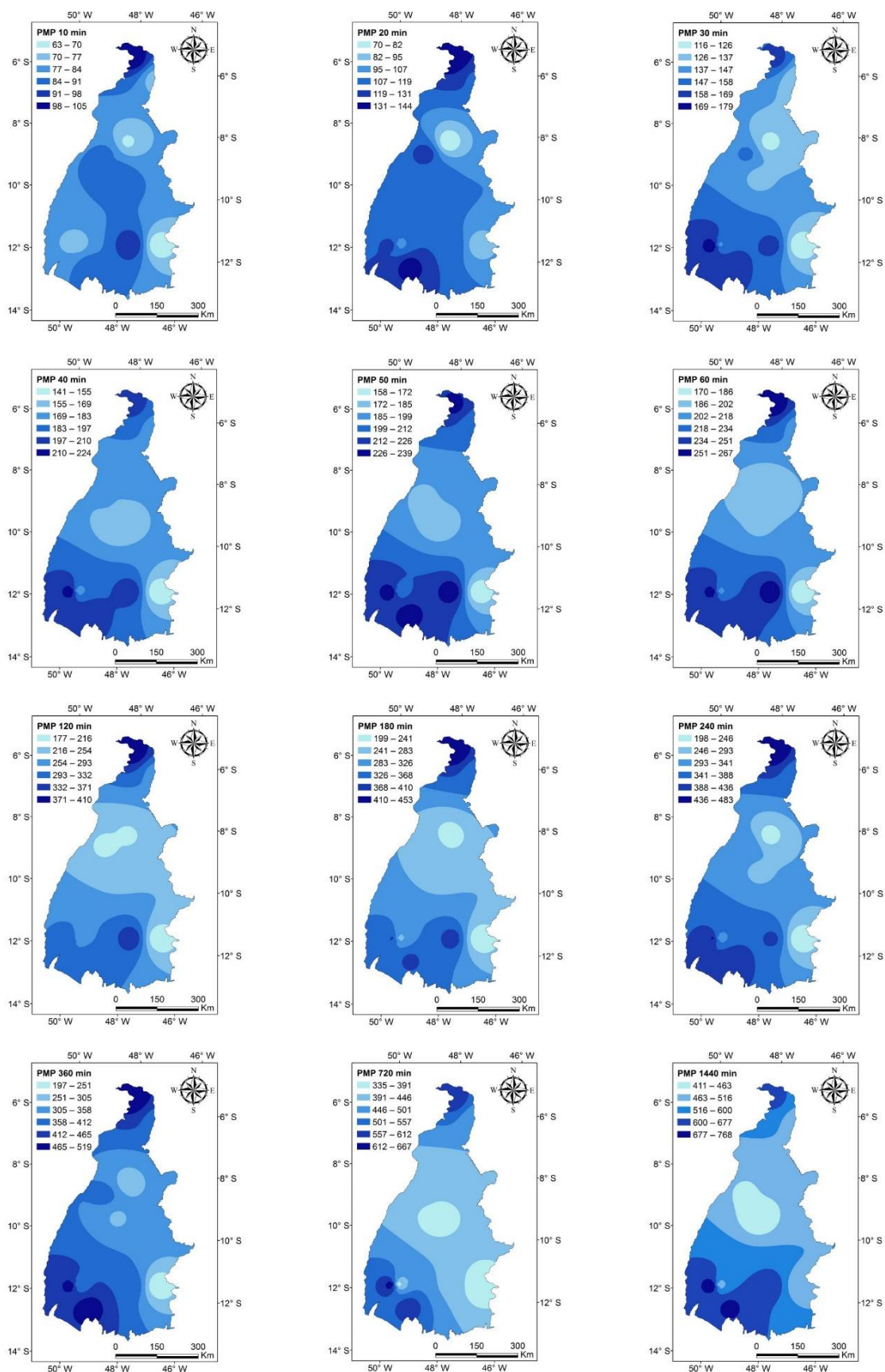


Figura 38 - Mapas de precipitação máxima provável para durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos para o Estado do Tocantins, obtidos pelo interpolador inverso do quadrado da distância

Na Figura 39 está apresentado o mapa de precipitação máxima provável com duração de 1440 minutos para o Estado do Tocantins gerado pelo interpolador inverso do quadrado da distância, a partir de 95 séries de precipitação máxima diária anual obtidas junto ao Hidroweb, obedecendo às mesmas classes de valores do primeiro mapa. O objetivo específico deste segundo mapa para a duração de 1440 minutos é de verificar a variabilidade espacial da PMP junto a um banco de dados mais densamente amostrado. Observa-se que a região do Parque Estadual do Cantão (centro-oeste), e também o extremo centro-leste (cobrindo até a Região do Jalapão), se somam às regiões norte e sudoeste, anteriormente já identificadas, o que mostra a importância de um banco de dados mais densamente amostrado no estudo e interpretação da variabilidade espacial da PMP.

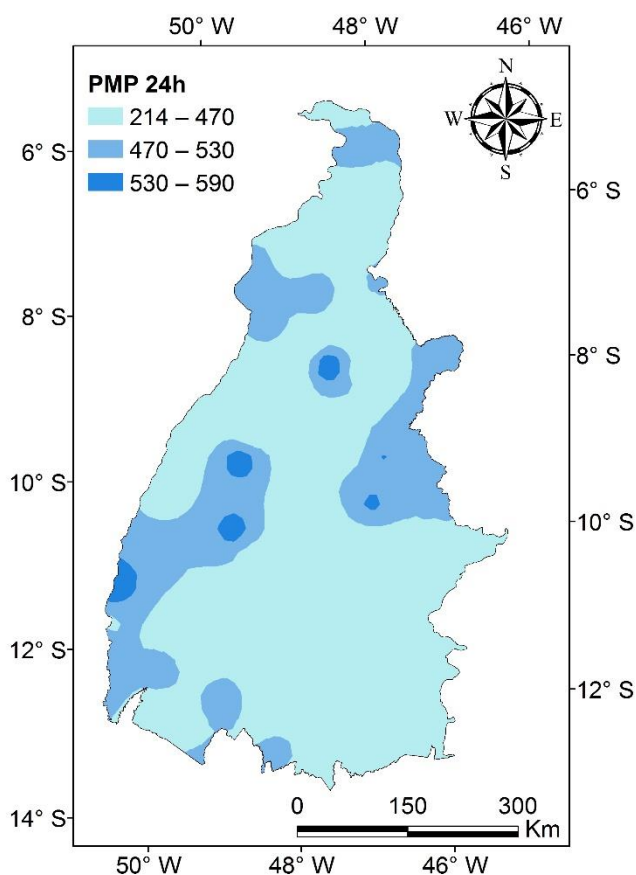


Figura 39 - Mapa de precipitação máxima provável com duração de 24 horas gerado pelo método IQD a partir de 95 séries de precipitação máxima diária anual para o estado do Tocantins

Ressalta-se que o mapeamento da PMP apresenta-se como uma importante ferramenta para o planejamento e construção de barragens, fornecendo informações técnicas para o dimensionamento de obras hidráulicas. Muitas organizações

vinculadas à segurança de barragens recomendam explicitamente a PMP para o caso de grandes obras, onde o galgamento envolve grandes riscos (SUGAI e FILL, 1989; TUCCI, 2009). A PMP é a chave para determinar a cheia máxima provável (CMP). Se um vertedor não é capaz de liberar com segurança a CMP, o rompimento da parede da barragem devido ao transbordamento pode ocorrer e causar grande perda de vidas e danos à propriedade. Outro aspecto relevante é que o cálculo estatístico da PMP apresenta limitações, principalmente levando em considerações os fatores que influenciam nas estimativas da PMP, como a existências de valores atípicos e tamanho da série histórica utilizada, o tamanho da bacia, já que Hershfield (1965) recomenda aplicação deste método para bacias com áreas de até 1.000 km², embora segundo a própria WMO, já tenha sido aplicado a áreas maiores.

Segundo Kappel et al. (2013), eventos extremos de chuva em uma região com condições meteorológicas homogêneas são uma parte muito importante da evidência histórica em que uma estimativa de PMP é baseada. Como a maioria dos locais têm um período limitado de registro para dados de chuva coletados, o número de precipitações extremas que têm sido observados ao longo de um determinado local também é limitado. De acordo com a WMO (2009), foram concluídos menos estudos em regiões tropicais do que para climas temperados. Consequentemente, aprimoramentos ainda são requeridos para a estimativa da PMP, sobretudo para regiões tropicais, como é o caso do Estado do Tocantins.

4.4 CONCLUSÕES

1. A precipitação máxima provável para eventos de curta duração apresenta ocorrência crítica nos extremos norte (Bico do Papagaio) e sudoeste do estado do Tocantins. Entretanto, para algumas durações, além dessas regiões, a porção centro-sul do estado também apresentou maiores valores de PMP.

2. A utilização de um banco de dados mais densamente amostrado, especificamente para a duração de 24 horas possibilitou melhor representação da variabilidade espacial da PMP, indicando que a região centro-oeste, nas proximidades do Parque Estadual do Cantão, e também o centro-leste, até a região do Jalapão, também apresentam ocorrência extrema da PMP.

3. O interpolador IQD pode ser indicado para representação da PMP, sendo que para o presente estudo desenvolvido para o Estado do Tocantins, os erros apresentados encontram-se dentro de margens aceitáveis.

4.5 AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização de séries hidrológicas, ao Instituto Federal do Tocantins pela concessão de bolsa de qualificação – PROQUALIFICAR e ao o CNPq pelo fomento ao projeto de pesquisa 482075/2013-9.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional das águas. Hidro Web: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> > Acesso em 15 Abr 2014., 2014.

ALVES, K. C. C. D. L. F.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; GIONGO, M.; SANTOS, A. F. D. Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. **Ambiência**, v. 12, n. 1, p. 49-70, 2016.

BURGER, L. C. **Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP)**. 2014. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 100 p.

CASAS, M. C.; RODRÍGUEZ, R.; NIETO, R.; REDAÑO, A. The estimation of probable maximum precipitation. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1146, n. 1, p. 291-302, 2008. ISSN 1749-6632.

CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuv da equação de chuvas intensas com as intensas com uso do inv uso do inverso de potências da distância so de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 501-504, 2003.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill Company, 1964. 1468 p.

DESHPANDE, N.; KULKARNI, B.; VERMA, A.; MANDAL, B. Extreme rainfall analysis and estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) by statistical methods over the Indus river basin in India. **Journal of Spatial Hydrology**, v. 8, n. 1, 2008. ISSN 1530-4736.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, p. 61-71, 2012.

GHAHRAMAN, B. The estimation of one day duration probable maximum precipitation over atrak watershed in Iran. **Iranian Journal of Science and Technology**, v. 32, n. B2, p. 175, 2008.

HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 4, p. 561-568, 2011.

HERSHFIELD, D. M. Technical Paper N. 40: Rainfall frequency atlas of the United States, Department of Commerce. **Weather Bureau, Washington, DC**, 1961.

_____. Method for estimating probable maximum rainfall. **American Water Works Association**, p. 965-972, 1965.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa dos biomas do Brasil. Escala 1: 5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

KAPPEL, B.; MUHLESTEIN, G.; HULTSTRAND, D.; PARZYBOK, T. Probable maximum precipitation Study for Arizona. **Applied Whater Associates**, p. 275, 2013.

LEWIS, C. D. **Demand Forecasting and Inventory Control**. A computer aided learning approach. Woodhead Publishing Ltd, 1997. 157 p.

LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: Comparison on USDA agricultural research service watersheds. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 12, n. 2, p. 173-189, 2007. ISSN 1084-0699.

LIMA, J. G. A.; VIANA, P. C.; SILVA, R. M.; ALVINO, F. C. G.; DA SILVA, G. D. PERÍODO DE RETORNO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA ALGUMAS CIDADES DO RIO GRANDE DO NORTE. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 144-149, 2012. ISSN 1981-8203.

MELLO, C. D.; LIMA, J.; SILVA, A.; MELLO, J.; OLIVEIRA, M. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003. ISSN 0100-0683.

MELLO, C. D.; SILVA, A. D. 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.

SANTOS, E.; GRIEBELER, N.; OLIVEIRA, L. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite–GO. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 31, n. 1, p. 78-89, 2011.

SEPLAN. Secretária de Planejamento. Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Superintendência de Planejamento e Gestão central de Políticas Públicas. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. Organizado por. BORGES, R.S.T.; DIAS, R.R.; SOUSA, P.A.B. (orgs). 6. ed. rev. atua. Palmas: Seplan, p.80. 2012.

SOUZA, F. H. M. D. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o estado do Tocantins**. 2016. (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO. 118 p.

SUGAI, M.; FILL, H. Tempo de recorrência associado à precipitação máxima provável na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia, Rio de Janeiro**, v. 8, n. 1, p. 110, 1989.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação (Org.)**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN/DZE. **Atlas do Tocantins**, 2012.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. D.; PINTO, D. B.; MELLO, J. D.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on estimation of probable maximum precipitation - PMP**. Geneva: 2009. 291 p.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos desenvolvidos na determinação das constantes de desagregação de chuvas intensas para o Estado do Tocantins em comparação com outras regiões brasileiras possibilitou identificar expressiva variação dessas constantes, permitindo concluir que as constantes desenvolvidas são válidas especificamente para desagregação de chuvas intensas diárias no Estado do Tocantins. As frequências observadas apresentaram adequabilidade à distribuição Gumbel para as frequências de todas as situações analisadas

As constantes de desagregação apresentaram comportamento estável, em função do tempo de retorno. Para uma mesma estação, para tempos de retorno maiores que 100 anos, a constante tem valor praticamente fixo, visto que tornam-se assintóticas ao eixo x. Nota-se que o valor das constantes apresenta diferenças para locais distintos do estado, sendo que, das 10 estações consideradas, a de Tupiratins é a que apresenta maiores diferenças, principalmente para as relações entre chuvas de maiores durações.

Considerando o mapeamento de chuvas intensas pelo interpolador krigagem ordinária, para a precipitação máxima diária anual, a interpretação do EMPA revelou menores erros produzidos pelo modelo de semivariograma esférico (5,59%), seguido pelos modelos gaussiano e exponencial, com 5,62% e 5,63%, respectivamente. O modelo com menor Bias foi o gaussiano (0,24%), seguido pelo esférico (0,26%) e exponencial (0,34%). Para o mapeamento das chuvas intensas desagregadas e associadas a um fator de frequência pela distribuição Gumbel houve melhor desempenho do modelo de semivariograma gaussiano. As regiões sul, sudeste e norte (Bico do Papagaio) foram as de maior intensidade de chuvas intensas no Estado do Tocantins.

Com relação à Precipitação Máxima Provável, o interpolador IQD apresentou bom desempenho para representação da sua distribuição espacial. Observa-se que as áreas onde os maiores valores foram registrados, coincidem com as áreas críticas de chuvas intensas mapeadas no Capítulo 2. Deve-se considerar que o estudo da PMP apresenta limitações, principalmente levando em consideração os fatores que influenciam nas estimativas da PMP, como a existências de valores atípicos, tamanho da série histórica utilizada, o tamanho da bacia, entre outros. A precipitação máxima provável apresenta ocorrência crítica para todo o estado, sobretudo nos extremos

norte (Bico do Papagaio) e sudoeste. Entretanto, a utilização de um banco de dados mais densamente amostrado, especificamente para a duração de 24 horas possibilitou melhor representação da variabilidade espacial da PMP, indicando que a região centro-oeste, nas proximidades do Parque Estadual do Cantão, e também o centro-leste, até a região do Jalapão, também apresentam ocorrência extrema da PMP.

Constatou-se ainda, através dos resultados do teste de adequabilidade de Kolmogorov-Smirnov, que a distribuição de probabilidades Gumbel foi adequada para modelar a frequência de ocorrência das chuvas intensas diárias e de duração variando de 10' a 1440' no Estado do Tocantins.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, Á. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 391-398, 2012. ISSN 1415-4366.

BURGER, L. C. **Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP)**. 2014. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 100 p.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; DE MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; DE SOUZA, M. R. et al. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 197-203, 2015.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 131-140, 1998.

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

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN/DZE. **Atlas do Tocantins**, 2012.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on estimation of probable maximum precipitation - PMP**. Geneva: 2009. 291 p.

7 ANEXOS

ANEXO I

Médias (\bar{x}) e desvios-padrão (s), em mm h^{-1} , das séries anuais de intensidades máximas médias de precipitação disponibilizadas por Silva et al. (2003)

Estação	Duração							
	10		20		30		40	
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
Alvorada	114,5	29,9	101,1	34,8	83,7	26,5	72,4	27,8
Araguatins	92,0	32,2	75,9	28,4	65,9	23,6	57,3	22,0
Dianópolis	88,1	20,3	74,8	12,8	62,5	12,1	53,1	11,9
Formoso do Araguaia	109,1	23,4	90,7	21,3	77,8	21,1	68,2	18,8
Guaraí	122,9	30,8	99,7	24,8	85,9	19,6	75,8	20,6
Miracema do Tocantins	115,2	30,3	93,8	23,7	83,4	18,9	72,4	15,0
Natividade	104,7	31,2	82,0	18,9	69,3	21,1	61,4	20,5
Proj Rio Formoso	107,6	25,5	97,3	25,0	87,1	24,7	77,2	24,7
Tocantinópolis	93,7	25,0	84,5	24,0	76,0	18,7	71,8	21,0
Tupiratins	102,2	20,4	80,0	9,2	66,9	13,2	58,9	15,0

Estação	Duração (Continuação)							
	50		60		120		180	
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
Alvorada	63,3	25,1	56,4	23,0	31,9	11,8	23,1	8,2
Araguatins	49,5	20,2	44,4	19,3	29,4	12,7	21,4	8,8
Dianópolis	45,5	11,1	39,7	10,1	22,3	4,8	16,0	4,0
Formoso do Araguaia	60,5	16,6	54,1	14,1	31,9	9,0	24,0	7,0
Guaraí	65,9	17,9	57,7	15,8	32,4	6,7	23,5	5,2
Miracema do Tocantins	64,7	13,2	58,9	13,1	34,0	7,5	24,0	4,8
Natividade	52,9	18,8	46,7	18,0	28,4	13,3	19,8	9,2
Proj Rio Formoso	68,6	22,4	61,4	21,4	36,2	13,7	25,6	9,7
Tocantinópolis	65,7	17,7	60,6	16,4	36,3	9,4	26,1	6,9
Tupiratins	52,9	13,9	47,6	11,1	29,0	8,0	20,6	5,4

Continua...

Estação	Duração							
	240		360		720		1440	
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
Alvorada	18,3	6,6	13,2	4,9	7,3	2,9	3,8	1,6
Araguatins	16,8	6,8	11,6	4,6	6,5	2,4	3,4	1,2
Dianópolis	12,5	3,3	8,8	2,3	4,8	1,4	2,6	0,8
Formoso do Araguaia	18,7	5,6	13,0	4,0	7,1	1,8	3,9	0,9
Guaraí	18,4	4,8	12,7	3,8	6,7	2,1	3,4	1,1
Miracema do Tocantins	19,5	3,6	13,9	2,4	7,1	1,3	3,7	0,7
Natividade	15,2	7,1	10,7	4,8	6,3	2,1	3,5	1,3
Proj Rio Formoso	20,5	7,8	14,2	5,6	7,5	3,1	3,9	1,6
Tocantinópolis	20,0	5,1	13,9	3,4	7,7	2,0	4,1	1,0
Tupiratins	16,5	4,0	11,7	2,7	6,2	1,7	3,3	1,2

ANEXO II

Precipitação máxima associada aos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos para as séries pluviográficas de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, determinadas pela distribuição Gumbel.

Alvorada		Cód. Estação						
		1249000						
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	18,26	22,67	25,58	28,38	32,00	34,71	40,98	43,68
20	31,79	42,05	48,83	55,34	63,77	70,08	84,68	90,95
30	39,67	51,38	59,14	66,57	76,20	83,41	100,08	107,24
40	45,22	61,60	72,44	82,85	96,31	106,40	129,71	139,74
50	49,31	67,80	80,04	91,78	106,97	118,36	144,67	155,98
60	52,62	72,95	86,40	99,31	116,02	128,54	157,47	169,91
120	59,92	80,78	94,59	107,83	124,98	137,82	167,51	180,27
180	65,26	87,00	101,39	115,20	133,07	146,46	177,41	190,71
240	68,86	92,19	107,64	122,46	141,63	156,01	189,22	203,49
360	74,37	100,35	117,55	134,05	155,41	171,42	208,40	224,30
720	81,88	112,64	133,00	152,53	177,81	196,75	240,53	259,35
1440	84,89	118,83	141,29	162,85	190,74	211,64	259,95	280,72

Araguatins		Cód. Estação						
		548000						
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	14,45	19,19	22,33	25,35	29,24	32,17	38,92	41,82
20	23,75	32,11	37,65	42,96	49,84	54,99	66,90	72,02
30	31,01	41,44	48,34	54,97	63,54	69,96	84,81	91,19
40	35,79	48,75	57,33	65,56	76,22	84,20	102,65	110,59
50	38,49	53,36	63,21	72,66	84,89	94,05	115,22	124,33
60	41,23	58,29	69,58	80,41	94,43	104,94	129,21	139,65
120	54,63	77,07	91,94	106,19	124,64	138,47	170,42	184,16
180	59,86	83,19	98,64	113,46	132,63	147,01	180,22	194,49
240	62,73	86,77	102,68	117,95	137,71	152,52	186,73	201,44
360	65,07	89,46	105,61	121,10	141,14	156,17	190,89	205,82
720	73,27	98,72	115,57	131,73	152,66	168,33	204,56	220,14
1440	76,87	102,32	119,17	135,33	156,26	171,93	208,16	223,74

Dianópolis		Cód. Estação			1146000			
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	14,13	17,12	19,10	21,00	23,45	25,30	29,55	31,38
20	24,23	28,00	30,50	32,89	35,99	38,32	43,68	45,99
30	30,26	35,60	39,14	42,54	46,93	50,23	57,84	61,11
40	34,10	41,11	45,75	50,20	55,96	60,28	70,26	74,55
50	36,40	44,57	49,98	55,17	61,89	66,93	78,57	83,57
60	38,04	46,97	52,88	58,54	65,88	71,38	84,08	89,55
120	43,02	51,51	57,12	62,51	69,49	74,71	86,79	91,98
180	46,03	56,63	63,65	70,39	79,11	85,64	100,73	107,22
240	47,83	59,50	67,22	74,63	84,22	91,40	108,01	115,15
360	50,53	62,73	70,80	78,55	88,57	96,08	113,44	120,91
720	54,84	69,69	79,52	88,94	101,15	110,29	131,43	140,51
1440	59,25	76,21	87,45	98,22	112,17	122,62	146,78	157,16

Formoso do Araguaia		Cód. Estação			1149001			
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	17,54	20,99	23,27	25,46	28,29	30,42	35,32	37,43
20	29,07	35,34	39,50	43,48	48,64	52,50	61,43	65,27
30	37,17	46,49	52,66	58,58	66,25	71,99	85,26	90,97
40	43,41	54,48	61,82	68,85	77,96	84,78	100,54	107,32
50	48,14	60,37	68,46	76,23	86,28	93,81	111,21	118,69
60	51,78	64,24	72,49	80,41	90,65	98,33	116,06	123,69
120	60,84	76,75	87,28	97,38	110,46	120,26	142,90	152,64
180	68,55	87,11	99,40	111,18	126,44	137,87	164,29	175,64
240	71,12	90,92	104,02	116,59	132,87	145,06	173,24	185,35
360	74,06	95,27	109,31	122,78	140,21	153,28	183,47	196,45
720	81,65	100,74	113,38	125,50	141,19	152,95	180,12	191,80
1440	90,05	109,14	121,78	133,90	149,59	161,35	188,52	200,20

	Guaraí		Cód. Estação			848001			
td (min)	Tempo de retorno (anos)								
	2	5	10	20	50	100	500	1000	
10	19,64	24,18	27,18	30,06	33,79	36,58	43,04	45,82	
20	31,88	39,18	44,02	48,66	54,66	59,16	69,56	74,03	
30	41,34	50,00	55,73	61,23	68,35	73,69	86,02	91,32	
40	48,28	60,41	68,45	76,16	86,13	93,61	110,89	118,31	
50	52,47	65,65	74,38	82,75	93,58	101,70	120,47	128,54	
60	55,10	69,07	78,31	87,18	98,66	107,26	127,13	135,68	
120	62,60	74,44	82,28	89,80	99,54	106,83	123,69	130,93	
180	67,94	81,72	90,85	99,61	110,94	119,43	139,05	147,49	
240	70,45	87,41	98,65	109,42	123,37	133,82	157,98	168,36	
360	72,46	92,60	105,94	118,74	135,30	147,71	176,40	188,73	
720	76,26	98,53	113,27	127,42	145,72	159,44	191,14	204,77	
1440	77,26	100,59	116,04	130,86	150,03	164,41	197,62	211,89	

	Miracema do To		Cód. Estação			948000			
td (min)	Tempo de retorno (anos)								
	2	5	10	20	50	100	500	1000	
10	18,37	22,83	25,79	28,62	32,29	35,04	41,39	44,12	
20	29,97	36,95	41,57	46,01	51,75	56,05	65,98	70,26	
30	40,15	48,50	54,03	59,33	66,20	71,34	83,23	88,34	
40	46,62	55,46	61,31	66,92	74,19	79,63	92,21	97,62	
50	52,11	61,83	68,27	74,44	82,43	88,42	102,26	108,21	
60	56,75	68,32	75,99	83,34	92,86	99,99	116,47	123,55	
120	65,54	78,79	87,57	95,99	106,88	115,05	133,92	142,03	
180	69,63	82,36	90,79	98,87	109,33	117,17	135,28	143,07	
240	75,63	88,36	96,79	104,87	115,33	123,17	141,28	149,07	
360	81,03	93,76	102,19	110,27	120,73	128,57	146,68	154,47	
720	82,64	96,42	105,55	114,31	125,64	134,13	153,75	162,19	
1440	86,04	100,89	110,72	120,14	132,35	141,49	162,63	171,71	

Natividade		Cód. Estação			1147001			
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	16,60	21,19	24,23	27,15	30,93	33,76	40,30	43,11
20	26,30	31,87	35,55	39,09	43,66	47,09	55,02	58,43
30	32,92	42,24	48,41	54,33	62,00	67,74	81,01	86,72
40	38,69	50,77	58,76	66,43	76,36	83,80	100,99	108,38
50	41,51	55,35	64,52	73,31	84,69	93,22	112,93	121,40
60	43,74	59,65	70,18	80,28	93,36	103,16	125,80	135,54
120	52,43	75,94	91,50	106,43	125,75	140,23	173,69	188,08
180	54,87	79,26	95,41	110,90	130,94	145,97	180,69	195,62
240	56,14	81,23	97,85	113,79	134,42	149,88	185,60	200,96
360	59,47	84,92	101,77	117,93	138,86	154,53	190,76	206,34
720	71,46	93,73	108,47	122,62	140,92	154,64	186,34	199,97
1440	78,88	106,45	124,70	142,21	164,88	181,86	221,11	237,98

Proj. Rio Formoso		Cód. Estação			1249002			
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	17,24	20,99	23,48	25,86	28,95	31,26	36,61	38,91
20	31,06	38,43	43,30	47,98	54,04	58,57	69,05	73,56
30	41,52	52,44	59,66	66,59	75,56	82,29	97,82	104,50
40	48,76	63,31	72,95	82,19	94,15	103,12	123,83	132,74
50	54,10	70,60	81,52	91,99	105,55	115,72	139,20	149,29
60	57,89	76,80	89,32	101,33	116,87	128,52	155,44	167,02
120	67,90	92,11	108,14	123,52	143,43	158,34	192,81	207,63
180	72,02	97,74	114,76	131,09	152,23	168,07	204,68	220,42
240	76,88	104,45	122,70	140,21	162,88	179,86	219,11	235,98
360	79,68	109,37	129,03	147,89	172,30	190,59	232,86	251,03
720	83,89	116,76	138,53	159,41	186,43	206,68	253,48	273,60
1440	87,29	121,23	143,69	165,25	193,14	214,04	262,35	283,12

Tocantinópolis		Cód. Estação			647000			
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	14,93	18,61	21,05	23,39	26,42	28,69	33,93	36,18
20	26,85	33,92	38,60	43,09	48,90	53,26	63,32	67,65
30	36,46	44,73	50,20	55,44	62,24	67,33	79,09	84,15
40	45,57	57,94	66,13	73,99	84,16	91,78	109,39	116,96
50	52,33	65,36	73,99	82,27	92,99	101,01	119,57	127,55
60	57,91	72,40	81,99	91,20	103,11	112,04	132,67	141,54
120	69,51	86,13	97,13	107,68	121,33	131,57	155,22	165,38
180	74,90	93,19	105,30	116,92	131,96	143,23	169,27	180,46
240	76,65	94,68	106,61	118,06	132,88	143,99	169,65	180,68
360	80,05	98,08	110,01	121,46	136,28	147,39	173,05	184,08
720	88,46	109,67	123,71	137,18	154,61	167,68	197,87	210,85
1440	94,46	115,67	129,71	143,18	160,61	173,68	203,87	216,85

Tupiratins		Cód. Estação			848003			
td (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	20	50	100	500	1000
10	16,47	19,48	21,47	23,38	25,85	27,70	31,97	33,81
20	26,16	28,87	30,67	32,39	34,62	36,29	40,14	41,80
30	32,37	38,20	42,06	45,76	50,56	54,15	62,45	66,02
40	37,62	46,46	52,31	57,92	65,19	70,63	83,21	88,62
50	42,18	52,42	59,19	65,70	74,11	80,42	94,99	101,25
60	45,78	55,59	62,08	68,31	76,37	82,42	96,38	102,38
120	55,37	69,51	78,87	87,85	99,48	108,19	128,31	136,97
180	59,14	73,46	82,93	92,03	103,79	112,61	132,99	141,75
240	63,37	77,51	86,87	95,85	107,48	116,19	136,31	144,97
360	67,54	81,86	91,33	100,43	112,19	121,01	141,39	150,15
720	71,05	89,08	101,01	112,46	127,28	138,39	164,05	175,08
1440	74,47	99,92	116,77	132,93	153,86	169,53	205,76	221,34

ANEXO III

Relação entre alturas pluviométricas (constantes de desagregação) para chuvas intensas com duração de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos associadas aos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 e 1000 anos.

Alvorada (Cód. Estação: 1249000)									
Constantes	Tempo de Retorno								MÉDIA
	2	5	10	20	50	100	500	1000	
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,94
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,88	0,84	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,83
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,72	0,75
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,77	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,68	0,71
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,71	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,66
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
h50 _{min} /h60 _{min}	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
h40 _{min} /h60 _{min}	0,86	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,84
h30 _{min} /h60 _{min}	0,75	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,67
h20 _{min} /h30 _{min}	0,80	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,83
h10 _{min} /h30 _{min}	0,46	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,43
Araguatins (Cód. Estação: 548000)									
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,85	0,87	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,89
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,82	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,87
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,78	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,87	0,84
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,71	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,82	0,78
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,54	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,62	0,59
h50 _{min} /h60 _{min}	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,90
h40 _{min} /h60 _{min}	0,87	0,84	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,79	0,82
h30 _{min} /h60 _{min}	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,69
h20 _{min} /h30 _{min}	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,79	0,78
h10 _{min} /h30 _{min}	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Dianópolis (Cód. Estação: 1146000)									
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,93	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,91
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,85	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,77	0,80
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,81	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,76
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,78	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,72
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,73	0,68	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,59	0,64
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,64	0,62	0,60	0,60	0,59	0,58	0,57	0,57	0,60
h50 _{min} /h60 _{min}	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,94
h40 _{min} /h60 _{min}	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,86
h30 _{min} /h60 _{min}	0,80	0,76	0,74	0,73	0,71	0,70	0,69	0,68	0,73
h20 _{min} /h30 _{min}	0,80	0,79	0,78	0,77	0,77	0,76	0,76	0,75	0,77
h10 _{min} /h30 _{min}	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,49

Formoso do Araguaia (Cód. Estação: 1149001)									
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,94
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,82	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,97	0,98	0,92
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,79	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93	0,87
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,76	0,80	0,82	0,83	0,85	0,85	0,87	0,88	0,83
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,73
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,58	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62	0,62	0,60
h50 _{min} /h60 _{min}	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95
h40 _{min} /h60 _{min}	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,86
h30 _{min} /h60 _{min}	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,74	0,73
h20 _{min} /h30 _{min}	0,78	0,76	0,75	0,74	0,73	0,73	0,72	0,72	0,74
h10 _{min} /h30 _{min}	0,47	0,45	0,44	0,43	0,43	0,42	0,41	0,41	0,43
Guaraí (Cód. Estação: 848001)									
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,94	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,91
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,91	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,80	0,79	0,84
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,88	0,81	0,78	0,76	0,74	0,73	0,70	0,70	0,76
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,81	0,74	0,71	0,69	0,66	0,65	0,63	0,62	0,69
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,71	0,69	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,64	0,67
h50 _{min} /h60 _{min}	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
h40 _{min} /h60 _{min}	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
h30 _{min} /h60 _{min}	0,75	0,72	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,70
h20 _{min} /h30 _{min}	0,77	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,81	0,81	0,80
h10 _{min} /h30 _{min}	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,49
Miracema do Tocantins (Cód. Estação: 948000)									
h1440 _{min} /h _{día}	0,95	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80	0,86
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,95
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,92
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,80
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,66	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,70
h50 _{min} /h60 _{min}	0,92	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88	0,89
h40 _{min} /h60 _{min}	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,80
h30 _{min} /h60 _{min}	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
h20 _{min} /h30 _{min}	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,78

Natividade (Cód. Estação: 1147001)									
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,91	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,86
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,75	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,83
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,71	0,76	0,78	0,80	0,82	0,82	0,84	0,84	0,80
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,70	0,74	0,77	0,78	0,79	0,80	0,82	0,82	0,78
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,66	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,79	0,79	0,75
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56
h50 _{min} /h60 _{min}	0,95	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,91
h40 _{min} /h60 _{min}	0,88	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,83
h30 _{min} /h60 _{min}	0,75	0,71	0,69	0,68	0,66	0,66	0,64	0,64	0,68
h20 _{min} /h30 _{min}	0,80	0,75	0,73	0,72	0,70	0,70	0,68	0,67	0,72
h10 _{min} /h30 _{min}	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Projeto Rio Formoso (Cód. Estação: 1147001)									
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,85
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,83	0,81	0,80	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,79
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,78	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73	0,73	0,75
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,66	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,59	0,59	0,61
h50 _{min} /h60 _{min}	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,91
h40 _{min} /h60 _{min}	0,84	0,82	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79	0,81
h30 _{min} /h60 _{min}	0,72	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,66
h20 _{min} /h30 _{min}	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,72
h10 _{min} /h30 _{min}	0,42	0,40	0,39	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,39
Tocantinópolis (Cód. Estação: 647000)									
h720 _{min} /h1440 _{min}	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96
h360 _{min} /h1440 _{min}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
h240 _{min} /h1440 _{min}	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82
h180 _{min} /h1440 _{min}	0,79	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,82
h120 _{min} /h1440 _{min}	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75
h60 _{min} /h1440 _{min}	0,61	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,64
h50 _{min} /h60 _{min}	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
h40 _{min} /h60 _{min}	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,81
h30 _{min} /h60 _{min}	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,60	0,60	0,59	0,61
h20 _{min} /h30 _{min}	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,78
h10 _{min} /h30 _{min}	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,42

ANEXO IV

Localização e precipitação média máxima diária anual para 95 estações pluviométricas no Tocantins e entorno

Estação	Lat	Lon	Pdia (mm)	D. Padrão
Piraquê	-6,67222	-48,4703	94,9	21,4
Fazenda Caicara	-6,81528	-50,5389	93,3	40,9
Rondon do Pará	-4,80361	-48,0689	106,2	30,3
Fazenda Surubim	-6,42778	-49,4197	97,1	26,4
Xambioá	-6,41306	-48,5333	97,4	28,5
Ananás	-6,36389	-48,0725	92,0	22,3
Tocantinópolis	-6,28861	-47,3919	100,7	25,5
Araguatins	-5,64833	-48,125	96,6	27,6
Buritirama	-5,59444	-47,0192	95,7	30,5
Wanderlândia	-6,83917	-47,9706	87,1	22,6
São Félix das Balas	-7,08139	-44,8125	79,5	20,3
Muricilândia	-7,15444	-48,6031	100,6	22,2
Morro vermelho	-7,15778	-46,5544	80,4	25,0
Carolina	-7,32306	-47,4644	97,1	29,0
Dianópolis	-11,6253	-46,8106	79,3	18,2
Boa Vista do Araguaia	-7,32306	-49,2242	99,0	25,3
Balsas	-7,52333	-46,0339	100,0	28,6
Faz. Primavera	-7,56056	-48,4228	99,3	29,3
Arapoema	-7,65528	-49,065	93,6	24,6
Goiatins	-7,71472	-47,315	84,3	17,2
Palmeirante	-7,85944	-47,9289	90,0	21,8
Brejo comprido	-7,92861	-45,9886	94,2	28,7
Campos lindos	-7,97111	-46,8064	90,9	29,1
Redenção	-8,04389	-50,0006	100,4	25,8
Gurupi	-11,7372	-49,1361	83,9	21,8
Colinas-TO	-8,05278	-48,4817	100,1	31,6
Itacajá	-8,39167	-47,7628	94,0	26,0
Tupiratins	-8,39917	-48,1303	103,1	34,5
Itaporã-TO	-8,57389	-48,6903	88,9	18,8
Araguacema	-8,80222	-49,5556	80,3	13,4
Boa Vista	-8,81278	-46,0781	83,0	23,1
Guaraí	-8,83194	-48,8172	86,8	20,0
Alto Parnaíba-MA	-9,11306	-45,9261	86,3	26,8
Bar. do Campo-PA	-9,2275	-50,2108	76,4	23,6
Dois Irmãos-TO	-9,25722	-49,0642	93,5	21,5
Porto Real	-9,30694	-47,9292	89,3	19,2
Mansinha	-9,4575	-47,3269	101,1	27,6
Miracema-TO	-9,56417	-48,3875	93,1	22,6
Lizarda	-9,59722	-46,6728	87,6	25,7
Abreulândia	-9,62444	-49,1553	96,5	28,6

Continua...

Novo acordo	-9,96056	-47,6747	92,0	25,5
Cangussu	-9,97028	-49,9936	73,8	21,5
Vila rica	-10,0189	-51,1228	92,1	22,6
Paraíso-TO	-10,1653	-48,3989	98,1	21,9
Taquarussu	-10,3133	-48,1625	94,2	21,7
Ponte alta	-10,7508	-47,5361	86,0	54,4
Fátima	-10,7636	-48,9022	92,1	21,6
Porto Gilândia	-10,7553	-47,7647	82,1	24,4
Faz Bom Jardim	-10,9925	-45,5267	75,3	24,1
Formosa do Rio preto	-11,0475	-45,2019	78,9	21,5
Pindorama-TO	-11,1403	-47,5767	81,4	22,5
Luciara	-11,2192	-50,6686	96,8	40,2
Dueré	-11,3389	-49,2653	108,2	36,5
Espigão	-11,3933	-52,235	89,5	28,8
Faz lobeira	-11,5314	-48,2947	92,3	21,0
Porto alegre	-11,61	-47,045	80,9	24,6
Bate papo	-11,6747	-51,3764	88,3	23,1
Natividade	-11,6969	-47,7283	93,2	21,8
Formoso Araguaçu	-11,7972	-49,525	92,5	19,8
Projeto Rio Formoso	-11,8394	-49,7717	93,5	21,1
Nova vida	-11,8525	-47,1222	78,3	27,1
Ponte serafim	-11,8961	-45,6119	78,5	36,2
Barreira do Pequi	-12,0986	-49,9475	97,8	25,8
Fazenda Johá	-12,1256	-45,6442	79,2	19,6
Fazenda redenção	-12,1347	-45,1042	77,7	20,0
Conceição-TO	-12,2325	-47,3244	78,5	29,1
Santo Antônio	-12,2903	-50,9656	94,0	25,9
Colonha	-12,3875	-48,5442	85,4	21,4
Rio da palma	-12,4156	-47,1997	71,8	16,5
Alvorada	-12,4836	-49,1244	89,2	27,7
Faz. Sta Rita	-12,585	-47,4867	72,9	19,4
Roda velha	-12,7653	-45,9439	81,4	18,6
Araguaçu	-12,9311	-49,8294	92,6	17,4
Campos belos	-13,0367	-46,7769	82,2	19,0
Palmeirópolis	-13,0419	-48,4069	85,4	22,8
Novo planalto	-13,2447	-49,5017	93,5	28,1
São domingos	-13,3975	-46,3158	66,9	17,0
Ponte Paranã	-13,4253	-47,1392	73,3	18,8
Trombas	-13,5128	-48,745	87,0	24,8
Faz. Ingazeiro	-13,6858	-46,5656	74,1	23,1
Nova Roma	-13,7425	-46,8775	75,6	20,0
Fazenda planalto	-13,7519	-46,14	78,4	27,0
Cavalcante	-13,7969	-47,4617	88,7	21,4
Alto paraíso	-14,0347	-47,5117	70,1	15,7
São Sebastião	-5,25972	-48,2069	97,6	16,7
Santa Elisa	-6,79472	-49,5486	89,9	24,7
Recursos	-7,33139	-46,3075	83,5	20,1

Continua...

Colônia	-7,87778	-48,8786	99,9	28,1
Inhumas-MA	-8,82111	-45,9681	81,6	19,0
Jatobá	-9,99056	-47,4786	96,4	31,4
Pium	-10,4411	-49,1792	99,6	27,3
Almas	-11,5789	-47,1739	86,5	19,3
São Félix do Araguaia	-11,6197	-50,6625	104,0	31,4
Aurora-TO	-12,7139	-46,4086	80,6	25,4
Entroncamento	-13,1028	-49,2014	90,4	24,6

ANEXO IV

Grau de dependência espacial (GD), efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), alcance (A) e erro médio percentual absoluto (EMPA) para os modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano para os tempos de retorno 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos. Apresenta-se em negrito o modelo escolhido.

TR = 5 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C_0	C_1	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	66,00	0,11	0,22	551,04	7,08
	Exponencial	76,82	0,08	0,27	690,90	7,21
	Gaussiano	56,64	0,15	0,19	468,23	6,97
h720'	Esférico	66,20	0,39	0,77	548,85	7,07
	Exponencial	76,91	0,28	0,94	694,80	7,21
	Gaussiano	56,83	0,50	0,66	466,18	6,97
h360'	Esférico	66,02	1,34	2,61	553,85	7,07
	Exponencial	76,85	0,96	3,20	694,80	7,21
	Gaussiano	56,77	1,71	2,25	466,18	6,97
h240'	Esférico	66,01	2,73	5,30	553,85	7,07
	Exponencial	76,85	1,96	6,50	694,80	7,21
	Gaussiano	56,76	3,48	4,56	466,18	6,97
h180'	Esférico	66,04	4,39	8,54	553,85	7,07
	Exponencial	76,87	3,15	10,47	694,80	7,21
	Gaussiano	56,79	5,59	7,34	466,18	6,97
h120'	Esférico	66,14	8,47	16,55	548,85	7,07
	Exponencial	76,86	6,11	20,30	694,80	7,21
	Gaussiano	56,77	10,84	14,24	466,18	6,97
h60'	Esférico	66,14	24,21	47,29	548,85	7,07
	Exponencial	76,86	17,47	58,02	694,80	7,21
	Gaussiano	56,77	30,99	40,71	466,18	6,97
h50'	Esférico	66,02	29,99	58,28	553,85	7,07
	Exponencial	76,86	21,52	71,47	694,80	7,21
	Gaussiano	56,77	38,18	50,14	466,18	6,97
h40'	Esférico	66,03	38,13	74,10	553,85	7,07
	Exponencial	76,86	27,36	90,87	694,80	7,21
	Gaussiano	56,78	48,54	63,76	466,18	6,97
h30'	Esférico	66,14	45,33	88,56	548,85	7,07
	Exponencial	76,86	32,72	108,66	694,80	7,21
	Gaussiano	56,77	58,04	76,23	466,18	6,97
h20'	Esférico	66,01	59,58	115,73	553,85	7,07
	Exponencial	76,85	42,75	141,94	694,80	7,21
	Gaussiano	56,77	75,84	99,58	466,18	6,97
h10'	Esférico	66,02	87,30	169,63	553,85	7,07
	Exponencial	76,86	62,64	208,04	694,80	7,21
	Gaussiano	56,77	111,13	145,96	466,18	6,97

Continua...

TR = 10 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C ₀	C ₁	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	54,05	0,23	0,27	537,98	8,11
	Exponencial	63,02	0,20	0,34	777,63	8,23
	Gaussiano	46,43	0,27	0,23	456,23	7,98
h720'	Esférico	54,11	0,80	0,94	537,77	8,10
	Exponencial	62,91	0,70	1,18	795,34	8,22
	Gaussiano	46,51	0,93	0,81	455,37	7,98
h360'	Esférico	54,17	2,71	3,20	535,41	8,10
	Exponencial	63,12	2,34	4,01	773,26	8,22
	Gaussiano	46,53	3,17	2,76	454,22	7,98
h240'	Esférico	54,20	5,50	6,51	535,22	8,10
	Exponencial	62,96	4,80	8,16	790,88	8,22
	Gaussiano	46,57	6,43	5,60	453,38	7,98
h180'	Esférico	54,20	8,85	10,47	535,34	8,10
	Exponencial	63,06	7,68	13,12	782,02	8,22
	Gaussiano	46,57	10,34	9,01	453,82	7,98
h120'	Esférico	54,17	17,18	20,30	535,22	8,10
	Exponencial	62,94	14,99	25,46	790,88	8,22
	Gaussiano	46,55	20,06	17,47	453,38	7,98
h60'	Esférico	54,18	49,08	58,04	535,22	8,10
	Exponencial	62,95	42,84	72,78	790,88	8,22
	Gaussiano	46,56	57,34	49,95	453,38	7,98
h50'	Esférico	54,18	60,45	71,48	535,22	8,10
	Exponencial	62,95	52,76	89,64	790,88	8,22
	Gaussiano	46,56	70,61	61,52	453,38	7,98
h40'	Esférico	54,18	76,86	90,89	535,22	8,10
	Exponencial	62,95	67,09	113,98	790,88	8,22
	Gaussiano	46,56	89,79	78,22	453,38	7,98
h30'	Esférico	54,19	91,91	108,71	535,22	8,10
	Exponencial	62,96	80,21	136,33	790,88	8,22
	Gaussiano	46,56	107,37	93,56	453,38	7,98
h20'	Esférico	54,19	120,07	142,02	535,22	8,10
	Exponencial	62,95	104,80	178,09	790,88	8,22
	Gaussiano	46,56	140,27	122,22	453,38	7,98
h10'	Esférico	54,18	175,98	208,10	535,22	8,10
	Exponencial	62,95	153,59	260,97	790,88	8,22
	Gaussiano	46,56	205,57	179,10	453,38	7,98

Continua...

TR = 20 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C ₀	C ₁	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	45,67	0,37	0,31	441,36	9,05
	Exponencial	55,38	0,32	0,40	533,23	9,18
	Gaussiano	38,87	0,43	0,27	396,62	8,97
h720'	Esférico	45,68	1,30	1,09	441,64	9,05
	Exponencial	55,21	1,12	1,38	548,46	9,17
	Gaussiano	38,88	1,48	0,94	396,30	8,97
h360'	Esférico	45,64	4,43	3,72	441,64	9,05
	Exponencial	55,17	3,80	4,68	548,46	9,17
	Gaussiano	38,85	5,03	3,20	396,30	8,97
h240'	Esférico	45,65	8,99	7,55	441,64	9,05
	Exponencial	55,18	7,72	9,50	548,46	9,17
	Gaussiano	38,86	10,22	6,50	396,30	8,97
h180'	Esférico	45,65	14,46	12,14	441,64	9,05
	Exponencial	55,18	12,41	15,28	548,46	9,17
	Gaussiano	38,86	16,44	10,45	396,30	8,97
h120'	Esférico	45,65	28,05	23,56	441,64	9,05
	Exponencial	55,17	24,09	29,65	548,46	9,17
	Gaussiano	38,85	31,90	20,27	396,30	8,97
h60'	Esférico	45,65	80,17	67,33	441,64	9,05
	Exponencial	55,17	68,85	84,73	548,46	9,17
	Gaussiano	38,86	91,17	57,94	396,30	8,97
h50'	Esférico	45,64	98,76	82,93	441,64	9,05
	Exponencial	55,17	84,81	104,37	548,46	9,17
	Gaussiano	38,85	112,31	71,36	396,30	8,97
h40'	Esférico	45,65	125,56	105,45	441,64	9,05
	Exponencial	55,17	107,82	132,70	548,46	9,17
	Gaussiano	38,85	142,79	90,74	396,30	8,97
h30'	Esférico	45,65	150,13	126,09	441,64	9,05
	Exponencial	55,17	128,92	158,68	548,46	9,17
	Gaussiano	38,86	170,74	108,50	396,30	8,97
h20'	Esférico	45,65	196,14	164,75	441,64	9,05
	Exponencial	55,18	168,42	207,34	548,46	9,17
	Gaussiano	38,86	223,06	141,77	396,30	8,97
h10'	Esférico	45,65	287,48	241,42	441,64	9,05
	Exponencial	55,17	246,87	303,83	548,46	9,17
	Gaussiano	38,85	326,93	207,74	396,30	8,97

Continua...

TR = 30 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C ₀	C ₁	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	42,19	0,48	0,35	418,75	9,51
	Exponencial	50,70	0,43	0,44	536,25	9,62
	Gaussiano	35,69	0,54	0,30	379,31	9,45
h720'	Esférico	42,13	1,67	1,21	420,12	9,51
	Exponencial	50,71	1,48	1,52	533,23	9,62
	Gaussiano	35,65	1,87	1,04	380,65	9,45
h360'	Esférico	42,08	5,68	4,13	420,12	9,51
	Exponencial	50,67	5,03	5,17	533,23	9,62
	Gaussiano	35,61	6,38	3,53	380,65	9,45
h240'	Esférico	42,06	11,54	8,38	420,12	9,51
	Exponencial	50,63	10,23	10,49	533,23	9,62
	Gaussiano	35,59	12,97	7,16	380,65	9,46
h180'	Esférico	42,07	18,57	13,48	420,12	9,51
	Exponencial	50,65	16,46	16,89	533,23	9,62
	Gaussiano	35,60	20,85	11,53	380,65	9,46
h120'	Esférico	42,08	36,01	26,16	420,12	9,51
	Exponencial	50,66	31,91	32,77	533,23	9,62
	Gaussiano	35,61	40,45	22,37	380,65	9,46
h60'	Esférico	42,08	102,93	74,76	420,12	9,51
	Exponencial	50,66	91,22	93,64	533,23	9,62
	Gaussiano	35,60	115,61	63,92	380,65	9,46
h50'	Esférico	42,08	126,78	92,11	420,12	9,51
	Exponencial	50,66	112,35	115,36	533,23	9,62
	Gaussiano	35,61	142,40	78,75	380,65	9,46
h40'	Esférico	42,08	161,18	117,11	420,12	9,51
	Exponencial	50,66	142,84	146,67	533,23	9,62
	Gaussiano	35,61	181,05	100,12	380,65	9,46
h30'	Esférico	42,08	161,18	117,11	420,12	9,51
	Exponencial	50,66	170,81	175,40	533,23	9,62
	Gaussiano	35,61	216,50	119,74	380,65	9,46
h20'	Esférico	42,08	251,84	182,95	420,12	9,51
	Exponencial	50,66	223,19	229,15	533,23	9,62
	Gaussiano	35,61	282,88	156,42	380,65	9,46
h10'	Esférico	42,08	369,06	268,11	420,12	9,51
	Exponencial	50,66	327,06	335,81	533,23	9,62
	Gaussiano	35,61	414,54	229,23	380,65	9,46

Continua...

TR = 50 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C ₀	C ₁	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	38,33	0,64	0,40	401,84	10,02
	Exponencial	45,56	0,59	0,49	536,25	10,11
	Gaussiano	32,30	0,70	0,34	363,99	9,99
h720'	Esférico	38,47	2,21	1,38	402,42	10,03
	Exponencial	45,67	2,03	1,71	542,32	10,11
	Gaussiano	32,42	2,44	1,17	364,32	9,99
h360'	Esférico	38,40	7,52	4,69	402,42	10,03
	Exponencial	45,59	6,93	5,80	542,32	10,12
	Gaussiano	32,36	8,32	3,98	364,32	9,99
h240'	Esférico	38,40	15,27	9,52	402,42	10,03
	Exponencial	45,59	14,07	11,79	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	16,91	8,09	364,32	9,99
h180'	Esférico	38,41	24,57	15,32	402,42	10,03
	Exponencial	45,59	22,64	18,97	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	27,20	13,02	364,32	10,00
h120'	Esférico	38,41	47,65	29,72	402,42	10,03
	Exponencial	45,59	43,91	36,80	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	52,77	25,26	364,32	10,00
h60'	Esférico	38,41	136,20	84,94	402,42	10,03
	Exponencial	45,60	125,50	105,19	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	150,82	72,19	364,32	10,00
h50'	Esférico	38,40	167,80	104,62	402,42	10,03
	Exponencial	45,59	154,63	129,55	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	185,81	88,91	364,32	10,00
h40'	Esférico	38,41	213,32	133,01	402,42	10,03
	Exponencial	45,59	196,57	164,72	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	236,21	113,05	364,32	10,00
h30'	Esférico	38,41	255,10	159,06	402,42	10,03
	Exponencial	45,59	235,07	196,97	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	282,47	135,18	364,32	10,00
h20'	Esférico	38,41	333,26	207,83	402,42	10,03
	Exponencial	45,60	307,09	257,37	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	369,03	176,63	364,32	10,00
h10'	Esférico	38,41	488,43	304,55	402,42	10,03
	Exponencial	45,60	450,08	377,15	542,32	10,12
	Gaussiano	32,37	540,84	258,84	364,32	10,00

Continua...

TR = 100 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C ₀	C ₁	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	34,36	0,89	0,46	388,29	10,66
	Exponencial	40,17	0,84	0,56	530,24	10,72
	Gaussiano	28,91	0,97	0,39	349,03	10,61
h720'	Esférico	34,44	3,08	1,62	388,29	10,66
	Exponencial	40,26	2,91	1,96	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	3,35	1,37	349,03	10,61
h360'	Esférico	34,46	10,47	5,51	388,29	10,66
	Exponencial	40,29	9,90	6,68	530,24	10,72
	Gaussiano	29,00	11,42	4,66	349,03	10,61
h240'	Esférico	34,45	21,28	11,18	388,29	10,66
	Exponencial	40,28	20,12	13,57	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	23,19	9,47	349,03	10,61
h180'	Esférico	34,45	34,24	17,99	388,29	10,66
	Exponencial	40,28	32,37	21,83	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	37,32	15,24	349,03	10,61
h120'	Esférico	34,46	66,40	34,91	388,29	10,66
	Exponencial	40,29	62,78	42,36	530,24	10,72
	Gaussiano	29,00	72,38	29,56	349,03	10,61
h60'	Esférico	34,44	189,84	99,74	388,29	10,66
	Exponencial	40,27	179,49	121,02	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	206,92	84,46	349,03	10,61
h50'	Esférico	34,46	233,76	122,92	388,29	10,66
	Exponencial	40,28	221,06	149,08	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	254,85	104,04	349,03	10,61
h40'	Esférico	34,47	297,19	156,30	388,29	10,66
	Exponencial	40,28	281,04	189,56	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	324,01	132,30	349,03	10,61
h30'	Esférico	34,44	355,51	186,79	388,29	10,66
	Exponencial	40,27	336,13	226,65	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	387,50	158,18	349,03	10,61
h20'	Esférico	34,46	464,30	244,16	388,29	10,66
	Exponencial	40,28	439,08	296,12	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	506,20	206,66	349,03	10,61
h10'	Esférico	34,45	680,60	357,64	388,29	10,66
	Exponencial	40,28	643,50	433,96	530,24	10,72
	Gaussiano	28,99	741,86	302,86	349,03	10,61

Continua...

TR = 500 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C ₀	C ₁	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	29,62	1,62	0,68	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	1,53	0,84	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	1,75	0,58	341,45	11,75
h720'	Esférico	29,61	5,63	2,37	373,74	11,82
	Exponencial	35,37	5,30	2,90	468,46	11,87
	Gaussiano	24,85	6,06	2,00	341,45	11,75
h360'	Esférico	29,61	19,17	8,06	373,74	11,82
	Exponencial	35,37	18,06	9,88	468,46	11,87
	Gaussiano	24,85	20,62	6,82	341,45	11,75
h240'	Esférico	29,62	38,93	16,39	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	36,67	20,08	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	41,88	13,85	341,45	11,75
h180'	Esférico	29,61	62,64	26,35	373,74	11,82
	Exponencial	35,37	59,00	32,28	468,46	11,87
	Gaussiano	24,85	67,37	22,27	341,45	11,75
h120'	Esférico	29,62	121,50	51,13	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	114,44	62,66	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	130,69	43,23	341,45	11,75
h60'	Esférico	29,62	347,27	146,17	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	327,10	179,12	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	373,53	123,58	341,45	11,75
h50'	Esférico	29,62	427,77	180,04	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	402,91	220,62	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	460,11	152,21	341,45	11,75
h40'	Esférico	29,62	543,86	228,91	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	512,26	280,50	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	584,98	193,53	341,45	11,75
h30'	Esférico	29,62	650,38	273,71	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	612,60	335,39	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	699,56	231,40	341,45	11,75
h20'	Esférico	29,62	849,68	357,59	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	800,33	438,18	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	913,93	302,31	341,45	11,75
h10'	Esférico	29,62	1245,25	524,07	373,74	11,82
	Exponencial	35,38	1172,92	642,18	468,46	11,87
	Gaussiano	24,86	1339,41	443,06	341,45	11,75

Continua...

TR = 1000 Anos						
Duração	Modelo	GD (%)	C ₀	C ₁	Alcance (Km)	EMPA (%)
h1440'	Esférico	28,11	2,01	0,79	369,12	12,21
	Exponencial	33,42	1,91	0,96	458,02	12,26
	Gaussiano	23,51	2,15	0,66	337,58	12,13
h720'	Esférico	28,14	6,98	2,73	368,99	12,22
	Exponencial	33,24	6,65	3,31	473,76	12,26
	Gaussiano	23,55	7,47	2,30	336,94	12,14
h360'	Esférico	28,12	23,76	9,30	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	22,65	11,27	473,76	12,26
	Gaussiano	23,54	25,44	7,83	336,94	12,14
h240'	Esférico	28,12	48,25	18,88	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	45,99	22,89	473,76	12,26
	Gaussiano	23,54	51,67	15,91	336,94	12,14
h180'	Esférico	28,13	77,61	30,38	369,12	12,22
	Exponencial	33,45	73,53	36,95	458,02	12,26
	Gaussiano	23,53	83,15	25,59	337,58	12,14
h120'	Esférico	28,13	150,58	58,92	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	143,52	71,42	473,76	12,26
	Gaussiano	23,54	161,26	49,65	336,94	12,14
h60'	Esférico	28,13	430,39	168,46	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	410,21	204,18	473,76	12,26
	Gaussiano	23,55	460,92	141,95	336,94	12,14
h50'	Esférico	28,13	530,14	207,50	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	505,30	251,50	473,76	12,26
	Gaussiano	23,55	567,75	174,85	336,94	12,14
h40'	Esférico	28,13	674,01	263,80	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	642,42	319,75	473,76	12,26
	Gaussiano	23,54	721,82	222,29	336,94	12,14
h30'	Esférico	28,13	806,04	315,50	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	768,26	382,42	473,76	12,26
	Gaussiano	23,55	863,22	265,85	336,94	12,14
h20'	Esférico	28,13	1053,02	412,15	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	1003,66	499,56	473,76	12,26
	Gaussiano	23,54	1127,71	347,29	336,94	12,14
h10'	Esférico	28,13	1543,22	604,05	368,99	12,22
	Exponencial	33,23	1470,88	732,16	473,76	12,26
	Gaussiano	23,55	1652,68	508,99	336,94	12,14

ANEXO VI

Localização das estações pluviométricas utilizadas neste estudo e a estimativa da Precipitação Máxima Provável (PMP)

ESTACAO	Latitude	Longitude	PMP
PIRAQUE	-6,67	-48,47	466,69
FAZENDA CAICARA	-6,82	-50,54	677,38
RONDON DO PARA	-4,80	-48,07	590,12
FAZENDA SURUBIM	-6,43	-49,42	452,87
XAMBIOA	-6,41	-48,53	408,40
ANANAS	-6,36	-48,07	388,34
TOCANTINOPOLIS	-6,29	-47,39	469,42
ARAGUATINS	-5,65	-48,13	556,18
BURITIRAMA	-5,59	-47,02	511,04
WANDERLANDIA	-6,84	-47,97	406,01
SAO FEL.BAL	-7,08	-44,81	372,87
MURICILANDIA	-7,15	-48,60	426,60
MORRO VERMELHO	-7,16	-46,55	513,43
CAROLINA	-7,32	-47,46	549,95
DIANOPOLIS	-11,63	-46,81	366,32
BV DO ARAGUAIA	-7,32	-49,22	515,56
BALSAS	-7,52	-46,03	563,60
FAZ. PRIMAVERA	-7,56	-48,42	556,94
ARAPOEMA	-7,66	-49,07	488,76
GOIATINS	-7,71	-47,32	262,02
PALMEIRANTE	-7,86	-47,93	384,62
BREJO COMPRIDO	-7,93	-45,99	516,67
CAMPOS LINDOS	-7,97	-46,81	571,83
REDENÇÃO	-8,04	-50,00	438,52
GURUPI	-11,74	-49,14	468,43
COLINAS_TO	-8,05	-48,48	330,92
ITACAJA	-8,39	-47,76	450,12
TUPIRATINS	-8,40	-48,13	602,39
ITAPORÃ_TO	-8,57	-48,69	392,26
ARAGUACEMA	-8,80	-49,56	329,29
BOA VISTA	-8,81	-46,08	396,03
GUARAI	-8,83	-48,82	399,51
ALTO PARNAÍBA-MA	-9,11	-45,93	524,49
BAR. DO CAMPO-PA	-9,23	-50,21	360,51
DOIS IRMÃOS_TO	-9,26	-49,06	429,01
PORTO_REAL	-9,31	-47,93	392,42
MANSINHA	-9,46	-47,33	534,66
MIRACEMA_TO	-9,56	-48,39	442,33
LIZARDA_TO	-9,60	-46,67	512,95
ABREULÂNDIA	-9,62	-49,16	584,65
NOVO ACORDO	-9,96	-47,67	480,53
CANGUSSU	-9,97	-49,99	446,37

Continua...

ESTACAO	Latitude	Longitude	PMP
VILA RICA	-10,02	-51,12	506,99
PARAÍSO_TO	-10,17	-48,40	442,15
TAQUARUSSU	-10,31	-48,16	346,66
PONTE ALTA	-10,75	-47,54	328,07
FÁTIMA	-10,76	-48,90	439,35
PORTO GIROLÂNDIA	-10,76	-47,76	479,30
FAZ B. JARDI	-10,99	-45,53	504,77
FORMOSA D RP	-11,05	-45,20	431,16
PINDORAMA-TO	-11,14	-47,58	425,57
LUCIARA	-11,22	-50,67	603,44
DUERE	-11,34	-49,27	445,12
ESPIGÃO	-11,39	-52,24	471,23
FAZ LOBEIRA	-11,53	-48,29	407,13
PORTO ALEGRE	-11,61	-47,05	277,19
BATE PAPO	-11,67	-51,38	464,77
NATIVIDADE	-11,70	-47,73	374,49
FORMOSO ARAGU	-11,80	-49,53	418,05
PROJ.R. FORM	-11,84	-49,77	357,07
NOVA VIDA	-11,85	-47,12	213,60
PONTE SERAFIM	-11,90	-45,61	213,96
BARREIRA DO PEQ	-12,10	-49,95	523,39
FAZENDA JOHÁ	-12,13	-45,64	413,77
FAZENDA REDENÇÃO	-12,13	-45,10	393,10
CONCEIÇÃO-TO	-12,23	-47,32	388,40
SANTO ANTÔNIO	-12,29	-50,97	537,43
COLONHA	-12,39	-48,54	337,07
RIO DA PALMA	-12,42	-47,20	370,95
ALVORADA	-12,48	-49,12	526,16
FAZ. STA RITA	-12,59	-47,49	367,77
RODA VELHA	-12,77	-45,94	389,13
ARAGUAÇU	-12,93	-49,83	370,05
CAMPOS BELOS	-13,04	-46,78	351,42
PALMEIRÓPOLIS	-13,04	-48,41	499,01
NOVO PLANALTO	-13,24	-49,50	492,69
SÃO DOMINGOS	-13,40	-46,32	311,16
PONTE PARANÃ	-13,43	-47,14	363,61
TROMBAS	-13,51	-48,75	480,76
FAZ. INGAZEIRO	-13,69	-46,57	441,97
NOVA ROMA	-13,74	-46,88	410,82
AZENDA PLANALTO	-13,75	-46,14	389,91
CAVALCANTE	-13,80	-47,46	423,61
ALTO PARAÍSO	-14,03	-47,51	312,93
SÃO SEBASTIÃO	-5,26	-48,21	337,29
SANTA ELISA	-6,79	-49,55	422,47
RECURSOS	-7,33	-46,31	423,79
COLÔNIA	-7,88	-48,88	551,36

Continua...

ESTACAO	Latitude	Longitude	PMP
INHUMAS-MA	-8,82	-45,97	412,47
JATOBÁ	-9,99	-47,48	559,23
PIUM	-10,44	-49,18	569,79
ALMAS	-11,58	-47,17	329,56
SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA	-11,62	-50,66	461,03
AURORA-TO	-12,71	-46,41	470,42
ENTRONCAMENTO	-13,10	-49,20	477,40