

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL MÁXIMA
PARA O ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL**

CARLOS PHELIPPE ZOCOLARO NÓIA

DOURADOS

MATO GROSSO DO SUL – BRASIL

2013

**ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL MÁXIMA PARA
O ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL**

CARLOS PHELIPPE ZOCOLARO NÓIA
Engenheiro Agrônomo

ORIENTADOR: PROF. DR. SILVIO BUENO PEREIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL - BRASIL
2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central - UFGD

551.57
N782e Nóia, Carlos Phelippe Zocolaro
Estimativa de precipitação pluvial máxima para o Estado de Mato Grosso do Sul / Carlos Phelippe Zocolaro Nóia. – Dourados, MS : UFGD, 2013.
61f.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Bueno Pereira
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Chuvas – Mato Grosso do Sul. 2. Precipitação pluvial. I. Título.

**ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL MÁXIMA PARA O ESTADO
DE MATO GROSSO DO SUL**

por

Carlos Phelippe Zocolaro Nóia

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 20 / 05 / 2013

Prof. Silvio Bueno Pereira
Orientador – UFV/DEA

Dr. Carlos Ricardo Fietz
Co-orientador – Embrapa CPAO

Dr. Diovany Doffinger Ramos
Membro da Banca – PNP/DEA

Prof. Mauro Aparecido Martinez
Membro da Banca – UFV/DEA

A DEUS

Aos meus pais,

Carlos de Menezes Nóia e Silvia Maria Zocolaro Nóia

Aos meus avós,

Florestina de Menezes Nóia e Daniel Viera Nóia; Dizolina Felipe Zocolaro e Sylvio
Zocolaro

Aos meus irmãos,

Isabelle Zocolaro Nóia e Gabriel Zocolaro Nóia

Dedico

AGRADECIMENTOS

Nada seria possível sem o acompanhamento dos meus pais Carlos de Menezes Nóia e Silvia Maria Zocolaro Nóia, a quem tanto devo o apoio sem medida, aos meus irmãos Isabelle Zocolaro Nóia e Gabriel Zocolaro Nóia, por partilharem da minha caminhada desde o primeiro instante.

A todos os meus familiares, pelas palavras e direcionamento nos mais diversos momentos. Em especial aos meus primos Annelize Nóia Miranda e Odacil da Costa Barbosa Júnior pelo apoio, pelas inúmeras e longas conversas, conselhos e opiniões sempre bem vindas.

À minha namorada Micaella Ferraz, por estar sempre ao meu lado, presente e disposta a todo momento, me apoiando e me dando forças, oferecendo carinho e palavras em tantas ocasiões.

É impossível não citar os meus amigos, uma boa parte de vocês, aqui representados pelo Vinícius Azambuja de Oliveira, a quem devo um agradecimento especial.

Aos colegas de mestrado pela experiência compartilhada.

Ao meu professor e também orientador Silvio Bueno Pereira, pelos conselhos, paciência e ensinamentos ao longo desta caminhada.

À Universidade Federal da Grande Dourados e a Faculdade de Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de estudos.

Ao INMET pela disponibilização de dados pluviográficos.

E a todos, que de maneira direta ou indireta, participaram na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

CARLOS PHELIPPE ZOCOLARO NÓIA nasceu no dia 30 de abril de 1983 na cidade de Dourados no Estado de Mato Grosso do Sul. É filho de Carlos de Menezes Nóia e Silvia Maria Zocolaro Nóia.

No ano de 2006 iniciou os estudos na Universidade Federal da Grande Dourados no curso de Engenharia Agrônômica onde se graduou no primeiro mês de 2010.

Em Março de 2011 iniciou o mestrado na Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, onde defendeu sua dissertação em maio de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
Artigo I.....	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4. CONCLUSÕES	18
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
ANEXO I.....	21
Artigo II	25
1. INTRODUÇÃO	26
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4. CONCLUSÕES	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXO II.....	61

RESUMO

NÓIA, Carlos Phelippe Zocolaro, M. Sc., Universidade Federal da Grande Dourados, maio de 2013. **Estimativa de precipitação pluvial máxima para o Estado de Mato Grosso do Sul**. Orientador: Prof. Silvio Bueno Pereira. Co-orientador: Carlos Ricardo Fietz.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer e atualizar as equações de intensidade, duração e frequência de precipitação pluvial para as regiões de Dourados e de Campo Grande, localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul, com base em uma série histórica suficientemente longa e representativa dos eventos extremos. Para estimativa da precipitação máxima na região de Dourados foram utilizadas duas estações pluviográficas para aquisição dos dados, sendo uma operada pela Embrapa Agropecuária Oeste (CPAO) e outra pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), contemplando o período-base de 1979 a 2010. Para a região de Campo Grande foi utilizada uma estação operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram determinadas as precipitações máximas anuais com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos e ajustadas à distribuição de probabilidade Gumbel. As equações de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial foram ajustadas utilizando-se a técnica de ajuste não linear Gauss Newton, com uso do Software SAEG 9.1. Houve ajuste de todas as séries de intensidade máxima anual à distribuição Gumbel, de acordo com o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, calculou-se os valores de intensidade máxima anual de precipitação pluvial para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, que serviram de base para definir a equação de chuvas intensas para as regiões estudadas. Os resultados obtidos permitiram concluir que a equação proposta (de chuvas intensas para as regiões de Dourados-MS e Campo Grande-MS) pode ser utilizada para o dimensionamento de projetos agrícolas e obras hidráulicas implantados na região.

Devido à carência de informações relativas às equações de precipitação máxima para a maioria das localidades do Estado de Mato Grosso do Sul, bem como de equações que permitam estimativas com precisão, em função do período base disponível, a alternativa para a realização de projetos de obras hidráulicas tem sido utilizar informações de postos meteorológicos mais próximos da localidade na qual o projeto é realizado ou fazer uso de metodologias alternativas, tais como os métodos de desagregação de chuva de 24 horas e de Bell, a partir de dados pluviométricos em função da maior disponibilidade de estações e maior tempo de observações. Com base neste enfoque, desenvolveu-se o segundo trabalho, que teve como objetivos estimar as equações de precipitação pluvial máxima para o Estado de Mato Grosso do Sul por meio do ajuste das metodologias alternativas de desagregação de chuvas de 24 horas e de Bell, em função dos dados obtidos para as estações pluviográficas de Dourados e de Campo Grande, de forma que se possa estimar a intensidade máxima média das chuvas com certa precisão para as localidades que não se tenham estações pluviográficas. Para tanto, foram utilizados dados pluviométricos consistidos de 105 estações disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas. Com base nos resultados obtidos foi possível concluir: as equações de chuvas intensas obtidas por meio da análise de pluviogramas apresentam bons ajustes, com coeficiente de determinação acima de 99%. As metodologias ajustadas para se obter chuvas de diferentes durações a partir da altura de chuva local com duração de 24 horas e período de retorno conhecido apresentaram resultados satisfatórios quando comparados com o método de análise de pluviogramas (método padrão); o método de desagregação de chuva de 24 horas proposto por DAEE/CETESB (1980) tende a subestimar as intensidades máximas de precipitação pluvial no Estado de Mato Grosso do Sul; o método de Bell não se mostrou adequado para uso no Estado de Mato Grosso do Sul, tendo o método alcançado maior erro médio relativo, de maneira geral, tornando-o inviável para sua utilização na obtenção de chuvas de menor duração empregadas na geração da relação intensidade, duração e frequência; as maiores intensidades de precipitação pluvial prevista para o Estado de Mato Grosso do Sul ocorrem na região oeste e as menores nas regiões sul e leste.

Palavras-chave: chuvas intensas, desagregação de chuva, modelo de Bell.

ABSTRACT

NÓIA, Carlos Phelippe Zocolaro, M. Sc., Federal University of Grande Dourados, May 2013. **Estimation of maximum precipitation for the state of Mato Grosso do Sul.** Supervisor: Silvio Bueno Pereira. Co-advisor: Carlos Ricardo Fietz.

The aim of this study was to establish and update the equations of intensity, duration and frequency for rainfall in Dourados and Campo Grande, in the State of Mato Grosso do Sul, based on a time series sufficiently long and representative of extreme events. To estimate the maximum rainfall in the region of Dourados two pluviographic measuring stations were used for data acquisition, one operated by Embrapa (CPAO) and the other by Federal University of Grande Dourados (UFGD), concerning the period from 1979 to 2010. For the region of Campo Grande, the data was obtained via a station operated by the National Institute of Meteorology (INMET). We determined the maximum annual precipitation with lengths of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 and 1440 minutes and adjusted to the Gumbel probability distribution. The equations of intensity, duration and frequency of precipitation were adjusted using the non-linear adjustment technique Gauss Newton using Software SAEG 9.1. All series of annual maximum intensity were adjusted to fit the Gumbel distribution, according to the test Kolmogorov-Smirnov test. Subsequently, we calculated the values of intensity for the maximum annual rainfall for return periods of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years, which served as the basis for defining the rainfall equation for the regions studied. The results showed: the equation proposed (heavy rainfall to regions of Dourados-MS and Campo Grande-MS) can be used for the design of agricultural projects and hydraulic deployed in the region. Due to the lack of information concerning the equations of maximum precipitation for most locations in the State of Mato Grosso do Sul, as well as equations for accurate estimates, based on

the period of time studied, the most viable alternative to perform hydraulic projects has is to use the information available from weather stations in close proximity with the locality in which the project is carried out, or make use of alternative methods, such as methods of disaggregation of rain in 24 hours, as well as Bell's model, from rainfall data due to the greater availability of these stations and longer periods of observations. Based on this approach, we developed the second paper, in which we aimed to estimate the equations of maximum precipitation for the state of Mato Grosso do Sul through the adjustment of the alternative methods of disaggregation of rain in 24 hours and Bell's model, based on the rainfall data obtained at the stations regarding of Dourados-MS and Campo Grande-MS, aiming to achieve an estimate of the average maximum intensity of rainfall, with relative precision, for locations that do not have pluviograph stations. For this, we used rainfall data from 105 stations available in the database of the National Water Agency. Based on the results we can conclude: the equations for heavy rains obtained through the analysis of rainfalls have good results, showing a coefficient of determination above 99%. The methodologies adjusted to obtain different lengths of rainfall from the height of precipitation at the site, lasting 24 hours and with a known return period, demonstrated satisfactory results when compared with the rainfalls analysis method (standard method): - the method of 24 hours precipitation disintegration proposed by DAEE/Cetesb (1980) tends to underestimate the maximum intensities of rainfall in the State of Mato Grosso do Sul; - the Bell method didn't prove itself suitable for usage in the State of Mato Grosso do Sul, since it achieved the highest average relative error, in general, making it impractical for use in obtaining shorter rains to be employed in generating the relative intensity, duration and frequency; - the highest levels of rainfall expected in the State of Mato Grosso do Sul are in the west and lower in regions south and east.

Key words: rainfall, rain disaggregation, Bell's model.

INTRODUÇÃO GERAL

Uma das variáveis meteorológicas mais importantes na realização de estudos climáticos é a precipitação pluvial, devido às consequências que o excesso de chuva podem ocasionar, principalmente em eventos de chuvas intensas. Portanto, o conhecimento das grandezas que caracterizam uma precipitação pluvial máxima, que relaciona intensidade, duração e frequência, apresenta grande interesse de ordem técnica nos projetos de obras hidráulicas.

A precipitação pluvial máxima é aquela que apresenta a máxima lâmina precipitada durante pequeno intervalo de tempo. Na prática, a fixação de um valor para se estabelecer a precipitação pluvial máxima é difícil, uma vez que o impacto pode ser diferente, dependendo do local de incidência, seja em áreas rurais ou urbanas (PINTO, 1999).

A principal forma para caracterização da precipitação pluvial máxima é por meio da equação de intensidade, duração e frequência, sendo este último parâmetro também conhecido como período de retorno. As particularidades de cada região irão definir os valores dessas variáveis. A relação entre esses parâmetros deve ser obtida a partir das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos da região em estudo (BERTONI; TUCCI, 1993).

Em decorrência da grande dificuldade na obtenção dos dados pluviográficos, a maioria dos estudos de precipitação pluvial máxima possui séries históricas inferiores àquela recomendada pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de 30 anos. Entretanto, vários pesquisadores determinaram as equações de chuvas intensas utilizando séries históricas inferiores.

Aron et al. (1987), objetivando determinar curvas regionais de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para o Estado da Pennsylvania (EUA),

utilizaram séries históricas de 10 anos. Button e Ben-Asher (1983) utilizaram séries com oito anos de dados para obtenção da equação para a região de Avdat, Israel.

Pinto (1995), citando Bouvette et al. (1982), realizaram estudos de análise de frequência de chuvas em quatro estações pluviográficas localizadas na região de Houton (EUA). Ao comparar os resultados obtidos com aqueles de estudos anteriores, desenvolvidos para as mesmas estações, constataram mudanças expressivas no comportamento das chuvas intensas no período de 20 anos. Verificaram decréscimos de 13% na altura da chuva de 24 horas, com período de retorno de 100 anos, na estação localizada na cidade de Houton, enquanto, nas estações localizadas externamente à cidade, verificaram acréscimo de 15%.

Outro fato relevante que deve ser ressaltado é a carência de informações relativas às equações de chuvas intensas para a maioria das localidades brasileiras. O Estado de Mato Grosso do Sul é um dos que apresentam uma grande carência de estações pluviográficas, bem como de equações que permitam estimativas com precisão, ou seja, que apresentem uma série histórica conforme recomendação da OMM.

Mediante este fato a alternativa para a realização de projetos de obras hidráulicas tem sido utilizar informações de postos meteorológicos mais próximos da localidade na qual o projeto é realizado (BELTRAME et al., 1991). Este procedimento, entretanto, pode levar a estimativas pouco confiáveis (SILVA et al., 2003).

Os trabalhos desenvolvidos até o presente momento frisam a impossibilidade de transferência de equações de uma região para outra, sendo necessária a obtenção da equação para as diferentes regiões do Brasil (GARCIA, 2010; SILVA et al., 2003).

Algumas metodologias foram desenvolvidas no Brasil para a obtenção de chuvas de menor duração a partir de registros pluviométricos diários, devido existir uma vasta rede pluviométrica instalada, principalmente para atender ao setor de geração de energia elétrica. O método se dá pelo emprego de coeficientes multiplicativos, dentre as quais estão a das isozomas e da desagregação de chuva de 24 horas (OLIVEIRA et al., 2005).

Outra metodologia para obtenção de chuvas de menor duração a partir de registros pluviométricos é o método de Bell (1969). Este desenvolveu, com base em precipitações medidas em vários continentes, equações generalizadas que relacionam a intensidade, duração e frequência da precipitação. Tais equações baseiam-se na análise

da relação entre altura e duração da chuva para um determinado período de retorno e na relação entre altura e frequência para uma determinada duração.

Genovez e Zuffo (2000) concluíram que os métodos que se baseiam nas relações entre chuvas intensas de diferentes durações têm validade regional. Ainda, de acordo com os autores, para estimativas locais é conveniente se estabelecer novos coeficientes relacionados às características locais dos microclimas.

Com base nesse enfoque, se propõe com este trabalho, estimar a equação de precipitação pluvial máxima para os municípios de Dourados e Campo Grande, localizados no Estado de Mato Grosso do Sul, e determinar a equação de intensidade, duração e frequência por meio do ajuste das metodologias de desagregação de chuvas de 24 horas e de Bell, em função dos dados obtidos para Dourados e Campo Grande, de forma que se possa estimar, com certa precisão, a intensidade máxima média das chuvas para localidades que não se tenham estações pluviográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARON, G.; WALL, D.J.; WHITE, E.I.; DUNN, C.N. Regional rainfall intensity-duration-frequency curves for Pennsylvania. **Water Resources Bulletin**, 23:479-85, 1987.

BELTRAME, L.F.S.; LANNA, A.E.L.; LOUZADA, J.A.S. **Chuvas intensas**. Porto Alegre, IPH, UFRGS, 1991. 69p.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In: TUCCI, C.E.M., org. Hidrologia. Porto Alegre, EDUSP, ABRH, 1993. p.177-231. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

BUTTON, B.J.; BEM-ASHER, J. Intensity-duration relationships of desert precipitation at atudat-Israel. **Journal of Arid Environmental**, 6:1-12, 1983.

GARCIA, S.S. **Determinação da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para sete estações meteorológicas da região Centro Sul do Estado de Mato Grosso**. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá: UFMT, 2010. 90p.

GENOVEZ, A.M.; ZUFFO, A.C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.3, p.45-58, 2000.

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; WEHR, T.R.; BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H.P.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n.1, p.13-18, 2005

PINTO, F.A. **Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1995. 87p.

PINTO, F.R.L. **Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: Estimativa e espacialização**. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1999. 70p.

SILVA, D.D.; PEREIRA, S.B; PRUSKI, F.F.; GOMES FILHO, R.R.; LANA, A.M.Q.; BAENA, L.G.N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.11, n.1/4, p.7-14, 2003.

Artigo I

Estimativa da precipitação pluvial máxima para os municípios de Dourados e Campo Grande, com uso da metodologia de análise de pluviogramas

1. INTRODUÇÃO

Em estudos hidrológicos necessita-se, além do conhecimento das precipitações pluviiais máximas observadas nas séries históricas, da previsão das precipitações máximas que possam vir a ocorrer na localidade com determinada frequência (VILLELA; MATTOS, 1975). Esta previsão poderá ser obtida a partir da análise das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos (TUCCI, 2004).

O conhecimento das grandezas que caracterizam uma precipitação pluvial, que relaciona intensidade, duração e frequência (IDF), também conhecida como equação de chuvas intensas, apresenta grande interesse de ordem técnica nos projetos de obras hidráulicas, como dimensionamento de vertedores, retificação de cursos d'água, galerias de águas pluviais, bueiros, sistemas de drenagem agrícola, urbana e rodoviária, dentre outros, por ser a principal forma de caracterizar a relação dessas grandezas (PRUSKI et al., 2006).

As dificuldades para a obtenção das equações de chuvas intensas decorrem de limitações referentes aos dados disponíveis, tanto em termos de densidade da rede pluviográfica, como em relação ao pequeno período de observação disponível. Além disso, para a determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas é necessário exaustivo trabalho de análise, interpretação e codificação de grande quantidade de dados (HERNANDEZ, 1991).

Vários trabalhos foram desenvolvidos visando determinar equações de chuvas intensas para diversas localidades do Brasil, podendo-se citar: Minas Gerais (PINTO et al., 1996, FREITAS et al., 2001); Espírito Santo e Rio de Janeiro (SILVA et al., 1999); Bahia (SILVA et al., 2002); Tocantins (SILVA et al., 2003); Paraná (LONGO et al., 2006); Goiás (OLIVEIRA et al., 2000) e região de Dourados-MS (PEREIRA et al. 2007).

Em decorrência da grande dificuldade na obtenção dos dados pluviográficos, a maioria dos estudos de chuvas intensas possui séries históricas inferiores àquela recomendada pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de 30 anos. Entretanto, vários pesquisadores determinaram as equações de chuvas intensas utilizando séries inferiores. Aron et al. (1987), objetivando determinar curvas regionais de IDF de precipitação pluvial para o Estado da Pennsylvania (EUA) utilizaram séries históricas de 10 anos. Button e Ben-Asher (1983) utilizaram séries com oito anos de dados para obtenção da equação para a região de Avdat, Israel.

Pinto (1995), citando Bouvette et al. (1982), realizaram estudos de análise de frequência de chuvas em quatro estações pluviográficas localizadas na região de Houton (EUA). Ao comparar os resultados obtidos com aqueles de estudos anteriores desenvolvidos para as mesmas estações, constataram mudanças expressivas no comportamento das chuvas intensas no período de 20 anos. Verificaram decréscimo de 13% na altura da chuva de 24 horas, com período de retorno de 100 anos, na estação localizada na cidade de Houton, enquanto nas estações localizadas externamente à cidade, verificaram acréscimo de 15%.

Fendrich (1998) obteve as equações de chuvas intensas e gerou os gráficos de intensidade, duração e frequência para 31 estações pluviográficas localizadas no Estado do Paraná. As séries históricas utilizadas no estudo possuíam períodos de 10 a 37 anos, com exceção da estação de Curitiba – Prado Velho (PUC), com apenas oito anos de dados. Pinto et al. (1996) obtiveram as equações de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para 29 estações pluviográficas do Estado de Minas Gerais, com base num período de 11 anos (1983 a 1993), com exceção de três estações, nas quais foi empregado um período-base de oito anos.

Silva et al. (1999) estimaram os parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para 13 localidades do Estado do Rio de Janeiro e nove do Espírito Santo e realizaram, também, com base em técnicas de interpolação disponíveis em Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), a espacialização dos parâmetros de ajuste da referida equação para qualquer localidade dos dois Estados.

Freitas et al. (2001) analisaram as séries históricas de precipitação pluvial de 193 estações pluviográficas localizadas no Estado de Minas Gerais e nos limites dos Estados da Bahia e Espírito Santo, objetivando ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas e estabelecer a relação entre intensidade,

duração e frequência da precipitação pluvial para essas estações. A análise dos resultados obtidos permitiu verificar que existe grande variabilidade das intensidades máximas ao longo do tempo, fato comprovado pelos altos desvios-padrão das séries anuais de intensidades máximas médias de precipitação pluvial encontrados para as diversas estações e durações estudadas. Observou-se também, que o modelo de Gumbel foi o que apresentou melhor ajuste aos dados de intensidades máximas médias de precipitação pluvial pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 20% de probabilidade, para todas as durações estudadas.

Tendo em vista que a equação de chuvas intensas para a região de Dourados-MS, estimada por Pereira et al. (2007) apresentava um período-base inferior ao recomendada pela OMM, e que atualmente é possível a obtenção da equação com uma série histórica superior a 30 anos, bem como a importância que representa o conhecimento da equação de chuvas intensas, elaborou-se este trabalho, cujo objetivo foi estabelecer a relação entre intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para os municípios de Dourados e Campo Grande, localizados no Estado de Mato Grosso do Sul, considerando um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados os dados pluviográficos de duas estações meteorológicas disponíveis para o município de Dourados-MS, sendo uma operada pela Embrapa Agropecuária Oeste e outra pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), perfazendo uma série histórica de 31 anos de observações, abrangendo o período de 1979 a 2010. O ano de 1991, foi descartado da análise em função do grande número de falhas. Para o município de Campo Grande-MS foi utilizado uma estação pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com uma série histórica de 29 anos, abrangendo o período-base de 1973 a 2009. Para esta estação, houve uma série de anos que foram descartados da análise em função do grande número de falhas. Na Tabela 1 tem-se as coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas no estudo e os períodos de coleta dos dados de precipitação pluvial.

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas e período de coleta dos dados de precipitação pluvial utilizados para estimativa da equação de chuvas intensas para os municípios de Dourados e de Campo Grande, localizados no Estado de Mato Grosso do Sul.

Estação	Latitude	Longitude	Período
Dourados: Embrapa (CPAO)	22°16'S	54°49'W	1979-1990 1991-2004
Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)	22°11'S	54°55'W	2004-2010
Campo Grande (INMET)	20°27'S	54°38'W	1973-1985 1993-1998 2000-2009

Ressalta-se que não foi adotado um período-base comum de estudo para as estações utilizadas, pois ao analisar os dados disponíveis das estações pluviográficas,

verificou-se que elas não tinham períodos coincidentes. Assim, adotou-se como critério, o uso de todo o período de dados disponíveis para cada uma das estações, visando, desta forma, aumentar o período de obtenção das informações sobre as chuvas intensas.

A equação utilizada para relacionar intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial apresenta a seguinte forma geral (VILLELA; MATTOS, 1975):

$$i_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

em que,

- i_m = intensidade máxima média de chuva, mm h⁻¹;
- T = período de retorno, anos;
- t = duração da chuva, min;
- $K, a, b, c,$ = parâmetros empíricos que dependem da estação pluviográfica.

A fase de aquisição dos dados de precipitação pluvial iniciou-se com a seleção dos pluviogramas que continham as chuvas mais intensas de cada ano. As séries históricas foram utilizadas sem o preenchimento de falhas, devido ao fato do uso de regressão linear, tanto simples, como múltipla, ter apresentado baixos coeficientes de determinação.

As precipitações máximas anuais foram determinadas para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 min. Pela divisão das alturas pluviométricas máximas pela duração correspondente, obteve-se a intensidade máxima média de precipitação.

As séries de intensidade máxima anual, para cada duração, foram ajustadas à distribuição de valores extremos de Gumbel, conforme expressão:

$$F(x) = \exp^{-\exp\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)} \quad (2)$$

em que,

- $F(x)$ = distribuição acumulada de Gumbel; e
- α, β = parâmetros de posição e escala.

Os parâmetros da distribuição de Gumbel foram estimados pelo método da máxima verossimilhança e a aderência dos dados à distribuição teórica avaliada pelo

teste Kolmogorov-Smirnov, a 20% de probabilidade (ASSIS et al., 1996). Neste teste, para que haja ajuste dos dados amostrais à distribuição teórica, os valores de máxima divergência das séries não devem superar o valor crítico, no nível de significância estabelecido.

Utilizando a técnica de ajuste não linear, com base nos valores de intensidade máxima anual de precipitação pluvial nos períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos e durações 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, foram obtidos os parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência de cada estação pluviográfica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados as médias e os desvios-padrão das séries anuais de intensidades máximas de precipitação pluvial correspondentes às durações 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, para as estações de Dourados e Campo Grande, localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul. Nesta tabela constam, também, para cada duração, as relações máxima/mínima entre os valores extremos de intensidade de precipitação máxima para as localidades estudadas.

Tabela 2. Médias (\bar{x}) e desvio-padrão (s) em mm h^{-1} , das séries anuais de intensidades máximas médias de precipitação pluvial com duração de 10 a 1440 minutos, para as estações pluviográficas localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul.

Estação	Duração (min)											
	10	20	30	40	50	60	120	180	240	360	720	1440
	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
Dourados	111,2	87,0	73,3	61,8	54,8	48,6	28,4	20,2	16,0	11,3	6,0	3,2
	30,6	21,4	21,0	17,8	19,3	18,8	11,5	7,8	6,4	4,7	2,6	1,4
Campo Grande	113,3	92,8	77,8	65,0	56,2	49,7	29,3	20,8	16,4	11,7	6,3	3,5
	31,1	22,4	17,0	13,1	11,7	10,3	6,5	4,8	4,0	2,9	1,4	0,8
Média	112,2	89,9	75,5	63,4	55,5	49,2	28,8	20,5	16,2	11,5	6,2	3,3
Desvio-padrão (s)*	30,9	21,9	19,0	15,4	15,5	14,5	9,0	6,3	5,2	3,8	2,0	1,1
CV (%)**	27,5	24,4	25,2	24,5	28,0	29,7	31,3	30,8	32,4	33,2	33,2	34,4
Rel max/min***	1,02	1,04	1,15	1,15	1,29	1,36	1,32	1,26	1,33	1,27	1,35	1,28

* os valores abaixo da média referem-se ao desvio-padrão

** CV - Coeficiente de variação em %

*** A relação max/min expressa o quociente entre os valores extremos de intensidade de precipitação máxima entre as localidades, para cada período

Analisando os dados da Tabela 2, foi observado menores valores de intensidade máxima média de precipitação pluvial para a região de Dourados, com uma

variação, em relação ao valor de Campo Grande, de 1,9% (duração de 10 minutos) a 9,3% (duração de 1440 minutos). Observou-se também, o decréscimo nos valores de intensidade máxima anual com o aumento da duração das precipitações. Esse comportamento é característico das chuvas, pois a intensidade das precipitações pluviais tende a decrescer com o aumento da duração (VILLELA; MATTOS, 1975).

A análise das relações entre os valores extremos de intensidade máxima média de precipitação pluvial para cada duração revela valores crescentes com o aumento da duração até os 60 minutos. A relação entre os valores máximo e mínimo da intensidade máxima média de precipitação foi de 1,02, para a duração de 10 minutos, e de 1,36 para 60 min. Para a duração de 1.440 min esta relação foi 1,28. Esta análise indica que os erros advindos da estimativa da intensidade máxima média para determinada localidade, considerando-se os dados pertinentes a outra localidade, tendem a crescer, de modo geral, com o aumento da duração.

Esse fato é mais evidenciado a partir da análise dos coeficientes de variação obtidos para as diversas durações, os quais apresentaram tendência crescente com o aumento da duração da precipitação pluvial, que oscilaram de 24,4% a 34,4%, evidenciados nas durações de 20 e 1440 minutos, respectivamente. Face às diferenças observadas entre as intensidades máximas médias de precipitação obtidas nas localidades estudadas para cada duração, constata-se a necessidade de obtenção de equações que representem as condições das chuvas intensas para a localidade de interesse. Assim, a melhor maneira de minimizar as imprecisões na estimativa da intensidade máxima média de precipitação pluvial é por intermédio da ampliação de estudos para um número cada vez maior de localidades.

Houve ajuste de todas as séries de intensidade máxima anual para cada duração à distribuição Gumbel. Esses resultados confirmam a observação de Nerilo et al. (2002), de que a distribuição Gumbel apresenta resultados eficazes e é a mais utilizada no Brasil e no mundo no ajuste de eventos meteorológicos extremos. Através das distribuições ajustadas foram calculados os valores de intensidade máxima anual, com duração de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, nas localidades de Dourados e Campo Grande (Tabela 3 e 4).

Tabela 3. Valores de intensidade máxima anual de precipitação (mm h^{-1}), com duração de 10 a 1440 minutos, e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para a região de Dourados – MS.

Duração (min)	Período de Retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
10	106,5	137,6	158,2	177,9	203,5	222,7
20	83,8	105,5	119,9	133,7	151,6	165,0
30	70,1	91,4	105,5	119,0	136,5	149,6
40	59,1	77,2	89,2	100,6	115,5	126,6
50	51,9	71,5	84,5	97,0	113,2	125,3
60	45,8	64,8	77,5	89,6	105,3	117,0
120	26,6	38,3	46,0	53,4	63,0	70,1
180	19,0	26,9	32,1	37,1	43,5	48,4
240	15,0	21,5	25,8	30,0	35,3	39,4
360	10,6	15,3	18,5	21,5	25,4	28,4
720	5,6	8,3	10,1	11,8	14,0	15,6
1440	2,9	4,4	5,3	6,2	7,4	8,3

Tabela 4. Valores de intensidade máxima anual de precipitação (mm h^{-1}), com duração de 10 a 1440 minutos, e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para a região de Campo Grande – MS.

Duração (min)	Período de Retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
10	108,5	140,3	161,4	181,6	207,7	227,3
20	89,4	112,3	127,5	142,0	160,8	175,0
30	75,2	92,6	104,1	115,1	129,4	140,1
40	63,0	76,4	85,2	93,7	104,7	113,0
50	54,4	66,4	74,3	81,9	91,8	99,2
60	48,1	58,7	65,7	72,4	81,0	87,5
120	28,3	35,0	39,4	43,6	49,1	53,2
180	20,1	25,0	28,3	31,4	35,5	38,5
240	15,7	19,9	22,6	25,2	28,6	31,2
360	11,2	14,2	16,1	18,0	20,4	22,2
720	6,1	7,6	8,5	9,5	10,7	11,6
1440	3,3	4,2	4,8	5,3	6,0	6,5

Na Tabela 5 são apresentadas as equações de intensidade, duração e frequência para as localidades estudadas, com seus respectivos coeficientes de determinação. Observa-se que os valores dos parâmetros de ajuste (K, a, b, c) das equações não variaram expressivamente de uma estação para outra. Ressalta-se que outras combinações de coeficientes podem ser obtidas para a relação entre intensidade, duração e frequência, sem causar perda significativa na precisão dos resultados.

Tabela 5. Equações de intensidade máxima média de precipitação pluvial (i_m), em mm h^{-1} , em função do período de retorno (T), em anos, e da duração da precipitação (t), em minutos, para as estações pluviográficas de Dourados e Campo Grande, do Estado de Mato Grosso do Sul.

Estação	Equação	r^2
Dourados	$i_m = \frac{2455,12633 T^{0,17975}}{(t + 28,14066)^{0,88386}}$	0,992
Campo Grande	$i_m = \frac{2575,12468 T^{0,15884}}{(t + 19,87315)^{0,92716}}$	0,997

A análise da variação dos parâmetros da equação IDF mostra que o coeficiente K apresentou uma variação de 4,7%; o coeficiente a 11,6%; b 29,4%; e o coeficiente c apresentou uma variação de 4,7%.

As expressões obtidas a partir dos valores de intensidade máxima, duração e período de retorno contidos na Tabela 5, representa a equação de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para a região de Dourados e de Campo Grande, que relaciona a duração (t) e o período de retorno (T) com a intensidade máxima de precipitação pluvial esperada (i_m).

A equação gerada permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de retorno. Assim, por exemplo, em apenas um de cada dez anos ($T = 10$) é esperado que a chuva máxima em 60 minutos ($t = 60$) exceda a $70,9 \text{ mm h}^{-1}$ e $64,0 \text{ mm h}^{-1}$, para Dourados e Campo Grande, respectivamente. Também é esperado que somente em um de cada cem anos ($T = 100$) a precipitação máxima de 30 minutos ($t = 30$) ultrapasse a intensidade de $154,9 \text{ mm h}^{-1}$ para Dourados, e de $142,7 \text{ mm h}^{-1}$ para Campo Grande.

Ao comparar os resultados obtidos neste trabalho, utilizando uma série histórica de 31 anos com o estudo desenvolvido por Pereira et al. (2007), para a estação de Dourados, entretanto, considerando uma série histórica de 27 anos, constata-se acréscimos da ordem de 18,3% na altura da chuva de 1440 min, com período de retorno de 100 anos, conforme apresentado na Tabela 6. Em consequência deste fato, nos projetos de drenagem estas alterações devem ser consideradas e procedidos os ajustes em decorrência destas variações, devido proporcionar uma menor segurança às obras hidroagrícolas, por outro lado, diminui o custo de implantação.

Tabela 6. Intensidades máximas de precipitação com duração de 10 a 1440 minutos para períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, considerando a equação ajustada no presente trabalho (IDF1) com uma série de 31 anos, e a equação ajustada por Pereira et al. (2007) (IDF2) com uma série de 27 anos, bem como a variação porcentual (VAR).

Duração (min)	Período de Retorno (anos)	IDF 1 (mm/h)	IDF2 (mm/h)	VAR (%)	Duração (min)	Período de Retorno (anos)	IDF 1 (mm/h)	IDF 2 (mm/h)	VAR (%)
10	2	111,3	105,5	5,2	120	2	33,5	30,2	10,0
	5	131,2	124,1	5,4		5	39,5	35,5	10,2
	10	148,6	140,3	5,6		10	44,8	40,2	10,4
	20	168,3	158,7	5,8		20	50,7	45,4	10,5
	50	198,5	186,6	6,0		50	59,8	53,4	10,7
	100	224,8	211,0	6,2		100	67,8	60,4	10,9
20	2	90,6	85,1	6,0	180	2	24,8	22,1	11,1
	5	106,8	100,1	6,3		5	29,3	26,0	11,3
	10	121,0	113,2	6,4		10	33,2	29,4	11,5
	20	137,0	128,0	6,6		20	37,6	33,2	11,7
	50	161,6	150,5	6,8		50	44,3	39,0	11,9
	100	183,0	170,2	7,0		100	50,2	44,1	12,0
30	2	76,7	71,5	6,7	240	2	19,9	17,5	12,0
	5	90,4	84,1	6,9		5	23,4	20,6	12,2
	10	102,4	95,1	7,1		10	26,5	23,2	12,3
	20	116,0	107,5	7,3		20	30,0	26,3	12,5
	50	136,7	126,5	7,5		50	35,4	30,9	12,7
	100	154,9	143,0	7,7		100	40,1	34,9	12,9
40	2	66,6	61,8	7,3	360	2	14,3	12,4	13,2
	5	78,6	72,7	7,5		5	16,9	14,6	13,4
	10	89,0	82,2	7,7		10	19,1	16,5	13,6
	20	100,8	92,9	7,8		20	21,7	18,7	13,7
	50	118,8	109,3	8,1		50	25,5	22,0	13,9
	100	134,6	123,5	8,2		100	28,9	24,9	14,1
50	2	59,0	54,5	7,8	720	2	8,0	6,8	15,3
	5	69,6	64,1	8,0		5	9,5	8,0	15,5
	10	78,8	72,4	8,2		10	10,7	9,0	15,7
	20	89,3	81,9	8,3		20	12,1	10,2	15,8
	50	105,3	96,3	8,5		50	14,3	12,0	16,0
	100	119,3	108,9	8,7		100	16,2	13,6	16,2
60	2	53,1	48,7	8,2	1440	2	4,4	3,6	17,4
	5	62,6	57,3	8,4		5	5,2	4,3	17,6
	10	70,9	64,8	8,6		10	5,9	4,9	17,8
	20	80,3	73,3	8,7		20	6,7	5,5	17,9
	50	94,7	86,2	9,0		50	7,9	6,5	18,1
	100	107,2	97,4	9,1		100	8,9	7,3	18,3

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitiram as seguintes conclusões:

- Existe variabilidade dos valores de intensidade máxima média de precipitação, para uma mesma duração, entre as localidades estudadas.

- As relações obtidas dos valores extremos de intensidade máxima média de precipitação pluvial para cada duração apresentam comportamento crescente com o aumento da duração da precipitação pluvial.

- Os erros advindos da estimativa da intensidade máxima média para determinada localidade, considerando-se os dados pertinentes a outra localidade, tendem a crescer com o aumento da duração da precipitação pluvial.

- As equações propostas que relacionam a intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para as regiões de Dourados e Campo Grande podem ser utilizadas para o dimensionamento de projetos agrícolas e obras hidráulicas implantados nas regiões.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARON, G.; WALL, D.J.; WHITE, E.I.; DUNN, C.N. Regional rainfall intensity-duration-frequency curves for Pennsylvania. **Water Resources Bulletin**, 23:479-85, 1987.

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, 1996. 161p.

BUTTON, B.J.; BEM-ASHER, J. Intensity-duration relationships of desert precipitation at atudat-Israel. **Journal of Arid Environmental**, 6:1-12, 1983.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. Curitiba, Champagnat. Curitiba, Paraná. 1998. 99p.

FREITAS, A.J., SILVA, D.D., PRUSKI, F.F., PINTO, F.A., PEREIRA, S.B., GOMES FILHO, R.R., TEIXEIRA, A.F., BAENA, L.G.N., MELLO, L.T.A., NOVAES, L.F. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p.

HERNANDEZ, V. Ainda as equações de chuvas intensas – pode-se generalizar? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9: Simpósio Luso Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, 5, Rio de Janeiro, 1991. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1991. p.193-202.

LONGO, A.J.; SAMPAIO, S.C.; SUSZEK, M. Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o Município de Cascavel, PR. **Varia Scientia**, Cascavel, v.6, n.11, p.119-127, 2006.

NERILO, N.; MEDEIROS, P.A.; CORDEIRO, A. **Chuvas intensas no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Editora da UFSC; Blumenau: Editora da FURB, 2002. 156p.

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; BARBOSA, F.O.A.; ROMÃO, P.A.; CARVALHO, D.F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia. V.30, n.1, p.23-27, 2000.

PEREIRA, S.B.; FIETZ, C.R.; PEIXOTO, P.P.P.; ALVES SOBRINHO, T.; SANTOS, F.M. **Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de Dourados, MS**, Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 18p. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste, 44). Disponível em: <<http://www.cpa.embra.br/publicacoes>>. Acesso em: 01 de jun. 2012.

PINTO, F.A. **Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1995. 87p.

PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R.; CECON, P.R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.2, p.8-21, 1996.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; TEIXEIRA, A.F.; CECÍLIO, R.A.; SILVA, J.M.A.; GRIEBELER, N.P. **Hídros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 259p.

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

SILVA, D.D.; PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; GOMES FILHO, R.R.; LANA, A.M.Q.; BAENA, L.G.N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.11, n.1/4, p.7-14, 2003.

SILVA, D.D.; PINTO, F.R.L.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.3, p.11-21, 1999.

TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2004. 943p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

VILLELA, S., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245p.

ANEXO I

Tabela 1a. Valores de alturas de precipitação pluvial máxima anual (mm) da região de Dourados-MS, com duração de 10 a 1440 minutos.

Ano	Duração (min)											
	10	20	30	40	50	60	120	180	240	360	720	1440
1979	13,0	22,6	28,2	33,2	33,3	33,4	40,0	50,0	53,1	53,2	56,0	56,0
1980	18,6	28,6	37,6	39,8	41,4	42,0	46,8	57,2	63,0	76,5	79,8	101,6
1981	19,6	28,8	32,0	34,8	37,6	41,0	43,4	46,0	46,4	46,4	52,8	53,5
1982	22,0	34,0	44,2	53,0	63,2	65,8	75,4	75,4	75,4	86,0	118,9	124,5
1983	16,0	25,6	30,0	31,6	32,1	36,1	38,8	43,2	47,6	53,0	55,0	55,0
1984	28,0	34,2	36,2	37,8	38,1	38,2	40,8	41,4	41,4	44,6	44,6	44,6
1985	13,6	26,0	28,4	33,2	35,4	38,6	51,8	71,0	92,2	107,7	108,4	112,4
1986	16,8	29,2	39,0	45,0	53,0	58,2	82,5	82,8	83,1	83,4	83,4	83,4
1987	19,4	32,4	50,4	52,4	60,0	62,4	67,1	67,7	68,8	69,0	69,0	69,0
1988	18,4	29,4	36,4	40,0	42,6	43,6	43,8	63,4	67,2	68,3	68,3	68,3
1989	17,5	27,7	27,9	29,0	29,5	31,6	37,6	37,6	42,2	45,6	45,6	45,6
1990	11,0	17,8	19,0	21,8	22,8	23,4	35,6	42,3	46,8	52,0	66,2	81,2
1992	16,8	21,8	24,8	25,0	25,1	25,1	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
1993	15,2	22,4	28,2	33,4	36,3	37,4	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6
1994	18,2	23,2	28,6	33,0	36,4	37,0	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6
1995	15,6	22,6	36,6	41,0	41,2	41,6	44,6	48,4	50,0	50,0	59,0	69,0
1996	11,0	20,0	22,0	23,6	25,0	25,8	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6
1997	13,2	25,0	33,4	41,4	43,0	44,6	48,4	48,4	48,4	48,4	48,4	48,4
1998	20,0	26,2	35,0	35,9	36,5	39,4	47,0	53,2	61,2	68,5	68,5	68,9
1999	23,0	38,0	56,0	60,4	81,0	93,2	106,6	108,8	108,8	108,8	108,8	108,8
2000	15,0	28,0	38,0	48,0	58,0	58,4	70,0	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4
2001	25,0	40,0	50,0	56,0	61,4	69,6	81,0	82,4	82,5	82,5	82,5	82,5
2002	20,0	30,0	42,0	52,0	70,0	80,0	102,4	105,2	105,2	105,2	105,2	105,2
2003	10,6	17,8	26,4	32,4	32,8	33,2	35,2	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5
2004	27,0	38,6	48,8	57,2	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	67,8
2005	16,0	27,4	35,8	45,7	47,5	50,6	56,1	57,7	57,7	57,7	69,1	80,5
2006	19,8	38,1	43,2	48,5	56,4	60,7	98,8	111,3	128,3	130,0	137,4	139,2
2007	27,2	45,7	56,9	63,5	72,9	78,8	81,5	82,3	93,5	99,6	129,3	147,6
2008	26,2	36,1	37,8	38,6	38,9	39,1	44,7	48,0	55,6	58,9	62,2	68,3
2009	26,9	39,9	58,9	64,3	76,2	87,9	93,7	95,3	108,5	136,4	148,6	154,2
2010	13,7	22,4	24,1	26,4	29,2	31,2	33,0	35,3	35,6	45,2	49,3	49,3

Tabela 2a. Valores de intensidade máxima anual de precipitação pluviual (mm h^{-1}) da região de Dourados-MS, com duração de 10 a 1440 minutos.

Ano	Duração (min)											
	10	20	30	40	50	60	120	180	240	360	720	1440
1979	78,0	67,8	56,4	49,8	40,0	33,4	20,0	16,7	13,3	8,9	4,7	2,3
1980	111,6	85,8	75,2	59,7	49,7	42,0	23,4	19,1	15,8	12,8	6,7	4,2
1981	117,6	86,4	64,0	52,2	45,1	41,0	21,7	15,3	11,6	7,7	4,4	2,2
1982	132,0	102,0	88,4	79,5	75,8	65,8	37,7	25,1	18,9	14,3	9,9	5,2
1983	96,0	76,8	60,0	47,4	38,5	36,1	19,4	14,4	11,9	8,8	4,6	2,3
1984	168,0	102,6	72,4	56,7	45,7	38,2	20,4	13,8	10,4	7,4	3,7	1,9
1985	81,6	78,0	56,8	49,8	42,5	38,6	25,9	23,7	23,1	18,0	9,0	4,7
1986	100,8	87,6	78,0	67,5	63,6	58,2	41,3	27,6	20,8	13,9	7,0	3,5
1987	116,4	97,2	100,8	78,6	72,0	62,4	33,6	22,6	17,2	11,5	5,8	2,9
1988	110,4	88,2	72,8	60,0	51,1	43,6	21,9	21,1	16,8	11,4	5,7	2,8
1989	105,0	83,1	55,8	43,5	35,4	31,6	18,8	12,5	10,6	7,6	3,8	1,9
1990	66,0	53,4	38,0	32,7	27,4	23,4	17,8	14,1	11,7	8,7	5,5	3,4
1992	100,8	65,4	49,6	37,5	30,1	25,1	12,6	8,4	6,3	4,2	2,1	1,1
1993	91,2	67,2	56,4	50,1	43,6	37,4	25,3	16,9	12,7	8,4	4,2	2,1
1994	109,2	69,6	57,2	49,5	43,7	37,0	25,3	16,9	12,7	8,4	4,2	2,1
1995	93,6	67,8	73,2	61,5	49,4	41,6	22,3	16,1	12,5	8,3	4,9	2,9
1996	66,0	60,0	44,0	35,4	30,0	25,8	13,8	9,2	6,9	4,6	2,3	1,2
1997	79,2	75,0	66,8	62,1	51,6	44,6	24,2	16,1	12,1	8,1	4,0	2,0
1998	120,0	78,6	70,0	53,9	43,8	39,4	23,5	17,7	15,3	11,4	5,7	2,9
1999	138,0	114,0	112,0	90,6	97,2	93,2	53,3	36,3	27,2	18,1	9,1	4,5
2000	90,0	84,0	76,0	72,0	69,6	58,4	35,0	23,8	17,9	11,9	6,0	3,0
2001	150,0	120,0	100,0	84,0	73,7	69,6	40,5	27,5	20,6	13,8	6,9	3,4
2002	120,0	90,0	84,0	78,0	84,0	80,0	51,2	35,1	26,3	17,5	8,8	4,4
2003	63,6	53,4	52,8	48,6	39,4	33,2	17,6	11,8	8,9	5,9	3,0	1,5
2004	162,0	115,8	97,6	85,8	72,0	60,0	30,0	20,0	15,0	10,0	5,0	2,8
2005	96,1	82,3	71,6	68,6	57,0	50,6	28,1	19,2	14,4	9,6	5,8	3,4
2006	118,9	114,3	86,4	72,8	67,7	60,7	49,4	37,1	32,1	21,7	11,5	5,8
2007	163,1	137,2	113,8	95,3	87,5	78,8	40,8	27,4	23,4	16,6	10,8	6,1
2008	157,0	108,2	75,7	57,9	46,6	39,1	22,4	16,0	13,9	9,8	5,2	2,8
2009	161,6	119,6	117,9	96,4	91,4	87,9	46,9	31,8	27,1	22,7	12,4	6,4
2010	82,3	67,1	48,3	39,6	35,1	31,2	16,5	11,8	8,9	7,5	4,1	2,1
Média	111,2	87,0	73,3	61,8	54,8	48,6	28,4	20,2	16,0	11,3	6,0	3,2
Desvio	30,6	21,4	21,0	17,8	19,3	18,8	11,5	7,8	6,4	4,7	2,6	1,4
CV (%)	27,6	24,6	28,6	28,8	35,3	38,6	40,4	38,4	40,1	41,6	43,8	44,9

Tabela 3a. Valores de alturas de precipitação pluvial máxima anual (mm) da região de Campo Grande-MS, com duração de 10 a 1440 minutos.

Ano	Duração (min)											
	10	20	30	40	50	60	120	180	240	360	720	1440
1973	12,2	18,5	21,1	22,4	23,1	23,8	39,5	45,1	49,3	50,3	50,3	55,3
1974	20,0	30,0	47,5	50,5	54,5	59,5	62,3	62,3	62,3	62,3	62,3	62,3
1975	17,2	23,0	23,1	24,5	28,0	35,0	54,0	57,7	58,3	65,3	97,1	109,7
1976	14,0	26,0	36,0	45,0	50,0	55,5	71,5	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8
1977	16,5	32,3	41,3	48,3	62,3	68,3	78,3	82,6	91,0	107,5	110,0	110,0
1978	16,5	29,5	41,5	46,0	49,5	53,5	71,8	73,6	82,7	87,2	89,6	120,0
1979	14,3	27,8	38,8	41,8	48,8	53,8	71,4	74,8	76,2	76,2	76,2	76,2
1980	14,5	24,5	33,2	38,5	39,8	40,3	41,3	41,3	41,3	56,3	90,0	95,2
1981	16,5	30,0	39,0	40,4	40,7	42,0	46,2	48,4	51,1	54,7	56,3	56,3
1982	28,6	38,6	41,6	42,6	42,8	44,3	54,2	56,2	64,2	69,0	70,0	83,5
1983	23,0	41,8	46,5	52,3	59,8	63,2	77,2	77,4	81,6	86,0	86,0	86,0
1984	24,0	44,0	51,4	53,5	53,7	55,8	80,5	84,8	88,6	90,7	90,7	90,7
1985	28,0	33,2	37,7	39,8	45,9	47,5	61,5	63,5	64,4	64,4	65,0	85,6
1993	12,0	23,0	32,0	41,0	48,0	56,2	77,0	78,7	78,7	78,7	78,7	82,5
1994	21,0	32,0	43,0	46,0	47,8	53,0	69,8	88,4	96,4	103,4	103,4	107,5
1995	19,6	37,6	48,1	49,6	50,4	50,8	51,6	52,0	52,0	53,6	62,0	87,0
1996	12,0	21,0	30,5	40,6	49,6	51,0	54,4	55,3	55,4	55,4	68,8	74,8
1997	24,0	41,2	47,4	50,2	50,5	51,0	51,3	51,3	51,3	66,2	94,2	96,0
1998	20,0	29,2	34,2	40,0	42,0	43,4	44,2	68,0	72,6	78,5	83,5	83,8
2000	21,0	34,0	47,6	56,0	62,6	64,0	67,8	68,6	68,6	68,6	68,6	68,6
2001	28,6	36,0	42,6	42,8	42,8	42,8	42,8	43,6	44,2	46,0	63,4	94,0
2002	12,0	22,2	32,0	41,6	46,6	52,6	55,2	59,2	65,0	85,0	90,4	106,0
2003	20,0	32,6	37,0	37,8	42,0	51,6	70,0	84,2	89,2	89,2	95,5	101,8
2004	23,0	35,0	47,0	53,6	55,0	55,5	55,8	55,8	55,8	56,6	57,6	66,2
2005	24,0	44,0	51,4	53,2	55,0	55,8	57,4	70,0	77,8	84,2	84,2	110,5
2006	20,0	32,0	38,0	42,0	43,2	45,2	55,0	58,2	61,2	63,3	67,3	67,3
2007	20,0	38,0	46,6	54,6	58,0	59,2	61,0	61,3	67,8	75,6	78,0	78,0
2008	12,6	22,0	30,0	37,0	41,0	41,2	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4
2009	12,4	18,2	21,8	25,0	25,5	25,8	34,8	36,8	37,8	41,8	51,8	51,8

Tabela 4a. Valores de intensidade máxima anual de precipitação pluvial (mm h^{-1}) da região de Campo Grande-MS, com duração de 10 a 1440 minutos.

Ano	Duração (min)											
	10	20	30	40	50	60	120	180	240	360	720	1440
1973	73,2	55,5	42,2	33,6	27,7	23,8	19,8	15,0	12,3	8,4	4,2	2,3
1974	120,0	90,0	95,0	75,8	65,4	59,5	31,2	20,8	15,6	10,4	5,2	2,6
1975	103,2	69,0	46,2	36,8	33,6	35,0	27,0	19,2	14,6	10,9	8,1	4,6
1976	84,0	78,0	72,0	67,5	60,0	55,5	35,8	23,9	18,0	12,0	6,0	3,0
1977	99,0	96,9	82,6	72,5	74,8	68,3	39,2	27,5	22,8	17,9	9,2	4,6
1978	99,0	88,5	83,0	69,0	59,4	53,5	35,9	24,5	20,7	14,5	7,5	5,0
1979	85,8	83,4	77,6	62,7	58,6	53,8	35,7	24,9	19,1	12,7	6,4	3,2
1980	87,0	73,5	66,4	57,8	47,8	40,3	20,7	13,8	10,3	9,4	7,5	4,0
1981	99,0	90,0	78,0	60,6	48,8	42,0	23,1	16,1	12,8	9,1	4,7	2,3
1982	171,6	115,8	83,2	63,9	51,4	44,3	27,1	18,7	16,1	11,5	5,8	3,5
1983	138,0	125,4	93,0	78,5	71,8	63,2	38,6	25,8	20,4	14,3	7,2	3,6
1984	144,0	132,0	102,8	80,3	64,4	55,8	40,3	28,3	22,2	15,1	7,6	3,8
1985	168,0	99,6	75,4	59,7	55,1	47,5	30,8	21,2	16,1	10,7	5,4	3,6
1993	72,0	69,0	64,0	61,5	57,6	56,2	38,5	26,2	19,7	13,1	6,6	3,4
1994	126,0	96,0	86,0	69,0	57,4	53,0	34,9	29,5	24,1	17,2	8,6	4,5
1995	117,6	112,8	96,2	74,4	60,5	50,8	25,8	17,3	13,0	8,9	5,2	3,6
1996	72,0	63,0	61,0	60,9	59,5	51,0	27,2	18,4	13,9	9,2	5,7	3,1
1997	144,0	123,6	94,8	75,3	60,6	51,0	25,7	17,1	12,8	11,0	7,9	4,0
1998	120,0	87,6	68,4	60,0	50,4	43,4	22,1	22,7	18,2	13,1	7,0	3,5
2000	126,0	102,0	95,2	84,0	75,1	64,0	33,9	22,9	17,2	11,4	5,7	2,9
2001	171,6	108,0	85,2	64,2	51,4	42,8	21,4	14,5	11,1	7,7	5,3	3,9
2002	72,0	66,6	64,0	62,4	55,9	52,6	27,6	19,7	16,3	14,2	7,5	4,4
2003	120,0	97,8	74,0	56,7	50,4	51,6	35,0	28,1	22,3	14,9	8,0	4,2
2004	138,0	105,0	94,0	80,4	66,0	55,5	27,9	18,6	14,0	9,4	4,8	2,8
2005	144,0	132,0	102,8	79,8	66,0	55,8	28,7	23,3	19,5	14,0	7,0	4,6
2006	120,0	96,0	76,0	63,0	51,8	45,2	27,5	19,4	15,3	10,6	5,6	2,8
2007	120,0	114,0	93,2	81,9	69,6	59,2	30,5	20,4	17,0	12,6	6,5	3,3
2008	75,6	66,0	60,0	55,5	49,2	41,2	20,7	13,8	10,4	6,9	3,5	1,7
2009	74,4	54,6	43,6	37,5	30,6	25,8	17,4	12,3	9,5	7,0	4,3	2,2
Média	113,3	92,8	77,8	65,0	56,2	49,7	29,3	20,8	16,4	11,7	6,3	3,5
Desvio	31,1	22,4	17,0	13,1	11,7	10,3	6,5	4,8	4,0	2,9	1,4	0,8
CV (%)	27,5	24,1	21,9	20,1	20,8	20,8	22,2	23,1	24,7	24,7	22,5	24,0

Artigo II

Ajuste de metodologias e determinação das equações de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial máxima para o Estado de Mato Grosso do Sul

1. INTRODUÇÃO

Quando se realiza estudo climático de uma região, uma das variáveis meteorológicas mais importantes é a precipitação, devido às consequências que o excesso de precipitação podem ocasionar, principalmente em eventos de chuvas intensas.

A chuva intensa é aquela que registra um grande volume de água em um pequeno intervalo de tempo, sendo frequentemente causadoras de prejuízos materiais e humanos consideráveis. A principal forma para caracterização de chuvas intensas é por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial.

O conhecimento das grandezas que caracterizam uma precipitação pluvial, que relaciona a intensidade, duração e frequência (IDF), também conhecida como equação de chuvas intensas, apresenta grande interesse de ordem técnica nos projetos de obras hidráulicas, como dimensionamento de vertedores, retificação de cursos d'água, galerias de águas pluviais, bueiros, sistemas de drenagem agrícola, urbana e rodoviária, dentre outros (PRUSKI et al., 2006).

Trabalho realizado, mediante convênio entre a Companhia de Saneamento de Minas Gerais e a Universidade Federal de Viçosa (COPASA/UFV), com a interveniência da Fundação de Apoio à Universidade Federal de Viçosa (FUNARBE), ajustaram modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas para 193 estações pluviográficas localizadas no Estado de Minas Gerais e nos limites com os Estados da Bahia e do Espírito Santo. Os parâmetros das equações de intensidade-duração-frequência, que foram ajustados para as estações pluviográficas localizadas no Estado de Minas Gerais, apresentaram alta variabilidade, demonstrando assim, a grande importância da obtenção da equação de chuvas intensas para cada local (FREITAS et al., 2001).

Devido à grande carência de informações relativas às equações de chuvas intensas para a maioria das localidades brasileiras, a alternativa para a realização de projetos de obras hidráulicas tem sido utilizar informações de postos meteorológicos mais próximos da localidade na qual o projeto é realizado. Este procedimento, entretanto, pode levar a estimativas pouco confiáveis (SILVA et al., 2003; SILVA et al., 2002).

A metodologia utilizada para se obter a equação que relaciona intensidade, duração e frequência, envolve a análise e o processamento de uma quantidade relativamente grande de dados pluviográficos. Embora a metodologia seja consagrada, estudos e pesquisas de caráter regional têm sido feitos, visando avaliar parâmetros de interesse, principalmente em áreas não providas de pluviógrafos (PINTO, 1995).

Algumas metodologias foram desenvolvidas no Brasil para a obtenção de chuvas de menor duração a partir de registros pluviométricos diários, devido existir uma vasta rede pluviométrica instalada, principalmente para atender ao setor de geração de energia elétrica. Os métodos utilizam multiplicativos, dentre as quais destaca-se o método de desagregação de chuva de 24 horas (CETESB, 1986; OLIVEIRA et al., 2008).

Outra metodologia para obtenção de chuvas de menor duração a partir de registros pluviométricos é o método de Bell (1969). Este método foi desenvolvido com base em precipitações medidas em vários continentes, obtendo-se uma equação generalizada que relacionam a intensidade, duração e frequência da precipitação. Tal equação, baseia-se na análise da relação entre altura e duração da chuva para um determinado período de retorno, e na relação entre altura e frequência para uma determinada duração. A validade da equação, segundo o autor, compreende períodos de retorno entre 2 e 100 anos e durações inferiores a 120 minutos.

Estudos realizados com base em séries anuais de dados pluviométricos e pluviográficos, observados simultaneamente em São Paulo, mostraram que a média das alturas de chuva, de um e dois dias, pode ser considerada como uma estimativa bastante representativa da chuva de 24 horas de mesma frequência. Observaram, ainda, que independente do período de retorno, há uma relação constante entre a chuva de 24 horas e de um dia, cujo valor foi de 1,14 (PINTO et al., 1996). Ressalta-se que a precipitação pluvial de duração de um dia refere-se ao valor compreendido entre os horários de observação pluviométrica, enquanto, a precipitação de 24 horas, corresponde ao valor máximo registrado em períodos contínuos, independente dos horários de leitura.

Resultados semelhantes a esse são relatados por Beltrame et al. (1991) em estudos realizados em oito localidades no Rio Grande do Sul. Cao (1974) citado por Pinto (1995), encontrou uma relação próxima de 1:1, quando comparou as médias e os desvios padrão das alturas de chuva de 24 horas e de um dia, num estudo que envolvia 35 localidades na Itália.

Em regiões onde as únicas informações mais detalhadas são as chuvas de um dia, pode-se estimar as chuvas de 24 horas com determinada frequência e, a partir dessas, as chuvas de menor duração com a mesma frequência, utilizando as relações entre chuvas de diferentes durações (CETESB, 1986).

Vários trabalhos foram desenvolvidos para diversas localidades brasileiras com a aplicação direta de metodologias alternativas, como por exemplo do método de desagregação de chuva de 24 horas, para se estimar as chuvas de menor duração à partir dos dados diários de precipitação pluvial (FIETZ; COMUNELLO, 2007; OLIVEIRA et al., 2008; SANTOS et al., 2009; FIETZ et al., 2010, GRACIA, 2010).

Genovez e Zuffo (2000), no entanto, concluíram que os métodos que se baseiam nas relações entre chuvas intensas de diferentes durações têm validade regional. Ainda, de acordo com os autores, para estimativas locais é conveniente se estabelecer novos coeficientes relacionados às características locais dos microclimas.

Pruski (1990) analisou as precipitações extremas máximas de duas estações pluviométricas, com uso dos coeficientes apresentados pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), para obter as precipitações de distintas durações a partir dos dados de precipitação pluvial máxima diária. Foi constatado, que as alturas de chuva obtidas a partir da relação entre intensidade, duração e frequência foram inferiores às determinadas por meio do método de Gumbel e convertidas em alturas de precipitação de menores durações. Observou, ainda, que quando a relação entre intensidade, duração e frequência produziu maiores valores de altura de precipitação, as diferenças observadas não ultrapassaram 21,8%. No entanto, verificou, para uma das estações estudadas, aumento nas diferenças percentuais com a redução da duração da precipitação, tendo estas diferenças atingido 72,0% para valores relativos à duração 10 minutos.

Além do ajuste das equações de chuvas intensas para as estações meteorológicas com dados pluviográficos, é de fundamental importância ajustar metodologias que possibilitem a estimativa das equações a partir de dados diários de

precipitação pluvial em função da maior disponibilidade de estações pluviométricas e maior tempo de observações.

Com base nesse enfoque, elaborou-se este trabalho, cujo objetivo foi obter as equações de precipitação pluvial máxima para os municípios de Dourados e Campo Grande, localizados no Estado de Mato Grosso do Sul, e determinar as equações de intensidade, duração e frequência por meio do ajuste das metodologias de desagregação de chuvas de 24 horas e de Bell, em função dos dados obtidos para Dourados e Campo Grande, de forma que se possa estimar, com certa precisão, a intensidade máxima média das chuvas para as localidades que não se tenham estações pluviográficas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizados os dados pluviográficos de duas estações meteorológicas disponíveis para a região de Dourados-MS, sendo uma operada pela Embrapa Agropecuária Oeste e outra pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Para a região de Campo Grande-MS, foi utilizada uma estação pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na Tabela 1 são apresentadas as coordenadas geográficas das estações e os períodos de coleta dos dados.

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas e período de coleta dos dados de precipitação pluvial utilizados para estimativa da precipitação máxima para as regiões de Dourados e de Campo Grande, localizados no Estado de Mato Grosso do Sul.

Estação	Latitude	Longitude	Período
Dourados: Embrapa (CPAO)	22°16'S	54°49'W	1979-1990 1991-2004
Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)	22°11'S	54°55'W	2004-2010
Campo Grande (INMET)	20°27'S	54°38'W	1973-1985 1993-1998 2000-2009

A equação utilizada para relacionar intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial apresentou a seguinte forma geral (VILLELA; MATTOS, 1975):

$$i_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

em que,

$$i_m = \text{intensidade máxima média de chuva, mm h}^{-1};$$

- T = período de retorno, anos;
 T = duração da chuva, min;
 K,a,b,c, = parâmetros empíricos que dependem da estação pluviográfica.

A fase de aquisição dos dados de precipitação iniciou com a seleção dos pluviogramas que continham as chuvas mais intensas de cada ano.

As precipitações máximas anuais foram determinadas para as durações 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 min. Pela divisão das alturas pluviométricas máximas com a duração correspondente obteve-se a intensidade máxima anual de precipitação pluvial para cada duração.

As séries de intensidade máxima anual, para cada duração, foram ajustadas à distribuição de valores extremos Gumbel, conforme expressão:

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right) \quad (2)$$

em que,

- F(x) = distribuição acumulada Gumbel; e
 α, β = parâmetros de posição e escala.

Os parâmetros da distribuição Gumbel foram estimados pelo método de máxima verossimilhança e a aderência dos dados à distribuição teórica avaliada pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a 20% de probabilidade (ASSIS, et al., 1996). Neste teste, para que haja ajuste dos dados amostrais à distribuição teórica, os valores de máxima divergência das séries não devem superar o valor crítico, no nível de significância estabelecido.

Utilizando a técnica de ajuste não linear, com base nos valores de intensidade máxima anual de precipitação pluvial, nos períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos e durações 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, foram obtidos os parâmetros da equação 1.

Para obtenção da equação intensidade, duração e frequência utilizando o método da desagregação de chuvas de 24 horas foi utilizada, primeiramente, a metodologia, conforme proposto pelo Departamento de Água e Energia Elétrica/ Centro Tecnológico de Saneamento Básico (DAEE/CETESB 1980), nas localidades de Dourados e Campo Grande, para efeito de comparação do método em relação ao

método considerado padrão (método de análise de pluviogramas). Nesta metodologia se adota o fator médio de 1,14 para transformação de chuva máxima de 1 dia, estimada pelo distribuição Gumbel, em chuva de 24 h; para os demais tempos de duração de chuvas, emprega-se os coeficientes apresentados na Tabela 2, permitindo gerar pontos suficientes para definir a equação de intensidade, duração e frequência referentes a diferentes períodos de retorno.

Tabela 2. Coeficientes de desagregação de chuva de 24 horas (DAEE/CETESB, 1980).

Duração	1440min/24h	720min/24h	600 min/24h	480min/24h	360min/24h	60min/24h
Coeficiente	1,14	0,85	0,82	0,78	0,72	0,42
Duração	30min/1h	25min/30min	20min/30min	15min/30min	10min/30min	05min/30min
Coeficiente	0,74	0,91	0,81	0,70	0,54	0,34

Os ajustes das distribuições de probabilidade, como da realização do teste de aderência, foram realizados de forma semelhante aos dados obtidos pelo método de análise de pluviogramas, conforme descrito por PEREIRA et al. (2007).

Utilizou-se também, o método de Bell (1969) nas localidade de Dourados e Campo Grande, para se avaliar o comportamento desses modelos para o Estado de Mato Grosso do Sul. Segundo Bertoni e Tucci (2004), o método de Bell associa a altura pluviométrica de uma chuva intensa para um determinado tempo de duração e período de retorno, padrão de 60 minutos de duração e dez anos de período de retorno, como segue:

(3)

$$h_{(t;T)} = (\alpha \ln TR + \beta_1) + (\beta_2 t^\gamma - \beta_3) h_{(60;10)}$$

em que,

$h(t;T)$ = altura pluviométrica (mm) de chuva intensa de duração “t” e período de retorno “T”;

$h(60;10)$ = altura pluviométrica (mm) de chuva intensa, padrão de 60 minutos de duração e dez anos de período de retorno; e

$\alpha, \gamma, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros regionais ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

Seguindo a recomendação de Bertoni e Tucci (2004), de que o método de Bell só se aplica em chuvas com durações menores que 120 minutos e períodos de retorno entre 2 a 100 anos, foi determinada as intensidades e alturas pluviométricas máximas para os tempos de duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 e 120 minutos, e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

A equação utilizada, ajustada por Bell, com dados de vários continentes, foi expressa da seguinte forma:

$$P_T^t = (0,21 \ln T + 0,52)(0,54t^{0,25} - 0,50)P_{10}^{60} \quad (4)$$

em que, P_T^t é a precipitação estimada (mm) de chuva intensa de duração “t” e período de retorno “T”.

Os resultados obtidos pelas equações de chuvas intensas ajustadas pelos métodos de desagregação de chuvas de 24 horas e de Bell foram comparados com os obtidos pelo método de análise de pluviogramas (considerado padrão). O desempenho das metodologias foi avaliado por meio do erro médio relativo e pelo índice de concordância, proposto por Willmott (1981), com uso das expressões, respectivamente:

$$EMR = 100 \sum \frac{(Im_{ap} - Im_{ma})}{Im_{ap}} \quad (5)$$

em que,

EMR = erro médio relativo;

Im_{ap} = intensidade máxima de precipitação obtida pelas equações ajustadas pelo método de análise de pluviogramas (método padrão); e

Im_{ma} = intensidade máxima de precipitação obtida pela equação ajustada com uso das metodologias alternativas.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (6)$$

em que,

- d = índice de concordância;
 E_i = valor estimado para o i -ésimo evento;
 O_i = valor observado para o i -ésimo evento; e
 \bar{O} = média dos valores observados.

O índice de concordância, proposto por Willmott (1982), permite a avaliação dos desvios entre os valores das chuvas máximas encontrados pelas relações de precipitação, duração e frequência e estimados pelas metodologias de desagregação de chuva de 24 horas e de Bell, tendo seu valor variando de 0 a 1. Quanto menor o desvio, melhor o desempenho do modelo avaliado, tendo o valor do índice de concordância próximo de 1.

Camargo e Sentelhas (1997) apresentaram os valores para a interpretação do desempenho dos modelos de ajuste quanto à sua exatidão (Tabela 3).

Tabela 3. Critérios para análise do desempenho de um modelo quanto à sua exatidão.

Valor do índice de Concordância (IC)	Desempenho
Maior que 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Médio
0,51 a 0,60	Ruim
0,41 a 0,50	Mau
Menor que 0,40	Péssimo

Para se obter a relação entre as alturas de chuva de distintas durações e a de 24 horas, os valores das alturas de chuva com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos foram divididos pela altura máxima da chuva de 24 horas. Foram obtidos, portanto, os coeficientes que possibilitaram a conversão da altura da chuva local de 24 horas em chuvas com as durações citadas, considerando para obter o coeficiente que representará cada duração a média geométrica do período analisado.

Para o ajuste da metodologia de Bell foi proposto um fator multiplicador, conforme a duração da precipitação máxima, nos resultados advindos da aplicação direta do modelo.

O desempenho das metodologias alternativas ajustadas também foi avaliado por meio do erro médio relativo e pelo índice de concordância, proposto por Willmott (1982). Usou-se, também, o critério para análise do desempenho do modelo proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

Após o ajuste das metodologias alternativas e identificação daquela que apresentou o melhor desempenho, foram selecionadas séries históricas de dados de chuvas diárias das estações pluviométricas localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul, obtidas do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (Hidroweb) (ANA, 2013), para aplicação da metodologia. Os dados foram submetidos a uma análise de consistência e eliminados postos cujas séries apresentaram menos de 12 anos de observações completas, resultando em 105 postos pluviométricos (Figura 1).

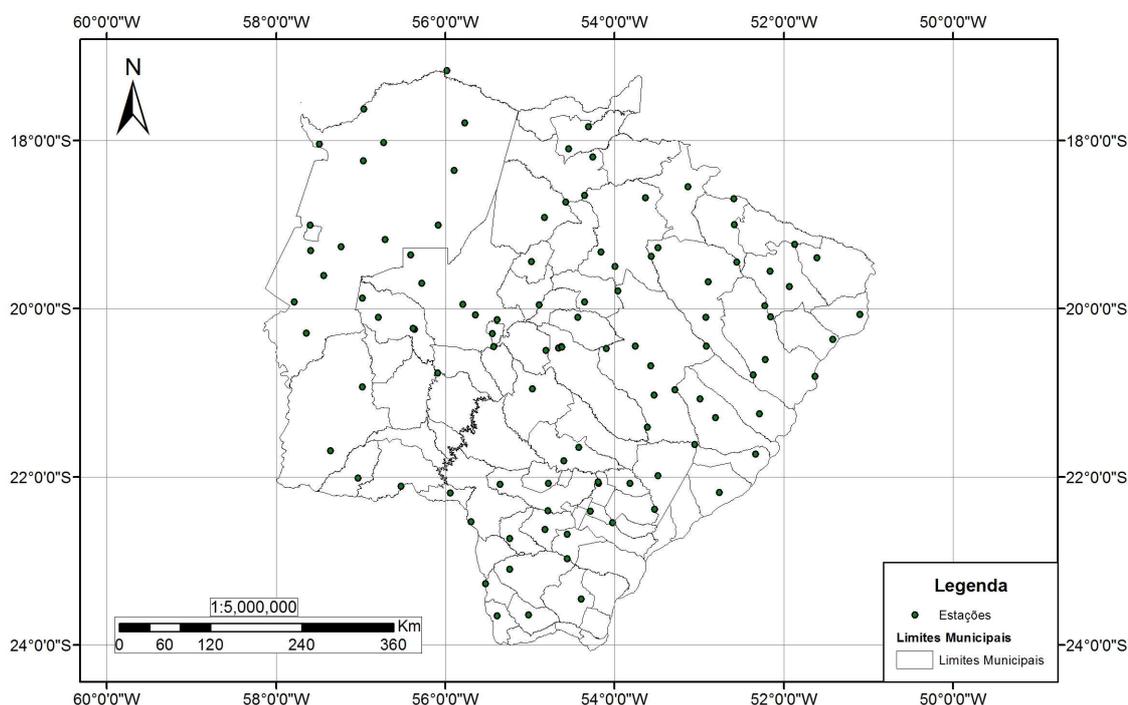


Figura 1. Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas no estudo, localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul.

Para cada estação pluviométrica foram montadas as séries históricas dos valores máximos anuais com a aplicação dos coeficientes multiplicativos ajustados para a metodologia de desagregação de chuva de 24 horas e, após procedimento descrito anteriormente, obtenção das equações que representam a intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial, para cada posto pluviométrico selecionado.

Para espacialização dos dados de intensidade de precipitação esperados no Estado de Mato Grosso do Sul, foi utilizado o Software ArcGis, com o interpolador inverso da potência da distância (IPD). Considerou, para a espacialização, um período

de retorno de 20 anos, com durações de 30, 60, 720 e 1440 min, pois, apesar dos projetos agrícolas frequentemente fazer previsões hidrológicas com período de retorno de 10 anos (SCHWAB et al., 1966; CRUCIANI, 1980), em estudos realizados na região do Sul de Minas Gerais, os quais envolviam retificações e dragagens de cursos d'água, o período de retorno mais recomendável para implantação de projetos hidroagrícolas foi de 20 anos (EUCLYDES, 1987).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentadas as distribuições de frequência das séries de precipitações máximas anuais observadas e estimadas pelo modelo de Gumbel, para os municípios de Dourados-MS e de Campo Grande-MS, respectivamente. Pode-se observar que para os municípios estudados a distribuição de Gumbel mostrou-se adequada na estimativa da precipitação máxima, onde se verifica boa aderência entre a distribuição observada e a teórica.

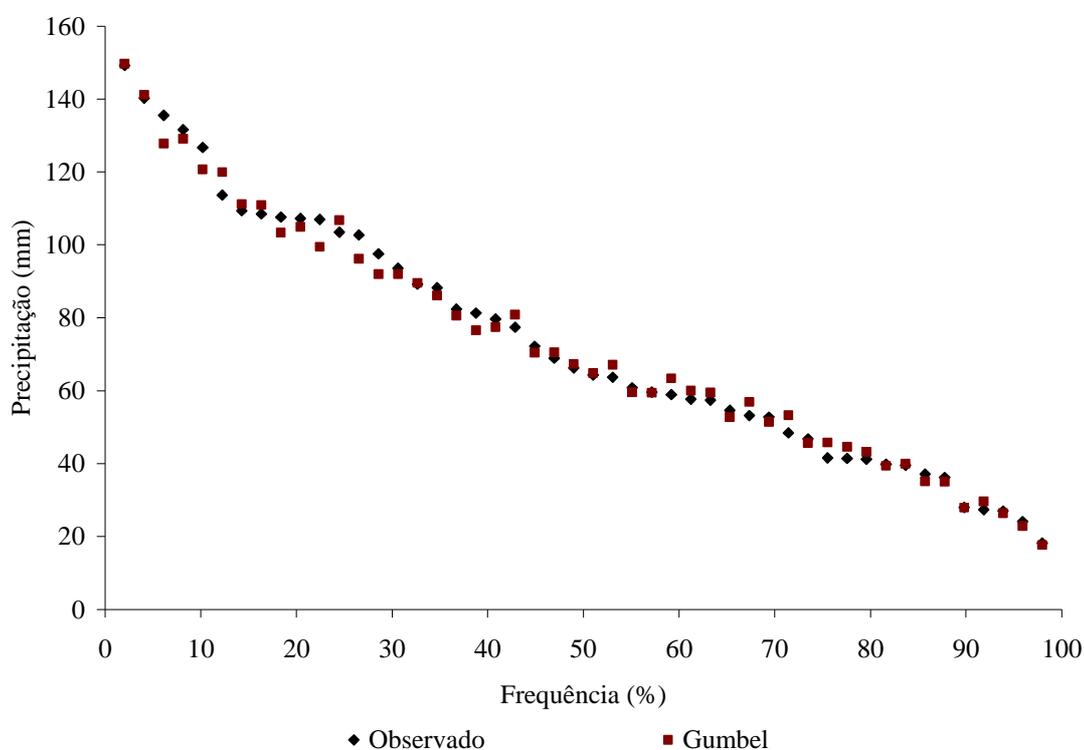


Figura 2. Distribuição de frequência das precipitação máximas observada e estimada pelo modelo de Gumbel, para o município de Dourados-MS.

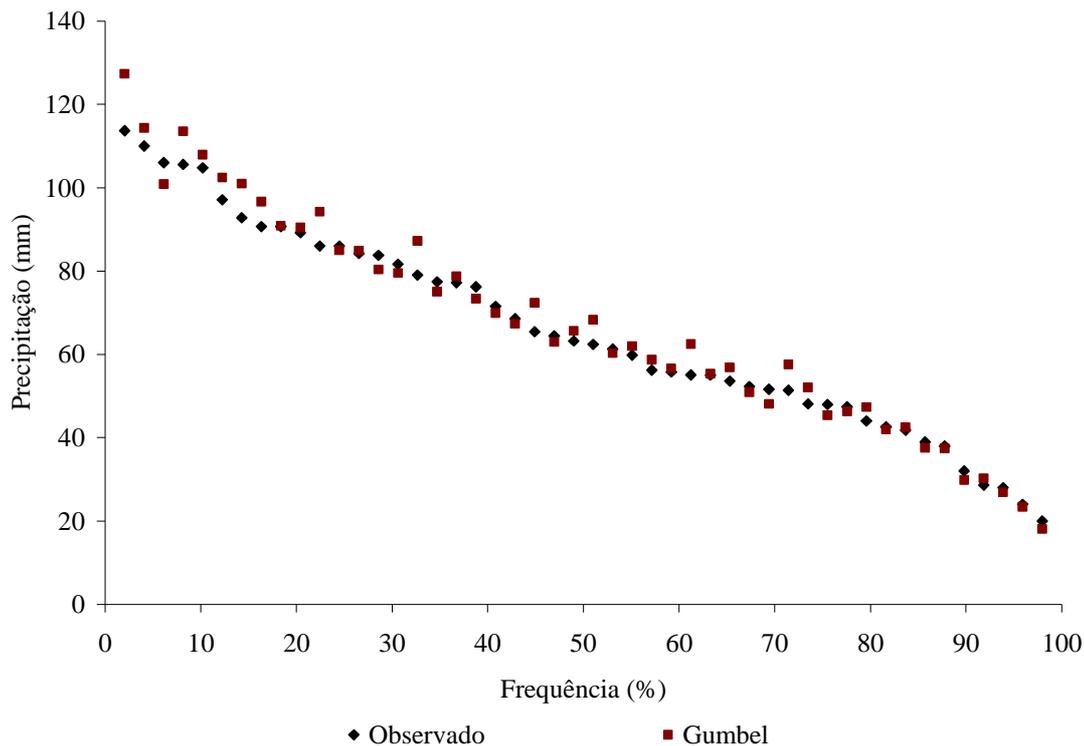


Figura 3. Distribuição de frequência das precipitação máximas observada e estimada, pelo modelo de Gumbel, para o município de Campo Grande-MS.

Verificada a aderência do modelo Gumbel, foi estimado, para os municípios estudados, os valores de intensidades máximas anuais com duração de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos (Anexo II).

Na Tabela 4 são apresentadas as equações de intensidade, duração e frequência para os municípios de Dourados-MS e Campo Grande-MS, obtida a partir dos valores de intensidades máximas, duração e período de retorno, que relaciona a duração (t) e o período de retorno (T) com a intensidade máxima de precipitação esperada (i_m), e seus respectivos coeficientes de determinação.

Tabela 4. Equações de intensidade máxima média de precipitação pluvial (i), em mm h^{-1} , em função do período de retorno (T), em anos, e da duração da precipitação (t), em minutos, para as estações de Dourados e Campo Grande, localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul.

Estação	Equação	r^2	Período analisado
Dourados	$i_m = \frac{2455,12633 T^{0,17975}}{(t + 28,14066)^{0,88386}}$	0,992	1979 - 1990 1992 - 2010
Campo Grande	$i_m = \frac{2575,12468 T^{0,15884}}{(t + 19,87315)^{0,92716}}$	0,997	1973-1985 1993-1998 2000-2009

Analisando o coeficiente de determinação (r^2), apresentado na Tabela 4, observa-se que as equações geradas permitem o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de retorno, com boa precisão.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados, para os municípios de Dourados e Campo Grande, as intensidades máximas de precipitação para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, obtidas pela equação ajustada por meio do método padrão (análise de pluviogramas), pelo método de desagregação de chuva de 24 horas proposto pelo DAEE/CETESB (1980), pelo método de desagregação de chuva de 24 horas com ajuste dos coeficientes, pelo método de Bell e pelo método de Bell com proposição do fator multiplicador conforme a duração da precipitação pluvial, a fim de avaliar o desempenho das metodologia através do Erro Médio Relativo (EMR) e índice de concordância proposto por Willmott (1982).

Tabela 5. Análise das intensidades de precipitação calculados pela relação entre intensidade, duração e frequência, obtida pelo método padrão (análise de pluviogramas) - (IDF1); desagregação de chuva de 24 horas proposto pela DAEE/CETESB (1980) - (IDF2); desagregação de chuva de 24 horas com a obtenção de coeficientes - (IDF3); modelo de Bell - (IDF4); modelo de Bell com uso do fator multiplicativo da duração - (IDF5); Erro Médio Relativo (EMR) do método em relação a Gumbel; e índice de concordância (d), para a estação de Dourados-MS.

Duração (min)	T (anos)	GUMBEL (mm/h)	IDF1 (mm/h)	EMR1 (%)	d	IDF2 (mm/h)	EMR2 (%)	d	IDF3 (mm/h)	EMR3 (%)	d	IDF4 (mm/h)	EMR4 (%)	d	IDF5 (mm/h)	EMR5 (%)	d
10	2	106,48	111,29	4,52		85,47	-23,20		116,81	4,96		23,73	-78,68		118,66	6,62	
10	5	137,58	131,22	-4,63		105,53	-19,57		142,50	8,60		30,59	-76,68		152,97	16,58	
10	10	158,18	148,63	-6,04	0,99	123,78	-16,72	0,93	165,62	11,43	0,91	35,78	-75,92	0,36	178,92	20,38	0,89
10	20	177,93	168,35	-5,39	Ótimo	145,18	-13,76	Ótimo	192,50	14,34	Ótimo	40,97	-75,66	Péssimo	204,87	21,70	Ótimo
10	50	203,50	198,49	-2,46		179,26	-9,69		234,83	18,31		47,84	-75,90		239,18	20,50	
10	100	222,67	224,83	0,97		210,25	-6,48		272,94	21,40		53,03	-76,41		265,13	17,93	
20	2	83,77	90,59	8,13		63,53	-29,87		93,43	3,14		33,10	-63,46		99,30	9,62	
20	5	105,51	106,81	1,23		78,44	-26,56		113,98	6,71		42,67	-60,05		128,01	19,85	
20	10	119,91	120,98	0,90	0,98	92,01	-23,95	0,84	132,47	9,50	0,93	49,91	-58,75	0,44	149,73	23,76	0,85
20	20	133,71	137,03	2,48	Ótimo	107,92	-21,25	Muito	153,97	12,36	Ótimo	57,15	-58,30	Mau	171,45	25,11	Ótimo
20	50	151,58	161,57	6,59		133,25	-17,53	Bom	187,83	16,26		66,72	-58,71		200,16	23,88	
20	100	164,97	183,01	10,93		156,29	-14,60		218,31	19,29		73,96	-59,59		221,87	21,24	
30	2	70,08	76,67	9,40		51,52	-32,80		77,78	1,45		39,38	-48,63		78,76	2,73	
30	5	91,37	90,40	-1,06		63,61	-29,63		94,89	4,96		50,77	-43,84		101,54	12,32	
30	10	105,47	102,39	-2,91	0,99	74,61	-27,13	0,79	110,28	7,71	0,94	59,38	-42,01	0,55	118,76	15,99	0,92
30	20	118,99	115,98	-2,53	Ótimo	87,51	-24,54	Muito	128,18	10,52	Ótimo	67,99	-41,37	Ruim	135,99	17,25	Ótimo
30	50	136,49	136,74	0,19		108,05	-20,98	Bom	156,37	14,35		79,38	-41,95		158,76	16,10	
30	100	149,60	154,89	3,54		126,74	-18,18		181,74	17,34		87,99	-43,19		175,99	13,62	
40	2	59,12	66,64	12,72		43,81	-34,26		66,58	-0,09		44,24	-33,61		66,36	-0,41	
40	5	77,19	78,57	1,79		54,09	-31,16		81,22	3,37		57,03	-27,41		85,55	8,89	
40	10	89,15	88,99	-0,18	0,99	63,44	-28,71	0,77	94,40	6,08	0,96	66,71	-25,04	0,73	100,06	12,44	0,95
40	20	100,63	100,80	0,17	Ótimo	74,41	-26,18	Muito	109,72	8,85	Ótimo	76,38	-24,22	Bom	114,58	13,67	Ótimo
40	50	115,49	118,85	2,91		91,88	-22,69	Bom	133,85	12,62		89,17	-24,97		133,76	12,55	
40	100	126,62	134,62	6,31		107,76	-19,95		155,57	15,56		98,85	-26,57		148,27	10,15	

Continua...

Tabela 5, Cont.

Duração	T	GUMBEL	IDF1	EMR1	d	IDF2	EMR2	d	IDF3	EMR3	d	IDF4	EMR4	d	IDF5	EMR5	d
(min)	(anos)	(mm/h)	(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)										
50	2	51,88	59,04	13,79		38,38	-35,00		58,17	-1,48		48,26	-18,26		57,91	-1,91	
50	5	71,54	69,61	-2,69		47,38	-31,93		70,96	1,94		62,21	-10,63		74,65	7,24	
50	10	84,55	78,85	-6,74	0,98	55,58	-29,51	0,76	82,47	4,60	0,97	72,77	-7,71	0,96	87,32	10,74	0,96
50	20	97,03	89,31	-7,96	Ótimo	65,19	-27,01	Bom	95,86	7,33	Ótimo	83,32	-6,71	Ótimo	99,98	11,95	Ótimo
50	50	113,18	105,30	-6,97		80,49	-23,56		116,94	11,05		97,27	-7,62		116,73	10,85	
50	100	125,29	119,27	-4,80		94,40	-20,85		135,91	13,95		107,83	-9,60		129,39	8,48	
60	2	45,77	53,08	15,97		34,32	-35,34		51,62	-2,75		51,71	-2,58		51,71	-2,58	
60	5	64,84	62,58	-3,49		42,37	-32,29		62,97	0,63		66,66	6,52		66,66	6,52	
60	10	77,47	70,89	-8,50	0,96	49,70	-29,89	0,75	73,19	3,26	0,97	77,97	10,00	0,97	77,97	10,00	0,97
60	20	89,58	80,29	-10,37	Ótimo	58,29	-27,40	Bom	85,07	5,95	Ótimo	89,28	11,20	Ótimo	89,28	11,20	Ótimo
60	50	105,26	94,67	-10,07		71,98	-23,97		103,78	9,63		104,23	10,10		104,23	10,10	
60	100	117,01	107,23	-8,36		84,42	-21,27		120,62	12,49		115,54	7,75		115,54	7,75	
120	2	26,65	33,54	25,88		21,92	-34,64		30,70	-8,47		66,37	97,87		33,19	-1,06	
120	5	38,29	39,55	3,30		27,07	-31,56		37,46	-5,29		85,56	116,34		42,78	8,17	
120	10	45,99	44,80	-2,60	0,98	31,75	-29,13	0,76	43,54	-2,82	0,99	100,08	123,40	0,33	50,04	11,70	0,96
120	20	53,39	50,74	-4,95	Ótimo	37,24	-26,61	Muito	50,60	-0,28	Ótimo	114,60	125,84	Péssimo	57,30	12,92	Ótimo
120	50	62,95	59,83	-4,97		45,98	-23,15	Bom	61,73	3,18		133,78	123,62		66,89	11,81	
120	100	70,12	67,76	-3,36		53,93	-20,42		71,74	5,87		148,30	118,85		74,15	9,42	
180	2	18,98	24,84	30,87		16,66	-32,91		21,78	-12,31		76,20			22,86	-7,95	
180	5	26,85	29,28	9,06		20,57	-29,74		26,57	-9,27		98,24			29,47	0,64	
180	10	32,06	33,17	3,45	0,98	24,13	-27,24	0,79	30,88	-6,90	0,99	114,90			34,47	3,93	0,99
180	20	37,06	37,57	1,36	Ótimo	28,30	-24,66	Muito	35,89	-4,47	Ótimo	131,57			39,47	5,06	Ótimo
180	50	43,54	44,30	1,74		34,95	-21,10	Bom	43,78	-1,15		153,60			46,08	4,03	
180	100	48,39	50,17	3,69		40,99	-18,30		50,89	1,43		170,27			51,08	1,81	

Continua...

Tabela 5, Cont.

Duração	T	GUMBEL	IDF1	EMR1	d	IDF2	EMR2	d	IDF3	EMR3	d	IDF4	EMR4	d	IDF5	EMR5	d
(min)	(anos)	(mm/h)	(mm/h)	(%)		(mm/h)			(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)	
240	2	15,01	19,85	32,25		13,67	-31,16		16,84	-15,16		83,81			16,76	-15,57	
240	5	21,53	23,41	8,72		16,87	-27,91		20,55	-12,22		108,04			21,61	-7,69	
240	10	25,85	26,51	2,59	0,98	19,79	-25,36	0,82	23,88	-9,93	0,98	126,37			25,27	-4,68	0,98
240	20	29,99	30,03	0,16	Ótimo	23,21	-22,70	Muito	27,76	-7,58	Ótimo	144,70			28,94	-3,64	Ótimo
240	50	35,34	35,41	0,19		28,66	-19,06	Bom	33,86	-4,37		168,93			33,79	-4,59	
240	100	39,36	40,11	1,91		33,62	-16,18		39,36	-1,87		187,26			37,45	-6,62	
360	2	10,56	14,32	35,58		10,30	-28,08		11,56	-19,27		95,50			12,42	-13,29	
360	5	15,33	16,88	10,11		12,71	-24,69		14,10	-16,47		123,11			16,00	-5,19	
360	10	18,49	19,12	3,42	0,98	14,91	-22,01	0,87	16,39	-14,29	0,94	144,00			18,72	-2,10	0,99
360	20	21,52	21,66	0,65	Ótimo	17,49	-19,24	Ótimo	19,05	-12,05	Ótimo	164,88			21,43	-1,03	Ótimo
360	50	25,44	25,54	0,37		21,60	-15,43		23,24	-9,00		192,49			25,02	-2,01	
360	100	28,38	28,92	1,92		25,33	-12,43		27,01	-6,62		213,38			27,74	-4,10	
720	2	5,61	8,02	42,88		6,31	-21,35		5,91	-26,26		118,45			5,92	-26,12	
720	5	8,29	9,45	14,03		7,79	-17,63		7,21	-23,70		152,69			7,63	-19,23	
720	10	10,06	10,71	6,40	0,96	9,13	-14,71	0,95	8,38	-21,71	0,85	178,60			8,93	-16,59	0,85
720	20	11,76	12,13	3,09	Ótimo	10,71	-11,68	Ótimo	9,74	-19,66	Ótimo	204,50			10,23	-15,68	Ótimo
720	50	13,97	14,30	2,38		13,22	-7,51		11,88	-16,88		238,75			11,94	-16,51	
720	100	15,61	16,19	3,71		15,51	-4,23		13,81	-14,71		264,65			13,23	-18,29	
1440	2	2,94	4,42	50,44		3,84	-13,01		3,12	-29,42		145,74			2,91	-34,02	
1440	5	4,37	5,21	19,11		4,74	-8,91		3,80	-26,98		187,87			3,76	-27,86	
1440	10	5,32	5,90	10,81	0,94	5,57	-5,67	0,99	4,42	-25,07	0,80	219,75			4,39	-25,51	0,72
1440	20	6,24	6,68	7,15	Ótimo	6,53	-2,32	Ótimo	5,14	-23,11	Muito	251,62			5,03	-24,70	Bom
1440	50	7,42	7,88	6,22		8,06	2,29		6,27	-20,44	Bom	293,75			5,88	-25,44	
1440	100	8,30	8,92	7,49		9,45	5,92		7,29	-18,37		325,63			6,51	-27,03	

Tabela 6. Análise das intensidades de precipitação calculados pela relação entre intensidade, duração e frequência, obtida pelo método padrão (análise de pluviogramas) - (IDF1); desagregação de chuva de 24 horas proposto pela DAEE/CETESB (1980) - (IDF2); desagregação de chuva de 24 horas com a obtenção de coeficientes - (IDF3); modelo de Bell - (IDF4); modelo de Bell com uso do fator multiplicativo da duração - (IDF5); Erro Médio Relativo (EMR) do método em relação a Gumbel; e índice de concordância (d), para a estação de Campo Grande-MS.

Duração (min)	T (anos)	GUMBEL (mm/h)	IDF1 (mm/h)	EMR1 (%)	d	IDF2 (mm/h)	EMR2 (%)	d	IDF3 (mm/h)	EMR3 (%)	d	IDF4 (mm/h)	EMR4 (%)	d	IDF5 (mm/h)	EMR5 (%)	d
10	2	108,54	123,25	13,55		88,07	-28,55		130,05	5,52		20,12	-83,68		100,59	-18,38	
10	5	140,34	142,56	1,58		101,76	-28,62		148,39	4,09		25,93	-81,81		129,67	-9,04	
10	10	161,39	159,15	-1,39	0,99	113,51	-28,68	0,65	163,97	3,03	0,99	30,33	-80,94	0,31	151,67	-4,70	0,98
10	20	181,59	177,68	-2,15	Ótimo	126,62	-28,74	Médio	181,18	1,97	Ótimo	34,73	-80,45	Péssimo	173,67	-2,25	Ótimo
10	50	207,73	205,51	-1,06		146,30	-28,81		206,73	0,59		40,55	-80,27		202,76	-1,34	
10	100	227,31	229,43	0,93		163,20	-28,87		228,43	-0,44		44,95	-80,41		224,76	-2,04	
20	2	89,40	94,30	5,48		65,46	-30,58		103,85	10,12		28,06	-70,24		84,18	-10,73	
20	5	112,31	109,08	-2,88		75,64	-30,66		118,50	8,64		36,17	-66,84		108,52	-0,51	
20	10	127,47	121,77	-4,47	0,99	84,37	-30,71	0,63	130,93	7,52	0,98	42,31	-65,26	0,38	126,93	4,23	0,98
20	20	142,02	135,95	-4,28	Ótimo	94,12	-30,77	Médio	144,68	6,42	Ótimo	48,45	-64,36	Péssimo	145,34	6,91	Ótimo
20	50	160,85	157,24	-2,24		108,75	-30,84		165,08	4,98		56,56	-64,03		169,68	7,91	
20	100	174,96	175,55	0,34		121,30	-30,90		182,41	3,91		62,70	-64,29		188,09	7,14	
30	2	75,20	76,63	1,91		53,08	-30,73		86,31	12,63		33,39	-56,44		66,77	-12,87	
30	5	92,59	88,64	-4,26		61,33	-30,81		98,48	11,11		43,04	-51,45		86,07	-2,89	
30	10	104,10	98,96	-4,94	0,99	68,42	-30,86	0,63	108,82	9,97	0,96	50,34	-49,13	0,48	100,68	1,74	0,99
30	20	115,14	110,47	-4,05	Ótimo	76,32	-30,92	Médio	120,24	8,84	Ótimo	57,64	-47,82	Mau	115,28	4,35	Ótimo
30	50	129,43	127,78	-1,28		88,18	-30,99		137,20	7,37		67,29	-47,34		134,58	5,32	
30	100	140,15	142,65	1,79		98,36	-31,05		151,60	6,27		74,59	-47,71		149,19	4,58	
40	2	63,00	64,69	2,67		45,13	-30,23		73,76	14,02		37,50	-42,02		56,26	-13,04	
40	5	76,38	74,82	-2,04		52,15	-30,31		84,16	12,48		48,35	-35,39		72,52	-3,08	
40	10	85,23	83,53	-2,00	0,99	58,17	-30,36	0,63	93,00	11,33	0,94	56,55	-32,30	0,63	84,82	1,55	0,99
40	20	93,73	93,26	-0,50	Ótimo	64,89	-30,42	Médio	102,76	10,19	Ótimo	64,75	-30,57	Médio	97,13	4,15	Ótimo
40	50	104,72	107,87	3,00		74,97	-30,49		117,25	8,70		75,59	-29,92		113,39	5,12	
40	100	112,96	120,42	6,60		83,63	-30,55		129,56	7,59		83,80	-30,41		125,70	4,38	

Continua...

Tabela 6, Cont.

Duração	T	GUMBEL	IDF1	EMR1	d	IDF2	EMR2	d	IDF3	EMR3	d	IDF4	EMR4	d	IDF5	EMR5	d
(min)	(anos)	(mm/h)	(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)	
50	2	54,45	56,06	2,96		39,54	-29,47		64,35	14,79		40,91	-27,02		49,09	-12,43	
50	5	66,42	64,84	-2,37		45,68	-29,55		73,42	13,24		52,74	-18,67		63,28	-2,40	
50	10	74,34	72,39	-2,63	0,99	50,96	-29,61	0,64	81,13	12,08	0,94	61,68	-14,79	0,89	74,02	2,26	0,98
50	20	81,94	80,81	-1,38	Ótimo	56,84	-29,66	Médio	89,64	10,93	Ótimo	70,63	-12,60	Ótimo	84,76	4,88	Ótimo
50	50	91,78	93,47	1,85		65,68	-29,74		102,29	9,43		82,46	-11,78		98,95	5,86	
50	100	99,15	104,35	5,24		73,26	-29,79		113,02	8,31		91,41	-12,41		109,69	5,11	
60	2	48,14	49,52	2,87		35,35	-28,61		57,03	15,16		43,84	-11,48		43,84	-11,48	
60	5	58,69	57,28	-2,40		40,85	-28,68		65,07	13,61		56,51	-1,34		56,51	-1,34	
60	10	65,67	63,95	-2,63	0,99	45,57	-28,74	0,65	71,90	12,44	0,93	66,10	3,37	0,98	66,10	3,37	0,98
60	20	72,37	71,39	-1,36	Ótimo	50,83	-28,80	Médio	79,45	11,29	Ótimo	75,69	6,02	Ótimo	75,69	6,02	Ótimo
60	50	81,05	82,57	1,88		58,73	-28,87		90,66	9,79		88,36	7,01		88,36	7,01	
60	100	87,54	92,18	5,30		65,51	-28,93		100,17	8,67		97,95	6,25		97,95	6,25	
120	2	28,30	29,46	4,07		22,58	-23,34		33,70	14,40		56,27	91,02		28,13	-4,49	
120	5	34,97	34,07	-2,56		26,09	-23,42		38,45	12,85		72,53	112,89		36,27	6,44	
120	10	39,38	38,04	-3,41	0,99	29,10	-23,49	0,72	42,49	11,70	0,94	84,84	123,05	0,30	42,42	11,52	0,93
120	20	43,61	42,46	-2,63	Ótimo	32,46	-23,55	Bom	46,94	10,55	Ótimo	97,14	128,77	Péssimo	48,57	14,39	Ótimo
120	50	49,09	49,12	0,06		37,51	-23,63		53,57	9,06		113,41	130,91		56,71	15,45	
120	100	53,19	54,83	3,09		41,84	-23,69		59,19	7,94		125,72	129,28		62,86	14,64	
180	2	20,10	21,16	5,27		17,16	-18,89		23,79	12,44		64,60			19,38	-8,40	
180	5	25,02	24,47	-2,21		19,83	-18,97		27,14	10,92		83,28			24,98	2,09	
180	10	28,29	27,32	-3,42	0,99	22,12	-19,04	0,80	29,99	9,78	0,96	97,41			29,22	6,96	0,96
180	20	31,42	30,50	-2,92	Ótimo	24,67	-19,10	Muito	33,14	8,66	Ótimo	111,53			33,46	9,71	Ótimo
180	50	35,47	35,28	-0,53		28,51	-19,19	Bom	37,81	7,19		130,21			39,06	10,73	
180	100	38,50	39,38	2,29		31,80	-19,25		41,78	6,09		144,34			43,30	9,95	

Continua...

Tabela 6, Cont.

Duração	T	GUMBEL	IDF1	EMR1	d	IDF2	EMR2	d	IDF3	EMR3	d	IDF4	EMR4	d	IDF5	EMR5	d
(min)	(anos)	(mm/h)	(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)		(mm/h)	(%)	
240	2	15,75	16,59	5,33		14,07	-15,15		18,33	10,51		71,05			14,21	-14,33	
240	5	19,88	19,18	-3,50		16,26	-15,24		20,91	9,02		91,59			18,32	-4,52	
240	10	22,62	21,42	-5,30	0,99	18,14	-15,31	0,86	23,11	7,90	0,97	107,13			21,43	0,04	0,99
240	20	25,24	23,91	-5,27	Ótimo	20,23	-15,38	Ótimo	25,53	6,79	Ótimo	122,66			24,53	2,60	Ótimo
240	50	28,64	27,66	-3,43		23,38	-15,47		29,14	5,35		143,21			28,64	3,56	
240	100	31,18	30,88	-0,99		26,08	-15,53		32,19	4,27		158,74			31,75	2,83	
360	2	11,22	11,66	3,93		10,60	-9,11		12,51	7,23		80,96			10,52	-9,77	
360	5	14,17	13,49	-4,76		12,25	-9,21		14,27	5,78		104,36			13,57	0,56	
360	10	16,12	15,06	-6,54	0,99	13,66	-9,28	0,95	15,77	4,70	0,99	122,07			15,87	5,35	0,97
360	20	17,99	16,82	-6,50	Ótimo	15,24	-9,35	Ótimo	17,43	3,62	Ótimo	139,78			18,17	8,06	Ótimo
360	50	20,40	19,45	-4,68		17,61	-9,45		19,88	2,22		163,18			21,21	9,07	
360	100	22,22	21,71	-2,27		19,65	-9,52		21,97	1,18		180,89			23,52	8,30	
720	2	6,12	6,29	2,78		6,49	3,23		6,33	0,71		100,41			5,02	-20,14	
720	5	7,57	7,27	-3,97		7,50	3,12		7,22	-0,66		129,44			6,47	-11,00	
720	10	8,54	8,12	-4,89	0,99	8,37	3,04	0,99	7,98	-1,67	0,99	151,40			7,57	-6,75	0,97
720	20	9,46	9,06	-4,20	Ótimo	9,33	2,96	Ótimo	8,82	-2,68	Ótimo	173,36			8,67	-4,36	Ótimo
720	50	10,66	10,48	-1,63		10,78	2,85		10,06	-4,00		202,39			10,12	-3,47	
720	100	11,55	11,70	1,30		12,03	2,77		11,12	-4,98		224,35			11,22	-4,15	
1440	2	3,35	3,35	-0,06		3,95	18,12		3,14	-6,25		123,54			2,47	-26,20	
1440	5	4,20	3,87	-7,83		4,57	17,99		3,58	-7,52		159,26			3,19	-17,75	
1440	10	4,77	4,32	-9,28	0,97	5,10	17,90	0,86	3,96	-8,46	0,94	186,28			3,73	-13,82	0,90
1440	20	5,31	4,83	-9,04	Ótimo	5,69	17,80	Ótimo	4,37	-9,40	Ótimo	213,30			4,27	-11,61	Ótimo
1440	50	6,01	5,58	-7,05		6,57	17,68		4,99	-10,62		249,02			4,98	-10,79	
1440	100	6,53	6,23	-4,57		7,33	17,58		5,51	-11,54		276,04			5,52	-11,42	

Estabelecida a relação entre os métodos, para as localidades estudadas, verifica-se que o método considerado padrão (análise de pluviogramas) obteve um ótimo desempenho em relação a estimativa de Gumbel, com índice de concordância médio de 0,98, para a região de Dourados, com variação de 0,94 (duração de 1440 min) a 0,99 (duração de 30 min) e, para a região de Campo Grande, obteve-se média de 0,99, e variação de 0,97 (duração de 1440 min) a 0,99 (duração de 180 min).

Na comparação entre os métodos alternativos avaliados (desagregação de chuva de 24 horas proposto por DAEE/CETESB (1980), desagregação de chuva de 24 horas com proposição de coeficientes ajustados; método de Bell e método Bell com uso do fator multiplicativo conforme a duração da chuva) com o método padrão (análise de pluviogramas), verificou-se que o método que apresentou melhor desempenho foi o de desagregação de chuvas de 24 horas ajustado, com índice de concordância médio de 0,94 para Dourados (variação de 0,80 a 0,99, ocorrido nas durações de 1440 e 120 min, respectivamente) e de 0,96 para Campo Grande (variação de 0,93 a 0,99, nas durações de 60 e 10 min, respectivamente). Na Tabela 7 são apresentados os coeficientes de desagregação de dados de chuva de 24 horas propostos para serem praticados no Estado de Mato Grosso do Sul.

Tabela 7. Coeficientes de desagregação de dados de chuva proposto no trabalho para aplicação no Estado de Mato Grosso do Sul.

Duração	1440min/24h	720min/24h	360min/24h	240min/24h	180min/24h	120min/24h
Coeficiente	1,14	0,94	0,88	0,82	0,79	0,74
Duração	60min/24h	50min/24h	40min/24h	30min/24h	20min/24h	10min/24h
Coeficiente	0,63	0,60	0,55	0,49	0,39	0,24

O método de desagregação de chuva de 24 horas proposto por DAEE/CETESB (1980), resultou, de modo geral, em subestimativa da intensidade de precipitação máxima da ordem de 24,4% para Dourados e de 24,6% para Campo Grande, sem considerar a duração de 1440 min, que apresentou um comportamento bem diferenciado para as localidades trabalhadas, com subestimativa de da ordem de 3,6% em Dourados e superestimativa de 17,8% em Campo Grande. É importante ressaltar que esta metodologia apresentou uma variação, de modo geral, sempre negativa em relação ao método padrão, mostrando uma subestimativa do valor. Este fato proporciona uma

menor segurança às obras hidroagrícolas, por outro lado, diminui o custo de implantação.

O modelo de Bell não se mostrou adequado, apresentando o pior desempenho, com subestimativas da ordem de 78,7% e superestimativas de 125,8% para a localidade de Dourados. Na análise para Campo Grande ocorreu o mesmo comportamento, com variações da ordem de -83,7% a 130,9%. No entanto, para chuvas com duração de 60 min, não se verificou diferenças entre as metodologias: análise de pluviogramas, desagregação de chuvas de 24 horas com ajuste dos coeficientes e método de Bell, para todos os períodos de retorno avaliados, sendo o índice de concordância, em ambas as localidades estudadas, acima de 0,93.

O método de Bell com uso do fator multiplicativo proposto conforme a duração da chuva (Tabela 8), obteve ajustes satisfatórios, com índices de concordância variando de 0,72 a 0,99 (média de 0,92) para Dourados, e variação de 0,90 a 0,99 (média de 0,97) para a localidade de Campo Grande. Ressalta-se que, apesar da validade da equação, compreender a períodos de retorno entre 2 e 100 anos e duração inferior a 120 minutos (inclusive), a análise foi feita para todas as durações estudadas, com resultados satisfatórios, comprovados pelo desempenho ótimo. Entretanto, devido a falta de mais estações pluviográficas no Estado de Mato Grosso do Sul, deverão ser realizados mais estudos para uso dos fatores multiplicativos em função da duração da chuva.

Tabela 8. Fator multiplicativo conforme variação da duração da chuva proposto para determinação da intensidade de precipitação máxima com uso da metodologia de Bell (1969), para aplicação no Estado de Mato Grosso do Sul.

Duração	1440min	720min	360min	240min	180min	120min
Coeficiente	0,02	0,05	0,13	0,20	0,30	0,50
Duração	60min	50min	40min	30min	20min	10min
Coeficiente	1,00	1,20	1,50	2,00	3,00	5,00

Os resultados alcançados para o método de desagregação de chuva de 24 horas com ajuste dos coeficientes foram satisfatórios e, portanto, foi a metodologia utilizada para estimar os parâmetros das equações que relacionam a intensidade, duração e frequência para diversas localidades do Estado de Mato Grosso do Sul (Tabela 9). Verificou-se bom ajuste das equações de chuvas intensas, com valores r^2 acima de 0,98.

Na Tabela 9, pode-se observar expressiva variação nos parâmetros das equações ajustadas. O parâmetro K apresentou uma variação de 84,5%, com amplitude de 4905,2192, na localidade de Ribas do Rio Pardo (Código: 2153002), a 9048,4502, em Cassilândia (Código: 1951004). Os valores de a apresentou uma variação da ordem de 133%, com valores variando de 0,1344 (Chapadão do Sul, Código: 1852002) a 0,3133 (Cassilândia, Código: 1951004).

Os parâmetros b e c da equação ajustada de IDF foram os que apresentaram as menores variações, sendo estes de 3,6% e 1,7%, com amplitudes de 32,2083 (Coxim, Código: 1855000) a 33,3651 (Camapuã, Código: 1954006), e 1,0486 (Ribas do Rio Pardo, Código: 2153002) a 1,0660 (Camapuã, Código: 1954006), respectivamente.

A grande variabilidade de valores dos parâmetros da equação de intensidades de precipitação, evidencia a necessidade da consideração de informações locais para a realização de estudos e de projetos hidráulicos. Este fato mostra que o uso de estações vizinhas, para locais que não dispõem da equação ajustada, interfere na segurança do dimensionamento e nos custos das obras.

Tabela 9. Coeficientes K , a , b e c das equações de intensidade máxima média de precipitação pluvial, em mm h^{-1} , em função do período de retorno (T), em anos, e da duração da chuva (t), em minutos, para 105 estações pluviométricas, localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul, e respectivos coeficientes de determinação (r^2).

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	K	a	b	c	r^2	Anos analisados
1754004	PEDRO SEVERO	PEDRO GOMES	17° 49' 51"	54° 18' 47"	268	5690,7755	0,1589	32,3738	1,0510	0,998	35
1755001	UNIÃO	CORUMBÁ	17° 47' 25"	55° 46' 25"	134	7766,5450	0,2573	32,5448	1,0527	0,991	35
1755004	SÃO JERÔNIMO	AQUIDAUANA	17° 10' 00"	55° 59' 00"	122	7428,1952	0,1928	32,8031	1,0577	0,996	19
1756002	RETIRO SEGURO	CORUMBÁ	18° 01' 15"	56° 43' 55"	110	7352,4134	0,2345	32,5167	1,0539	0,993	28
1756003	PORTO DO ALEGRE	CORUMBÁ	17° 37' 24"	56° 57' 54"	101	6993,5398	0,2558	32,6171	1,0549	0,991	37
1852002	INDÁIA GRANDE	CHAPADÃO DO SUL	18° 59' 52"	52° 35' 17"	570	6127,4114	0,1344	32,6331	1,0539	0,998	30
1852003	CIDADE CHAPADÃO GAUCHO	CHAPADÃO DO SUL	18° 41' 30"	52° 35' 38"	721	7140,0033	0,2653	32,6245	1,0552	0,990	30
1853002	CACHOEIRA POLVORA	COXIM	18° 11' 26"	54° 15' 28"	316	5519,4534	0,1616	32,9188	1,0603	0,998	31
1853004	COSTA RICA	COSTA RICA	18° 32' 50"	53° 08' 07"	635	5701,1907	0,1678	32,7008	1,0556	0,997	30
1853005	COLÔNIA FIGUEIRÃO	FIGUEIRÃO	18° 40' 47"	53° 38' 16"	392	7169,1135	0,2515	32,6693	1,0563	0,992	29
1854001	PEDRO GOMES	PEDRO GOMES	18° 05' 55"	54° 32' 50"	113	6401,7760	0,1818	32,8009	1,0561	0,997	36
1854002	RIO VERDE DE MATO GROSSO	RIO VERDE DE MATO GROSSO	18° 54' 36"	54° 49' 56"	340	6552,8887	0,1550	32,8292	1,0575	0,998	30
1854003	JAURO	COXIM	18° 38' 57"	54° 21' 26"	250	5770,0077	0,1847	32,2997	1,0494	0,997	34
1854006	CONFLUÊNCIA DO RIO JAURO	RIO VERDE DE MATO GROSSO	18° 43' 49"	54° 34' 43"	223	6590,3928	0,1898	32,6333	1,0557	0,996	28
1855000	FAZENDA SÃO GONÇALO	COXIM	18° 21' 00"	55° 51' 00"	138	6273,4912	0,1523	32,2083	1,0496	0,998	12
1857001	AMOLAR	CORUMBÁ	18° 02' 25"	57° 29' 27"	111	6292,9328	0,2205	32,5921	1,0530	0,994	29
1857002	SÃO JOSÉ DO MATO GRANDE	CORUMBÁ	18° 14' 11"	56° 58' 23"	103	5799,7010	0,1915	32,5079	1,0529	0,996	27
1951003	FAZENDA PINDORAMA	PARANAÍBA	19° 23' 27"	51° 36' 32"	458	5856,2826	0,1847	32,4899	1,0528	0,997	30
1951004	ARVORE GRANDE	CASSILÂNDIA	19° 13' 45"	51° 52' 30"	734	9048,4502	0,3133	32,6016	1,0546	0,984	30
1951005	INOCÊNCIA	INOCÊNCIA	19° 44' 11"	51° 56' 01"	502	5946,4691	0,2142	32,7786	1,0573	0,995	30
1952000	ALTO SUCURIU	CHAPADÃO DO SUL	19° 26' 39"	52° 33' 30"	370	5993,0011	0,2202	32,7590	1,0575	0,994	30

Continua...

Tabela 9. Cont.

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	K	a	b	c	r ²	Anos analisados
1952001	PONTAL	ÁGUA CLARA	19° 40' 41"	52° 53' 47"	471	5936,0589	0,2042	32,8957	1,0592	0,996	30
1952002	MORANGAS	INOCÊNCIA	19° 33' 13"	52° 09' 59"	401	5834,6716	0,1556	32,6343	1,0538	0,998	30
1952003	SÃO JOSÉ DO SUCURIU	TRÊS LAGOAS	19° 57' 48"	52° 13' 34"	300	6176,7050	0,1781	32,6507	1,0547	0,997	28
1953000	ALTO RIO VERDE	ÁGUA CLARA	19° 22' 37"	53° 34' 11"	447	6013,6866	0,2021	32,3710	1,0517	0,996	30
1953001	VISTA ALEGRE	RIBAS DO RIO PARDO	19° 47' 05"	53° 57' 50"	524	5471,1033	0,1770	32,6686	1,0556	0,997	30
1953003	FURLANETO	ÁGUA CLARA	19° 16' 19"	53° 29' 27"	571	5963,1516	0,1729	32,3428	1,0497	0,997	30
1954002	ROCHEDO	ROCHEDO	19° 57' 09"	54° 53' 34"	259	5418,4125	0,1639	32,3580	1,0519	0,998	33
1954003	RIO NEGRO	RIO NEGRO	19° 26' 23"	54° 59' 00"	233	6018,5020	0,2120	32,8050	1,0588	0,995	33
1954004	CAMAPUÃ	CAMAPUÃ	19° 29' 48"	53° 59' 48"	404	6234,0370	0,1758	32,2943	1,0495	0,997	35
1954005	BANDEIRANTES	BANDEIRANTES	19° 55' 04"	54° 21' 31"	456	6327,6227	0,1828	32,6289	1,0549	0,997	32
1954006	FAZENDA CARANDA	CAMAPUÃ	19° 19' 20"	54° 09' 40"	357	7003,0922	0,1859	33,3651	1,0660	0,997	30
1955000	IGUAÇU	AQUIDAUANA	19° 56' 41"	55° 47' 40"	130	7152,4278	0,2142	32,2830	1,0507	0,995	31
1956001	PARAÍSO	CORUMBÁ	19° 10' 24"	56° 42' 44"	96	5984,2837	0,2318	32,3994	1,0518	0,993	34
1956003	ENTRE RIOS	AQUIDAUANA	19° 41' 48"	56° 16' 58"	103	6852,0312	0,1624	32,9616	1,0605	0,998	32
1956004	CAMPO ALTO	CORUMBÁ	19° 00' 12"	56° 05' 20"	123	6252,5207	0,1840	32,4477	1,0525	0,997	34
1956005	BODOQUENA	MIRANDA	19° 52' 15"	56° 59' 01"	133	6481,4366	0,2152	32,4622	1,0520	0,995	34
1956008	SÃO SEBASTIÃO	AQUIDAUANA	19° 21' 33"	56° 24' 33"	105	6665,9219	0,2095	32,8352	1,0575	0,995	31
1957002	CORUMBÁ (ETA)	CORUMBÁ	19° 00' 21"	57° 36' 07"	126	6002,6749	0,2338	32,9164	1,0582	0,993	18
1957003	PORTO DA MANGA	CORUMBÁ	19° 15' 30"	57° 14' 07"	86	6783,7620	0,1788	32,5623	1,0540	0,997	30
1957004	FORTE COIMBRA	CORUMBÁ	19° 55' 07"	57° 47' 22"	83	5944,5426	0,1938	32,5693	1,0529	0,996	33
1957005	PIRAPUTANGA	CORUMBÁ	19° 18' 19"	57° 35' 36"	97	7430,4521	0,2386	32,7870	1,0570	0,993	30
1957006	PORTO ESPERANÇA	CORUMBÁ	19° 36' 03"	57° 26' 17"	83	5994,5052	0,2219	32,4101	1,0514	0,994	34
2051037	JUPIÁ	TRÊS LAGOAS	20° 48' 00"	51° 38' 00"	260	6132,6377	0,2049	32,9281	1,0592	0,995	34
2051045	SELVIRIA	SELVIRIA	20° 21' 49"	51° 25' 26"	348	5618,2993	0,1421	32,7026	1,0562	0,998	30

Continua...

Tabela 9. Cont.

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	K	a	b	c	r ²	Anos analisados
2051046	APARECIDA DO TABOADO	APARECIDA DO TABOADO	20° 04' 06"	51° 06' 13"	375	5294,0747	0,1704	33,0696	1,0613	0,997	30
2052002	ÁGUA CLARA	RIBAS DO RIO PARDO	20° 26' 43"	52° 55' 08"	292	5921,5833	0,1944	32,4832	1,0519	0,996	37
2052003	FAZENDA RIO VERDE	ÁGUA CLARA	20° 06' 07"	52° 55' 33"	376	6324,5214	0,1873	32,8538	1,0573	0,997	30
2052004	GARCIAS	TRÊS LAGOAS	20° 36' 10"	52° 13' 06"	391	5496,5699	0,1907	32,6121	1,0547	0,996	30
2052006	PORTO GALEANO	TRÊS LAGOAS	20° 05' 38"	52° 09' 37"	317	5322,6414	0,1839	32,6575	1,0542	0,997	29
2053000	RIBAS DO RIO PARDO	RIBAS DO RIO PARDO	20° 26' 41"	53° 45' 29"	373	5962,3590	0,2273	32,5859	1,0541	0,994	40
2053001	USINA MIMOSO	RIBAS DO RIO PARDO	20° 40' 37"	53° 34' 17"	345	5475,2402	0,1665	32,5695	1,0530	0,997	30
2053004	CAMPOS ELISIOS	SANTA RITA DO PARDO	20° 57' 40"	53° 17' 17"	298	5663,3906	0,1877	32,8138	1,0556	0,997	26
2054001	CAMPO GRANDE (SBCG)	CAMPO GRANDE	20° 28' 00"	54° 40' 00"	559	6057,5985	0,1635	32,4526	1,0513	0,998	12
2054005	JARAGUÁ	TERENOS	20° 29' 35"	54° 48' 41"	518	6581,9081	0,1695	32,6592	1,0560	0,997	34
2054010	CAIXA D'ÁGUA	CAMPO GRANDE	20° 27' 00"	54° 38' 00"	576	5775,1994	0,1991	32,2817	1,0494	0,996	19
2054014	DNOS - 8.DRS	CAMPO GRANDE	20° 27' 06"	54° 37' 39"	562	5719,0260	0,1815	32,6163	1,0547	0,997	27
2054019	JARAGUARI	JARAGUARI	20° 06' 08"	54° 26' 05"	577	5249,1201	0,2087	32,5118	1,0534	0,995	30
2054020	ALEGRE	RIBAS DO RIO PARDO	20° 28' 15"	54° 05' 48"	515	6017,0153	0,1878	32,7089	1,0569	0,996	29
2054021	SIDROLÂNDIA	SIDROLÂNDIA	20° 57' 05"	54° 58' 18"	469	6817,4348	0,1982	32,9410	1,0579	0,996	29
2055001	CIPOLÂNDIA	AQUIDAUANA	20° 07' 40"	55° 23' 36"	171	6686,7665	0,2130	32,6318	1,0542	0,995	35
2055002	PALMEIRAS	DOIS IRMÃOS DO BURITI	20° 26' 56"	55° 25' 51"	175	6515,6310	0,2194	32,4805	1,0525	0,995	33
2055003	FAZENDA LAJEADO	DOIS IRMÃOS DO BURITI	20° 17' 32"	55° 26' 43"	204	6138,5261	0,1974	32,6135	1,0547	0,996	28
2055004	TABOCO	AQUIDAUANA	20° 04' 13"	55° 38' 43"	146	7107,7127	0,2119	32,3666	1,0504	0,995	34
2056001	MIRANDA	MIRANDA	20° 14' 29"	56° 22' 06"	141	6408,8414	0,2161	32,6344	1,0551	0,995	30
2056003	ESTRADA MT-738	BONITO	20° 45' 52"	56° 05' 35"	139	6249,0075	0,1806	32,4776	1,0528	0,997	33
2056005	GUAICURUS	MIRANDA	20° 06' 07"	56° 47' 43"	140	7143,0121	0,1946	33,1063	1,0630	0,996	32
2056006	MIRANDA	MIRANDA	20° 14' 00"	56° 23' 00"	114	7568,5891	0,2274	32,7296	1,0563	0,994	12
2056007	SANTA ROSA	PORTO MURTINHO	20° 55' 36"	56° 59' 02"	192	7067,3322	0,1507	32,4837	1,0530	0,998	22

Continua...

Tabela 9. Cont.

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	K	a	b	c	r ²	Anos analisados
2057000	TARUMA	CORUMBÁ	20° 17' 27"	57° 38' 52"	81	6415,4234	0,2178	32,4308	1,0510	0,995	29
2152000	PORTO VELHO	TRÊS LAGOAS	20° 47' 00"	52° 21' 54"	316	5518,7460	0,1558	32,7560	1,0596	0,998	41
2152001	PORTO UERÊ	BATAGUASSU	21° 43' 33"	52° 20' 03"	293	6326,1735	0,1826	32,6628	1,0554	0,997	41
2152005	XAVANTINA DO SUL	SANTA RITA DO PARDO	21° 17' 43"	52° 48' 38"	393	5786,0451	0,1466	32,7743	1,0588	0,998	37
2152014	FAZENDA BOA ESPERANÇA	BRASILÂNDIA	21° 14' 58"	52° 17' 17"	336	5926,3889	0,1935	32,3787	1,0507	0,996	29
2152016	FAZENDA MIMOSINHO	SANTA RITA DO PARDO	21° 04' 11"	52° 59' 37"	352	6027,2534	0,1914	32,5951	1,0533	0,996	26
2153000	PORTO PINDAÍBA	NOVA ANDRADINA	21° 36' 55"	53° 03' 08"	271	6424,3653	0,2192	32,9106	1,0593	0,994	41
2153002	PASSAGEM RIBEIRÃO LONTRA	RIBAS DO RIO PARDO	21° 24' 34"	53° 36' 48"	335	4905,2192	0,2178	32,2208	1,0486	0,995	29
2153003	XAVANTE	NOVA ANDRADINA	21° 58' 56"	53° 26' 20"	374	5325,1933	0,1721	32,7510	1,0581	0,997	29
2153004	LANCEIRO	RIBAS DO RIO PARDO	21° 01' 22"	53° 32' 13"	383	5347,9119	0,1717	32,9182	1,0587	0,997	29
2154000	AROEIRA	RIO BRILHANTE	21° 38' 50"	54° 25' 31"	287	5670,4304	0,2058	32,7165	1,0564	0,995	41
2154001	PORTO RIO BRILHANTE	RIO BRILHANTE	21° 48' 22"	54° 36' 11"	321	6120,8351	0,2191	32,5546	1,0553	0,994	41
2157005	MARABÁ	PORTO MURTINHO	21° 41' 20"	57° 21' 35"	213	7146,4609	0,1995	32,8614	1,0571	0,996	32
2252000	ANAUROLÂNDIA	ANAUROLÂNDIA	22° 11' 11"	52° 42' 48"	284	6568,7128	0,1745	32,7155	1,0566	0,997	41
2253000	IVINHEMA	IVINHEMA	22° 22' 59"	53° 31' 51"	341	5593,3349	0,1517	32,8160	1,0582	0,998	25
2253015	FAZENDA JANGADA	JATEI	22° 32' 42"	54° 01' 40"	275	5761,1872	0,1818	32,3918	1,0524	0,997	28
2254000	CAARAPÓ	CAARAPÓ	22° 37' 28"	54° 49' 29"	454	6137,5311	0,1880	32,8289	1,0567	0,996	36
2254001	DOURADOS	DOURADOS	22° 23' 53"	54° 47' 30"	293	6149,9053	0,1676	32,6716	1,0554	0,997	41
2254003	GLÓRIA DE DOURADOS	GLÓRIA DE DOURADOS	22° 24' 21"	54° 14' 07"	422	6546,2933	0,1737	32,5246	1,0538	0,997	29
2254004	PORTO WILMA	DEODÁPOLIS	22° 04' 31"	54° 11' 21"	303	6386,5819	0,2005	32,7336	1,0566	0,996	29
2254005	ITAPORÃ	ITAPORÃ	22° 04' 29"	54° 47' 02"	342	6127,7074	0,1766	32,5862	1,0535	0,997	29
2255001	PONTA PORÃ	PONTA PORÃ	22° 32' 00"	55° 42' 00"	658	5852,4829	0,2383	32,7405	1,0547	0,993	12
2255002	ANTÔNIO JOÃO	ANTÔNIO JOÃO	22° 11' 17"	55° 56' 37"	691	7631,3518	0,1704	32,5650	1,0531	0,997	29
2255003	BOCAJA	LAGUNA CARAPÃ	22° 43' 55"	55° 14' 32"	357	6546,2933	0,1737	32,5246	1,0538	0,997	29

Continua...

Tabela 9. Cont.

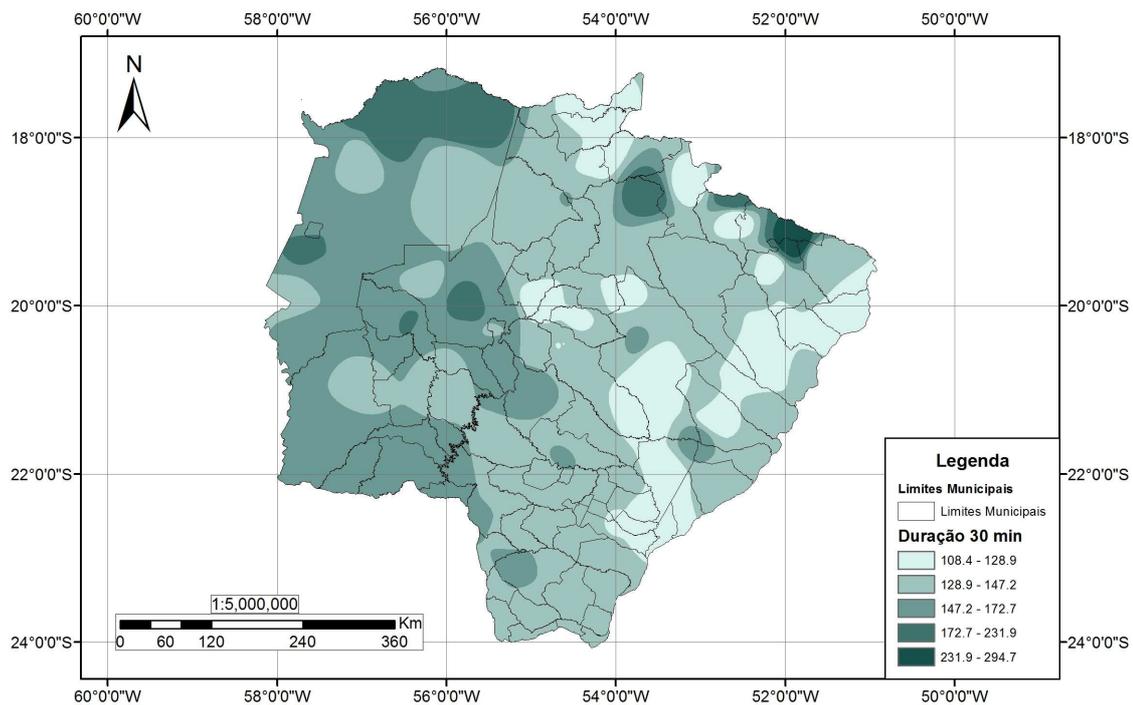
Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	K	a	b	c	r ²	Anos analisados
2255004	ITAUM	DOURADOS	22° 05' 10"	55° 21' 10"	493	6168,3462	0,1827	32,9979	1,0581	0,997	29
2256001	BELA VISTA	BELA VISTA	22° 06' 36"	56° 31' 39"	185	7250,7090	0,1668	32,6587	1,0549	0,998	32
2257000	CARACOL	CARACOL	22° 00' 51"	57° 01' 56"	232	7178,6480	0,2027	32,6119	1,0547	0,996	33
2353048	FAZENDA VACA BRANCA	NAVIRAI	22° 04' 22"	53° 49' 14"	303	6395,6716	0,1733	32,6140	1,0547	0,997	29
2354000	NAVIRAI	NAVIRAI	22° 03' 28"	54° 11' 38"	366	6502,9501	0,1833	32,4320	1,0526	0,997	41
2354001	IGUATEMI	IGUATEMI	22° 40' 55"	54° 33' 42"	333	5813,0806	0,1880	32,4293	1,0517	0,996	40
2354002	FLORIDA	CAARAPÓ	22° 58' 13"	54° 33' 48"	307	5959,3627	0,1790	32,3239	1,0513	0,997	40
2354004	COLÔNIA BOM JESUS	IGUATEMI	23° 26' 59"	54° 23' 37"	343	6350,2129	0,1729	32,5518	1,0537	0,997	28
2355000	AMAMBAÍ	AMAMBAÍ	23° 05' 52"	55° 14' 37"	460	7848,8955	0,1744	33,1686	1,0621	0,997	41
2355001	CORONEL SAPUCAIA	CORONEL SAPUCAIA	23° 15' 58"	55° 31' 28"	510	6224,0704	0,1616	32,5482	1,0537	0,998	29
2355002	PORTO SÃO DOMINGOS	PARANHOS	23° 39' 01"	55° 23' 31"	319	6759,6144	0,1556	32,7792	1,0576	0,998	29
2355003	TACURU	TACURU	23° 38' 25"	55° 01' 09"	371	6464,4062	0,1709	32,4352	1,0527	0,997	29

Os resultados obtidos com a espacialização da distribuição de chuvas intensas para Mato Grosso do Sul (Figura 3), considerando-se os parâmetros ajustados da Tabela 9, foram feitos apenas para o período de retorno de 20 anos, com as durações de 30, 60, 720 e 1440 min, pois, segundo Euclides (1987), o período de retorno de 20 anos é o mais recomendável para implantação de projetos hidroagrícolas. Deve-se considerar que, quanto maior o período de retorno, maiores serão os valores das intensidades máximas e, conseqüentemente, maior a segurança e o custo da obra.

Pela análise das Figura 4 e 5, observa-se que os menores valores de intensidade máxima de precipitação pluvial ocorrem na região leste do Estado, com comportamento crescente para a direção oeste, podendo chegar a valores máximos da ordem de 290 mm h^{-1} , considerando o período de retorno de 20 anos e duração de 30 minutos, e de $10,6 \text{ mm h}^{-1}$, na duração de 1440 minutos. É importante ressaltar que os $10,6 \text{ mm h}^{-1}$, na duração de 1440 minutos, corresponde a uma chuva de 254,4 mm em 24 horas.

Observa-se nas Figuras 4 e 5, que há decréscimo nos valores de intensidades máximas anuais com o aumento da duração das precipitações. Esse comportamento é característico das chuvas, pois a intensidade das precipitações pluviais tende a decrescer com o aumento da duração.

A.



B.

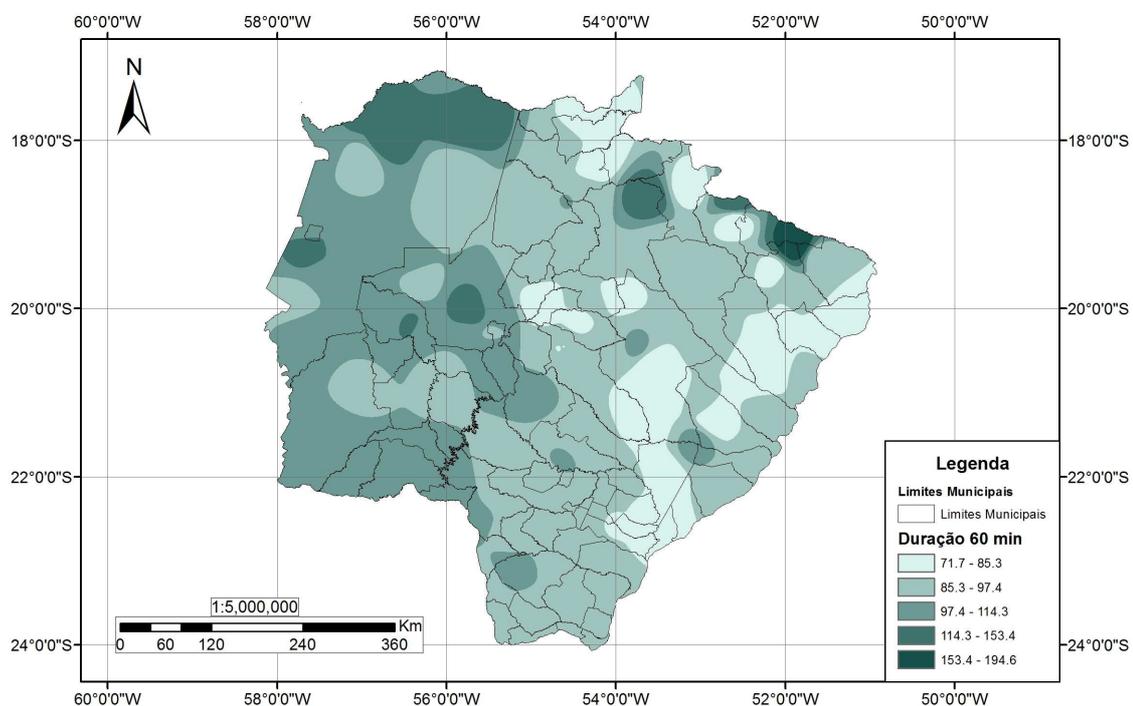
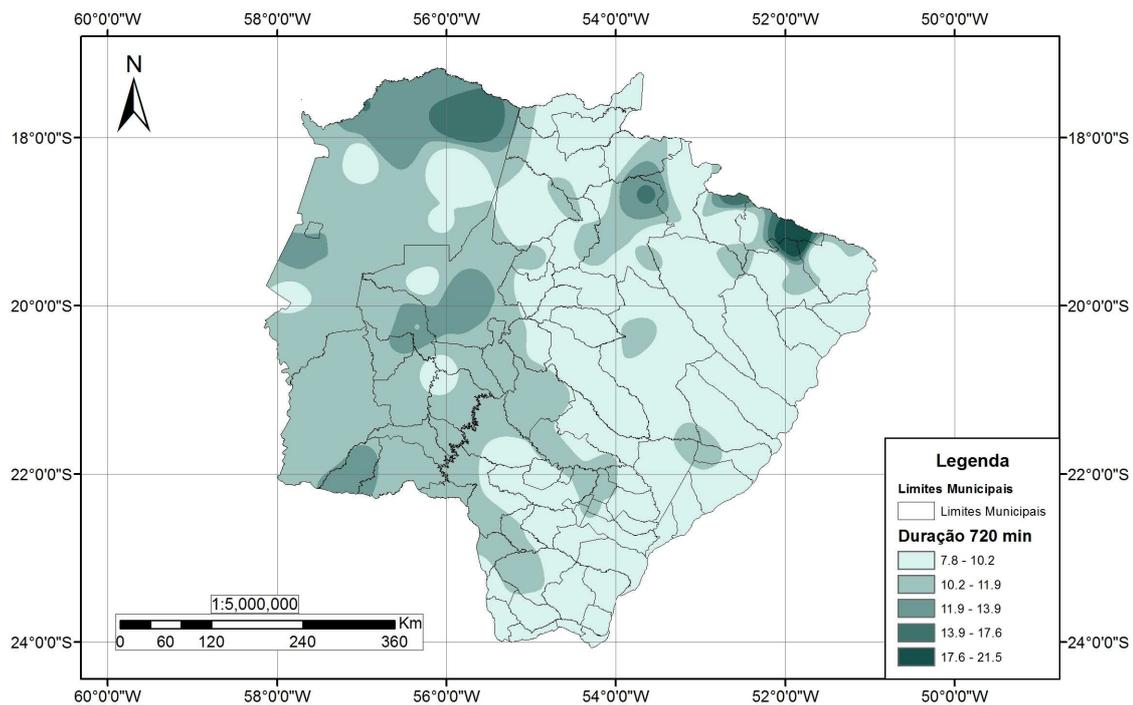


Figura 4. Espacialização da precipitação máxima (mm h^{-1}) para o Estado de Mato Grosso do Sul, com período de retorno de 20 anos, sendo: a) duração de 30 min; e b) duração de 60 min.

A.



B.

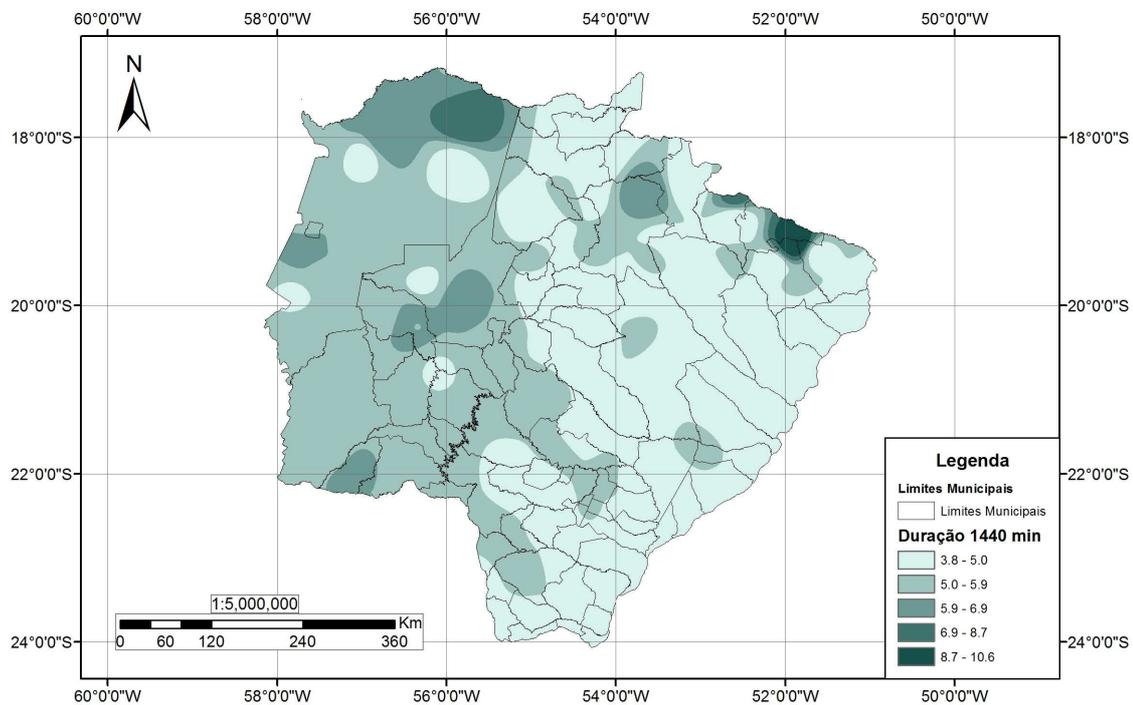


Figura 5. Espacialização da precipitação máxima (mm h^{-1}) para o Estado de Mato Grosso do Sul, com período de retorno de 20 anos, sendo: a) duração de 720 min; e b) duração de 1440 min.

4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos no presente trabalho permitiram as seguintes conclusões:

- As equações de chuvas intensas obtidas por meio da análise de pluviogramas apresentam bons ajustes, com coeficiente de determinação acima de 99%;

- As metodologias ajustadas para se obter chuvas de diferentes durações a partir da altura de chuva com duração de 24 horas e período de retorno conhecido apresentaram resultados satisfatórios quando comparados com o método de análise de pluviogramas (método padrão);

- O método de desagregação de chuva de 24 horas proposto por DAEE/CETESB (1980) tende a subestimar as intensidades máximas de precipitação pluvial no Estado de Mato Grosso do Sul;

- O método de Bell não se mostrou adequado para uso no Estado de Mato Grosso do Sul, tendo o método alcançado maior erro médio relativo, de maneira geral, tornando-o inviável para sua utilização na obtenção de chuvas de menor duração empregadas na geração da relação intensidade, duração e frequência;

- As maiores intensidades de precipitação pluvial prevista para o Estado de Mato Grosso do Sul ocorrem na região oeste e as menores na região leste.

- O método da desagregação de chuvas ajustado apresentou o melhor desempenho e é recomendado para uso em Mato Grosso do Sul.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional das Águas. **Hidroweb**: Sistemas de Informações Hidrológicas. <http://hidroweb.ana.gov.br>. 15 de Mar. 2013.

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, 1996. 161p.

BELL, F.C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, American Society of Civil Engineers, New York, v.95, n.1, p.311-327, 1969.

BELTRAME, L.F.S.; LANNA, A.E.L.; LOUZADA, J.A.S. **Chuvas intensas**. Porto Alegre, IPH, UFRGS, 1991. 69p.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2004. 943p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

CAMARGO, A.P.; SENTLHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Drenagem urbana**; manual de projeto. São Paulo, 1986. 494p.

CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo, Nobel, 1980. 333p.

DAEE-CETESB. Departamento de Água e Energia Elétrica - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana**: manual de projeto. DAEE/Cetesb, São Paulo, SP. 1980. 466p.

EUCLYDES, H.P. **Saneamento agrícola**: atenuação das cheias; metodologia e projeto. 2ed. Belo Horizonte, Ruralminas, 1987. 320p.

FIETZ, C.R.; COMUNELLO, E. **Chuvas intensas em Mato Grosso do Sul**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 86p. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste, 90).

FIETZ, C.R.; COMUNELLO, E; CREMON, C.; DALLACORT, R. PEREIRA, S.B. **Chuvas intensas no Estado de Mato Grosso**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 117p. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste, 104).

FREITAS, A.J., SILVA, D.D., PRUSKI, F.F., PINTO, F.A., PEREIRA, S.B., GOMES FILHO, R.R., TEIXEIRA, A.F., BAENA, L.G.N., MELLO, L.T.A., NOVAES, L.F. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p.

GARCIA, S.S. **Determinação da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para sete estações meteorológicas da região Centro Sul do Estado de Mato Grosso**. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá: UFMT, 2010. 90p.

OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.A.; FIOREZE, A.P.; SILVA, M.A.S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG, v.12, n.6, p.620-625, 2008.

PEREIRA, S.B.; FIETZ, C.R.; PEIXOTO, P.P.P.; ALVES SOBRINHO, T.; SANTOS, F.M. **Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de Dourados, MS**, Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 18p. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste, 44). Disponível em: <<http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes>>. Acesso em: 01 de jun. 2012.

PINTO, F.A. **Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1995. 87p.

PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R.; CECON, P.R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.2, p.8-21, 1996.

PRUSKI, F.F. **Análises de precipitações extremas e de escoamento superficial, para áreas agrícolas, da região Oeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1990.109p.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; TEIXEIRA, A.F.; CECÍLIO, R.A.; SILVA, J.M.A.; GRIEBELER, N.P. **Hidros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 259p.

SANTOS, G.G.; FIGUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, v.13 (Suplemento), p.899-905, 2009.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W.; BARNES, K.K. **Soil and water conservation engineering**. 2ed. New York, John Wiley & Sons, 1966. 683p.

SILVA, D.D.; PEREIRA, S.B; PRUSKI, F.F.; GOMES FILHO, R.R.; LANA, A.M.Q.; BAENA, L.G.N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial

para o Estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.11, n.1/4, p.7-14, 2003.

VILLELA, S., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245p.

WILLMOTT, C.J. On the validation on models. **Physical Geography**, v.2, n.2, p.184-194, 1981.

WILLMOTT, C.J. Some comments o the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorological Society**, v.63. n.11, p.1309-1313, 1982.

ANEXO II

Tabela 1. Valores de intensidade máxima anual de precipitação (mm h^{-1}), com duração de 10 a 1440 minutos, e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para a região de Dourados – MS.

Duração (min)	Período de Retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
10	106,5	137,6	158,2	177,9	203,5	222,7
20	83,8	105,5	119,9	133,7	151,6	165,0
30	70,1	91,4	105,5	119,0	136,5	149,6
40	59,1	77,2	89,2	100,6	115,5	126,6
50	51,9	71,5	84,5	97,0	113,2	125,3
60	45,8	64,8	77,5	89,6	105,3	117,0
120	26,6	38,3	46,0	53,4	63,0	70,1
180	19,0	26,9	32,1	37,1	43,5	48,4
240	15,0	21,5	25,8	30,0	35,3	39,4
360	10,6	15,3	18,5	21,5	25,4	28,4
720	5,6	8,3	10,1	11,8	14,0	15,6
1440	2,9	4,4	5,3	6,2	7,4	8,3

Tabela 2. Valores de intensidade máxima anual de precipitação (mm h^{-1}), com duração de 10 a 1440 minutos, e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para a região de Campo Grande – MS.

Duração (min)	Período de Retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
10	108,5	140,3	161,4	181,6	207,7	227,3
20	89,4	112,3	127,5	142,0	160,8	175,0
30	75,2	92,6	104,1	115,1	129,4	140,1
40	63,0	76,4	85,2	93,7	104,7	113,0
50	54,4	66,4	74,3	81,9	91,8	99,2
60	48,1	58,7	65,7	72,4	81,0	87,5
120	28,3	35,0	39,4	43,6	49,1	53,2
180	20,1	25,0	28,3	31,4	35,5	38,5
240	15,7	19,9	22,6	25,2	28,6	31,2
360	11,2	14,2	16,1	18,0	20,4	22,2
720	6,1	7,6	8,5	9,5	10,7	11,6
1440	3,3	4,2	4,8	5,3	6,0	6,5