

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Dissertação de Conclusão de Curso

**Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e
Pluviométricos**

Viviane Rodrigues Dorneles

Pelotas, 2017

Viviane Rodrigues Dorneles

**Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e
Pluviométricos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Fraga Damé

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra.

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

D713a Dorneles, Viviane Rodrigues

Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e Pluviométricos. / Viviane Rodrigues Dorneles ; Rita de Cássia Fraga Damé, orientadora ; Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra, coorientadora. — Pelotas, 2017.

57 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Chuvas intensas. 2. IDF's. 3. Intensidade máxima de chuva. I. Damé, Rita de Cássia Fraga, orient. II. Teixeira-Gandra, Claudia Fernanda Almeida, coorient. III. Título.

CDD : 631.45

Viviane Rodrigues Dorneles

Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e
Pluviométricos

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas

Data da Defesa: 22 de fevereiro de 2017.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a Rita De Cássia Fraga Damé (Orientadora), Centro de Engenharias, UFPel, Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Eduardo Jacob Lopes, Centro de Ciências Rurais, UFSM, Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas.

Prof. Dr. Samuel Beskow, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, UFPel, Doutor em Engenharia Agrícola (Engenharia de Água e Solo) pela Universidade Federal de Lavras.

Aos meus pais, Vitorino e Marilaine, e a todos aqueles que contribuíram para sua realização, dedico.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a algumas pessoas, dentre as quais me ajudaram, de alguma forma, a alcançar à conclusão desta fase da minha vida.

Em especial aos meu pais, Vitorino e Marilaine, que me proporcionam o estudo e demais oportunidades para meu crescimento, pessoal e profissional, sempre presentes, exemplos na minha vida. E aos meus irmãos, Marion e Pedro, por me concederem este privilégio.

À minha professora orientadora Rita, pela dedicação voltada a mim e ao meu trabalho, por me guiar e aconselhar, pela amizade e paciência nesta etapa, e por tornar esse processo cheio de “risos” e de ensinamentos para minha vida além da academia.

À minha professora co-orientadora Claudia, que, “da mesma sorte”, dedicou-se a realização deste trabalho, agradeço pelos ensinamentos, instrução, sensatez, e por me mostrar o valor da pós-graduação.

Aos meus incansáveis colegas Gustavo, Letícia, Mario e Patrick, por enfrentarem junto comigo, cada um, em cada etapa do desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, pelo conhecimento e convivência nestes dois anos.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação de Manejo e Conservação do Solo e da Água, pela infraestrutura, recursos oferecidos e a oportunidade de realização deste Curso.

Meu muito obrigada.

Resumo

DORNELES, Viviane Rodrigues. **Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e Pluviométricos**. 2017. 61f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

O conhecimento do comportamento dos eventos extremos de precipitação e consequentes vazões observadas é de extrema importância para desenvolvimento de projetos de obras hidráulicas, tais como, drenagem agrícola, vertedouros de barragens, bueiros e drenagem urbana, canais de terraço, entre outros. Considerando a esparsa rede de monitoramento de vazão, disponibilizada no território brasileiro, é possível realizar a análise da vazão de projeto, quando não se tem dados históricos de vazão, por estudo de chuvas intensas. A dissertação, desenvolvida no curso de mestrado, no Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, foi elaborada a partir da pesquisa de chuvas intensas no município de Pelotas/RS, sendo composta por dois artigos científicos. Os artigos divididos em 1 e 2, foram realizados mediante a análise de registros pluviográficos e dados pluviométricos, respectivamente. Objetivou-se com este estudo determinar as equações intensidade-duração-frequência, do município de Pelotas/RS, utilizando a metodologia de interpretação e análise de pluviogramas e desagregação de chuvas diárias, bem como, comparar as estimativas das intensidades de precipitação por meio da aplicação da equação utilizada atualmente no município. Para isso, foram utilizados dados pertencentes à Estação Agroclimatológica mantida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), compondo 34 anos de séries históricas (1982 a 2015), utilizando-se as metodologias anteriormente mencionadas. As séries históricas foram submetidas à análise estatística a fim de identificar o modelo probabilístico teórico que representasse melhor o ajuste aos dados, e o método empírico de análise dos dados, por se ter disponíveis 34 anos de dados. As equações intensidade-duração-frequência obtidas pela análise de registros pluviográficos e dados pluviométricos, bem como, a pela metodologia híbrida (empírico) e convencional (teórico) permitem o cálculo das intensidades máximas de precipitação, para as durações de chuva de 5 até 1440 min, nos períodos de retorno de 2 a 100 anos.

Palavras-chave: chuvas intensas; IDF's; intensidade máxima de chuva.

Abstract

DORNELES, Viviane Rodrigues. **Analysis of Intense Rainfall with Pluviographic and Pluviometric Data Approach**. 2017. 61f. Dissertation (Master Degree em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

Knowledge of the behavior of the extreme events of precipitation and consequent observed flows is of extreme importance for the development of projects of hydraulic works, such as agricultural drainage, spillways of dams, culverts and urban drainage, terrace channels, among others. Considering the sparse flow monitoring network available in the Brazilian territory, it is possible to carry out the analysis of the project flow, when there is no historical flow data, due to the study of heavy rains. The dissertation, developed in the master's degree program in the Postgraduate Program in Soil and Water Management and Conservation, was elaborated based on intense rainfall research in the city of Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil, and was composed of two scientific articles. The articles divided into 1 and 2, were carried out through the analysis of pluviographic records and rainfall data, respectively. The objective of this study was to determine the intensity-duration-frequency equations of the municipality of Pelotas / RS, using the methodology of interpretation and analysis of pluviograms and disaggregation of daily rains, as well as to compare the estimates of precipitation intensities by means of Application of the equation currently used in the municipality. For this purpose, data from the Agroclimatological Station maintained by the Brazilian Agricultural Research Company (EMBRAPA) and the Federal University of Pelotas (UFPEl) were used, composing 34 years of historical series (1982 to 2015) using the aforementioned methodologies. The historical series were submitted to statistical analysis in order to identify the theoretical probabilistic model that best represented the adjustment to the data, and the empirical method of data analysis, because 34 years of data were available. The intensity-duration-frequency equations obtained by the analysis of pluviometric and rainfall data, as well as by the hybrid (empirical) and conventional (theoretical) methods allow the calculation of the maximum precipitation intensities for rainfall durations from 5 to 1440 Min, in the return periods of 2 to 100 years.

Keywords: heavy rains; IDF's; maximum rainfall intensity.

Sumário

Introdução.....	10
Capítulo 1- Relação Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação obtida por Registros Pluviográficos para o Município de Pelotas/RS.....	13
Resumo.....	14
Abstract.....	15
Introdução.....	16
Material e Métodos.....	18
Resultados e Discussão.....	20
Conclusões.....	35
Capítulo 2 - Relações Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação mediante a Técnica da Desagregação da Chuva Diária.....	36
Resumo.....	37
Abstract.....	38
Introdução.....	39
Material e Métodos.....	40
Resultados e Discussão.....	43
Conclusões.....	49
Conclusões Gerais.....	51
Referências.....	52

Introdução

O conhecimento do comportamento das chuvas intensas é importante para projetos de obras relacionadas ao manejo dos recursos hídricos, tais como barragens para retenção de água e reservatórios, pois, para o dimensionamento de obras hidráulicas, como sistemas de drenagem, canais de escoamento, bueiros urbanos e vertedouros, com a finalidade de minimizar os danos dos efeitos das inundações, entre outras, necessita-se do conhecimento dos valores da vazão associados aos períodos de retorno de interesse, ou seja, a vazão de projeto, e/ou hidrograma de projeto, e estas podem ser obtidas a partir de dados observados ou mediante modelos que fazem a transformação chuva-vazão (ARAÍ et al., 2012; DAMÉ et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2011).

Entretanto, principalmente em pequenas bacias, os dados de vazão observados são escassos sobretudo em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. Isto ocorre devido ao seu alto custo de obtenção. Diante desta realidade, profissionais ligados à área de recursos hídricos comumente utilizam os modelos hidrológicos de transformação chuva-vazão, sejam eles do tipo *concentrado* ou *distribuído* (RIGHETTO & FREITAS 2016).

Neste caso, os valores de chuva utilizados, como dados de entrada dos modelos, podem ser obtidos a partir da Precipitação Máxima Provável (PMP) ou da relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) das chuvas intensas da região (DAMÉ et al., 2016).

A partir das relações IDF tem-se o conhecimento da distribuição temporal da chuva, cujos dados históricos são conhecidos utilizando dados de pluviômetros, de radar meteorológicos e de pluviógrafos. No entanto, dados de chuva acumulados em um dia, obtidos a partir de pluviômetros, que não representam a distribuição temporal da chuva, encontram-se com maior disponibilidade (SOUZA et al., 2012).

A obtenção das relações IDF a partir de dados pluviográficos, além de apresentar, como dificuldade, a escassez de dados, é um trabalho exaustivo, pois é necessário que se façam as leituras dos n pluviogramas existentes, por um período de N anos, de tal forma, que as séries de intensidades máximas em durações (min) pré-estabelecidas, sejam constituídas.

Por outro lado, dados de chuva diária são abundantes e facilmente disponíveis devido a simplicidade e custo de obtenção (BACK et al. 2011; DAMÉ et al. 2014). Neste sentido, a ideia de desagregar a chuva diária, e a partir desta obter as relações IDF, vem sendo cada vez mais difundida (DAMÉ, 2001; ARAGÃO et al. 2013).

Neste sentido, aplicando-se um modelo de desagregação de chuva diária, a partir do valor acumulado em um dia, é possível obter os valores de lâminas de chuva em menores durações, por exemplo, 5, 10, 15, 20, 30, 60 e 120 min, 6, 12 e 24 horas, em que o somatório das alturas das lâminas nestas durações não apresente diferença significativa, do ponto de vista estatístico, do valor total de chuva no dia (ARAGÃO et al., 2013). Com base nessas informações, é possível ajustar os parâmetros das equações IDF, sendo uma das formas de analisar as chuvas intensas de uma localidade (CALDEIRA et al. 2015).

Para obter uma relação da duração da precipitação associada à sua respectiva intensidade e frequência de ocorrência, é necessário o entendimento da melhor metodologia para ajuste das distribuições de probabilidade aos dados observados, que é fundamental para minimizar os impactos decorrentes dos eventos extremos (JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2015). O procedimento normalmente adotado consiste em extrapolar os valores de chuvas intensas, com base numa distribuição teórica de probabilidade adequadamente ajustada à série de dados, associando os valores obtidos a uma dada probabilidade de excedência e/ou período de retorno (BACK, 2001).

Existem diversas distribuições de probabilidade empregadas para análise de precipitação extrema, porém, encontra-se alguns fundamentos teóricos para a utilização da distribuição de Gumbel e log-Normal para a análise dos valores extremos (BACK, 2001; OLIVEIRA et al., 2005; RIBEIRO et al., 2007; SILVA et al., 2013; DAMÉ et al., 2016).

A estimativa dos parâmetros a partir dos dados observados pode ser feita numericamente, sendo indicado o método dos momentos, o método dos momentos-L e o método da máxima verossimilhança. Esta última, é aceita como sendo mais eficiente, embora numericamente difícil, comparada ao método dos momentos (SANSIGOLO, 2008; HARTMANN et al., 2011).

Ao se ajustar uma série de dados a uma distribuição de probabilidade, trabalha-se com a hipótese de que a distribuição pode representar adequadamente aquele conjunto de dados. Um critério para comprovar essa hipótese é através de alguns

testes não paramétricos. Segundo BACK (2001), a definição da melhor distribuição de probabilidade aplicada pode ser feita com base empírica ou testes de aderência estatísticos mais objetivos, em que os resultados dependem em parte dos parâmetros do modelo e da posição de plotagem utilizada.

Objetivou-se, nesta pesquisa, analisar as chuvas intensas da localidade de Pelotas/RS mediante a obtenção das relações intensidade-duração-frequência (IDF) obtidas a partir de registros pluviográficos e dados pluviométricos, considerando tanto os modelos de probabilidade empíricos como os teóricos.

Capítulo 1

Relação Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação obtida por Registros Pluviográficos para o Município de Pelotas/RS

Resumo

Neste trabalho são apresentadas equações de chuvas intensas, que relacionam intensidade, duração e frequência (IDF) de chuvas para a cidade de Pelotas/RS, ao longo de 34 anos de registros pluviográficos (1982-2015). Foram obtidas duas IDF's, uma denominada convencional, em que se ajustaram as distribuições teóricas de probabilidade, para os períodos de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos; e outra híbrida, determinada por análise de frequência empírica dos dados, pelo método de Weibull, para os períodos de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 20, 25 anos, e para 50 e 100 anos, utilizando as mesmas distribuições teóricas. Comparou-se as equações com a utilizada atualmente na localidade (1961 a 1991). Não houve diferença significativa entre os valores de intensidades máximas obtidas pelas equações de chuvas intensas, híbrida e convencional, e a já existente na localidade. No entanto, cabe salientar que a atualização das equações IDF's é importante, em função da sua aplicação nos recursos hídricos, com foco no controle de inundações, associado à demanda de estudos, referente às mudanças climáticas. As equações híbrida e convencional permitem o cálculo das intensidades máximas de precipitação, para as durações de chuva de 5 até 1440 min, nos períodos de retorno de 2 a 100 anos.

Palavras-chave: chuvas intensas, IDF's, intensidades máximas de chuva.

Abstract

This work presents intense rainfall equations, which relate intensity, duration and frequency (IDF) of rainfall to the city of Pelotas/RS, applying 34 years of rainfall records (1982-2015). Two IDF's were obtained, one called conventional, in which the theoretical probability distributions were adjusted for the return periods (T_r) of 2, 5, 10, 20, 25, 50 and 100 years; And another hybrid, determined by the empirical frequency analysis of the data, by the Weibull method, for the return periods (T_r) of 2, 5, 10, 20, 25 years, and for the 50 and 100 years, the same theoretical distributions. The validation of the equations was made by comparing them with the one obtained to the same locality (1961 to 1991). There was no significant difference between the values of maximum intensities obtained by intense rainfall equations, hybrid and conventional, and the one already done in the locality. However, it is worth mentioning that the updating of the IDF equations is important, due to its application in water resources, with a focus on flood control, associated with the demand for studies related to climate change. The hybrid and conventional equations allow the calculation of the maximum precipitation intensities, for rain durations of 5 to 1440 min, in the return periods from 2 to 100 years.

Keywords: intense rainfall, IDF's, maximum rainfall intensities.

Introdução

A análise de chuvas intensas é de extrema importância para projetos de obras hidráulicas, em modelos de transformação chuva-vazão, para a estimativa das vazões de projeto, com determinada frequência de ocorrência, na conservação do solo, drenagem urbana e rural, dimensionamento de obras hidráulicas, entre outros (GENOVEZ & ZUFFO, 2000; SANTOS et al., 2010).

Denominam-se chuvas intensas, o conjunto de eventos que obedece uma mesma perturbação meteorológica, com características bem definidas, podendo durar poucos minutos ou horas, atingindo áreas com extensão variável (ARAÚJO et al., 2008). Assim, uma chuva intensa é caracterizada pelo total máximo precipitado num intervalo de tempo considerado.

Dentre as chuvas intensas de grande escala, encontram-se as mais significativas, nos anos de ocorrência do fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS), uma vez que este é visto como agente de anomalias climáticas em várias regiões do globo, principalmente na precipitação (VALE et al., 2016). Durante o ENOS em algumas localidades, o volume da precipitação pluvial é superior ao normal, influenciando no regime fluvial e, por consequência, diversos setores da sociedade e da economia são afetados (SALGUEIRO et al., 2016).

Nesse contexto, a precipitação pontual pode ser caracterizada, preferencialmente por meio de uma série de dados suficientemente longa e representativa, para que englobe a completa definição das chuvas intensas ocorridas no local de interesse (DOURADO NETO et al., 2005), relacionando também os fenômenos ENOS.

A descrição da variabilidade temporal e espacial das chuvas intensas é indispensável para estimar devidamente os efeitos ocasionados, em particular, ao controle do escoamento superficial, em áreas urbanas e rurais (BEIJO et al., 2003). Nesse sentido, utiliza-se a relação intensidade, duração e frequência (IDF) de ocorrência de precipitação, para a obtenção dos valores de intensidades máximas empregados no projeto de obras hidráulicas, nos mais diversos campos da hidrologia e da engenharia. Normalmente, essas relações são representadas por modelos matemáticos gerados a partir de uma série de dados pluviográficos obtidos para cada localidade (SANTOS et al., 2009; SOUZA et al., 2012).

Como consequência dos impactos antrópicos e possíveis mudanças climáticas nas regiões, tem-se verificado crescente magnitude das inundações em diversas partes do Brasil. Tendo em vista a minimização destes efeitos, obras hidráulicas devem ser dimensionadas englobando séries históricas via equação de chuvas intensas (TEIXEIRA et al., 2011).

BURN & TALEGHANI (2013) investigaram as mudanças na magnitude da precipitação de 51 estações no Canadá, e observaram maior número de tendências crescentes do que as decrescentes. Os resultados indicaram que as curvas IDF's precisam ser atualizadas com dados recentes, uma vez que os dados desatualizados podem levar a conclusões inadequadas. No mesmo contexto, RODRIGUEZ et al. (2014) construíram futuras curvas IDF's (de 1 a 24 h de duração) a partir de Modelos Climáticos Globais, em Barcelona, Espanha, para diferentes cenários e demonstraram que a precipitação diária, com um período de retorno de mais de 20 anos aumentará, pelo menos, 4%.

Embora a aparente disponibilidade de relações IDF's, há que se ressaltar que na maioria das vezes são desconhecidos os limites das equações, principalmente quanto ao tipo de séries utilizada, anuais ou de duração parcial (SANSIGOLO, 2008), tamanho e representatividade da série, bem como limitações de duração e período de retorno. Nesse sentido, GOULART et al. (1992) estabeleceram uma relação IDF para o município de Pelotas/RS, mesma localidade do presente estudo, no período de 1961 a 1991, utilizando séries de durações parciais, cuja menor duração foi 30 min, com valor base pré-estabelecido de intensidade de 20 mm h^{-1} e a maior 1440 min (55 mm h^{-1}).

A partir dos registros pluviográficos é possível observar que normalmente, os valores das maiores intensidades ocorrem em durações inferiores a 30 min, evidenciando a importância da obtenção de relações IDF's que contemplem também as menores durações (5, 10, 15 e 20 min).

O município de Pelotas/RS está contido na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, que tem um papel proeminente no âmbito dos recursos hídricos, uma vez que é uma bacia transfronteiriça entre o Brasil e o Uruguai. A Lagoa Mirim constitui-se em uma das mais importantes lagoas de água doce do território brasileiro e da América do Sul. Apesar da sua importância, a informação sobre o fluxo de água é

escassa, o que complica o desenho de estruturas hidráulicas, bem como aquelas relacionadas à conservação do solo e da água, entre outras (TEIXEIRA et al., 2011).

Contudo, longas séries de dados de precipitação estão disponíveis para a bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, mas com registros ausentes, dificultando a estimativa das relações IDF's. Além disso, possui registros pluviográficos que até então não estavam disponíveis aos usuários. Desta maneira, o desenvolvimento das IDF's atualizadas para localidade de Pelotas/RS, acarretará em benefícios ao município e às localidades próximas, cujo comportamento climatológico seja semelhante.

Em vista disso, este estudo teve por objetivo determinar a relação intensidade-duração-frequência mediante a registros pluviográficos atuais para o município de Pelotas/RS.

Material e Métodos

A cidade de Pelotas está localizada no estado do Rio Grande do Sul – Brasil, entre 31°52' S e 52°21'24" O, com altitude média de 13,2 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima dessa região é sub-tropical, úmido, sem estiagem e com precipitação total anual média de 1366,9 mm (TEIXEIRA et al., 2011).

Os dados utilizados foram obtidos a partir da Estação Agroclimatológica mantida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), compondo 34 anos de registros pluviográficos (1982 a 2015).

A partir da interpretação dos pluviogramas de todos os dias chuvosos foram calculadas as intensidades máximas anuais (mm h^{-1}), para as durações pré-estabelecidas de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min.

A verificação da estacionariedade e independência das séries de intensidades máximas, para cada uma das durações, foi realizada mediante o teste não paramétrico de Mann-Kendall e a função de autocorrelação amostral (KENDALL & STUART, 1967; BLAIN & CAMARGO, 2012; BLAIN & MESCHIATTI, 2014), respectivamente.

Para obter os valores de intensidades máximas anuais associados aos períodos de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 20 e 25 anos, foi utilizada a análise de frequência empírica, pelo método de Weibull, e para os T_r 's de 50 e 100 anos ajustaram-se as

distribuições de probabilidade Normal, log-Normal, Gumbel e Gama, distribuições também aplicadas em diversas pesquisas tais como BACK (2001), SILVA et al. (2002), SANSIGOLO (2008), SANTOS et al. (2009), BACK et al. (2011), SOUZA et al. (2012), MELLO & VIOLA (2013) e SOBRINHO et al. (2014), utilizando o método da máxima verossimilhança, encontrado em trabalhos como de RAMOS & MOALA (2014) e KRUEL et al. (2015) para a estimativa dos parâmetros, compondo as denominadas séries híbridas. As séries denominadas convencionais foram obtidas as mesmas distribuições teóricas de probabilidade para os Tr's de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Para selecionar a distribuição de probabilidade, que melhor representa os valores das séries híbrida e convencional foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov (KS), aplicado também por FERREIRA et al. (2005), SOCCOL et al. (2010) e SOUZA et al. (2013), considerando-se o nível de probabilidade de 5%. Para o ajuste dos modelos probabilístico e o teste KS foram utilizadas as rotinas do software R na versão 3.3.2. do R-Project (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011; 2012).

Para a obtenção dos parâmetros K, a, b e c das equações IDF's, híbrida e convencional, foram minimizadas cinco funções objetivos (Tabela 1), utilizando a ferramenta SOLVER, da planilha eletrônica EXCEL da Microsoft (SOUZA et al., 2014). Essa ferramenta utiliza o código de otimização não-linear, denominado "Gradiente Reduzido Generalizado" (MARTÍNEZ et al., 2012). Foram selecionados os parâmetros, cuja função objetivo foi a que apresentou o menor valor do Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE). As relações IDF's foram representadas pela Equação 1 (BORGIA et al., 2005; SILVA et al., 2006):

$$I = \frac{K \cdot Tr^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

em que,

I - intensidade de chuva (mm h⁻¹);

Tr - período de retorno (anos);

t - duração de chuva (minutos);

K, a, b, c - parâmetros de ajuste da equação.

Tabela 1 – Funções objetivos (FO) utilizadas para obtenção dos parâmetros (K, a, b, c) das relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

Função Objetivo	Expressão	
DAMÉ (2001) (FO ₁)	$Y = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_{obs}}{X_{eq}} \right) - 1 \right]^2$	(2)
Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RSME) (FO ₂)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs} - X_{eq})^2}{n}}$	(3)
Coeficiente de Correlação (FO ₃)	$C = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs} - \bar{X}_{obs}) - (X_{eq} - \bar{X}_{eq})}{\sum_{i=1}^n (X_{obs} - \bar{X}_{obs})^2}$	(4)
Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio Normalizado (NRSME) (FO ₄)	$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{X}_{obs}}$	(5)
Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (FO ₅)	$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs} - X_{eq})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs} - \bar{X}_{obs})^2}$	(6)

X_{obs} : valores observados de intensidades máximas (mm h^{-1}); X_{eq} : valores estimados de intensidades máximas (mm h^{-1}) obtidos pelas relações IDF's determinada a partir de cada FO; e $\bar{X}_{obs}$ e $\bar{X}_{eq}$ são as médias aritméticas da série observada e estimada, respectivamente.

Após a seleção dos parâmetros e obtenção das IDF's, híbrida e convencional, os valores de intensidades máximas (mm h^{-1}) das IDF's propostas foram comparados entre si e aos valores de intensidades máximas obtidos por GOULART et al. (1992), aplicando-se diretamente a IDF, nas durações de interesse.

A comparação foi realizada utilizando-se o teste "t" de *Student* para o coeficiente angular ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$), testando a hipótese de nulidade (H_0) para o coeficiente angular β_1 ; $H_0: \beta_1 = 0$, ou seja, não há evidências de diferenças significativas entre os valores de intensidades máximas (mm h^{-1}) obtidas pelas relações IDF's híbrida e convencional e os encontrados por GOULART et al. (1992). Assim, aceita-se H_0 quando a estatística calculada do teste for menor do que o valor crítico de t para um nível de probabilidade ($1-\alpha/2$)), sendo $\alpha = 5\%$.

Resultados e Discussão

A estatística descritiva acerca das séries de intensidades máximas de precipitação (mm h^{-1}), nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, para o período de 1982 a 2015, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas para os valores de intensidades máximas de precipitação (mm h^{-1}), nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, no período de 1982 a 2015, para o município de Pelotas/RS.

Duração (min)	Média (mm h^{-1})	Desvio Padrão (mm h^{-1})	Mínimo (mm h^{-1})	Máximo (mm h^{-1})	Curtose	Assimetria
5	111,6	21,6	54,4	169,2	2,23	-0,81
10	99,8	22,4	54,4	129,9	-1,25	-0,45
15	83,7	22,2	53,6	120,0	-1,06	0,38
20	76,5	21,3	41,9	120,0	-0,57	0,43
30	61,1	17,1	30,3	96,0	-0,42	0,53
60	40,4	13,9	18,7	75,0	-0,35	0,54
120	25,9	10,5	12,2	53,9	0,07	0,76
360	10,7	4,1	5,0	21,6	0,12	0,77
720	6,3	2,6	3,3	14,4	1,65	1,39
1440	3,4	1,7	2,2	8,4	-0,65	0,36

Observa-se que para a menor duração analisada (5 min), o valor médio de intensidade máxima foi de $111,6 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto que para a maior, 1440 min, foi de $3,4 \text{ mm h}^{-1}$. Os valores elevados de intensidades máximas para as pequenas durações (5, 10, 15, 20 e 30 min), são esperados pela característica do comportamento das chuvas intensas.

Para o município de Pelotas/RS, GOULART et al. (1992) estabeleceram como chuvas intensas todas aquelas que, pelo menos, para as durações de 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, atendessem o critério do valor mínimo de intensidade de 40, 25, 15, 6,3, 3,7 e $2,3 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente, para o período de 1961 a 1991. Os valores

de intensidades máximas resultaram em diferenças percentuais superiores a 52,8, 61,8, 72,9, 69,4, 70,7 e 46,6%, respectivamente.

No período de 1961 a 1991 ocorreram 12 eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS), 4 deles considerados como fracos (1963/64; 1976/77; 1977/78 e 1979/80), 5 moderados (1965/66; 1968/69; 1969/70; 1986/87 e 1987/88), e 3 fortes (1972/73; 1982/83 e 1990/91). Considerando o período de 1982 a 2015, ocorreram 13 fenômenos ENOS, destes 6 foram classificados como fortes (1982/83; 1990/91; 1991/92; 1992/93; 1997/98 e 2015/16), 5 moderados (1986/87; 1987/88; 1994/95; 2002/03 e 2009/10), e somente 2 fracos (2004/05 e 2006/07) (MINUZZI, 2010; CARVALHO et al., 2013), ou seja, ocorreram 3 fenômenos ENOS fortes a mais que no período de 1961 a 1991.

No período analisado foi verificado que, no mês de janeiro do ano de 1994, ocorreu um evento extremo, com duração em torno de 23h, cuja lâmina precipitada foi de 127,9 mm, o que representou, em termos de intensidades máximas, 169,2, 129,9, 116,8, 93,2 e 69,6 mm h⁻¹, nas durações de 5, 10, 15, 20 e 30 min, respectivamente. Também para o mês de fevereiro de 1998, a lâmina precipitada foi de 104,8 mm, em 7h, representando para 5, 10 e 15 min de duração, o valor de 120 mm h⁻¹, e para duração de 20 e 30 min, as intensidades máximas de 111,0 e 94,0 mm h⁻¹, respectivamente. Tais valores podem estar associados ao fenômeno ENOS, ocorrido nos períodos de 1990/93 e 1997/98, cuja classificação foi considerada como forte (CARVALHO et al., 2013; AS-SYKUR et al., 2016).

MARCUZZO & ROMERO (2013) investigaram a correlação entre ENOS e a precipitação máxima diária mensal e anual no estado de Goiás, de 1977 a 2006, e seus resultados demonstraram que o fenômeno afeta a dinâmica climática, ocasionando mudanças significativas no regime pluvial, resultando nos aumentos das intensidades máximas.

Na Tabela 3 é apresentada verificação da estacionariedade e independência das séries de intensidades máximas, para cada uma das durações. Conforme a Tabela , os valores de intensidades máximas nas diferentes durações podem ser considerados estacionários, uma vez que os valores da estatística Z de Mann-Kendall foram inferiores ao crítico, para um intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 5\%$) (PINHEIRO et al., 2013; SILVA & STRECK, 2014).

Com relação à independência dos dados, os resultados mostram que os dados são independentes, uma vez que os valores do coeficiente de correlação amostral (r_1), para todas as durações, estão contidos no intervalo de confiança de 95% (TEIXEIRA et al., 2011).

Tabela 3 – Estatística de Mann-Kendall (Z) e coeficiente de autocorrelação amostral (r_1), para os valores de intensidades máximas de precipitação (mm h^{-1}), nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, no período de 1982 a 2015, para o município de Pelotas/RS.

Duração (min)	Z	r_1
5	-0,790	0,196
10	-0,928	0,124
15	-0,987	0,121
20	-0,991	0,120
30	-0,997	0,099
60	-1,000	0,087
120	-0,999	0,079
360	-0,999	0,065
720	-0,998	0,046
1440	-0,993	0,037
$Z_{\text{crítico}} = 1,96$; $r_1 = (-0,366; 0,306)$; $\alpha = 5\%$		

Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros das distribuições de probabilidade Normal, Gumbel, log-Normal e Gama, estimados pelo método da máxima verossimilhança (MMV) para séries de intensidades máximas (mm h^{-1}) de precipitação nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min.

Os resultados a respeito da aderência dos valores às distribuições de probabilidade, pelo teste de estatística KS, são mostrados na Tabela 5, que no nível de significância de 5%, mostrou que as menores diferenças entre os valores observados e ajustados ocorreram quando os valores foram ajustados à distribuição Gumbel, uma vez que obteve o menor valor da estatística calculada (D) e a maior probabilidade p calculada, comparativamente às demais distribuições.

Tabela 4 – Parâmetros das distribuições de probabilidade Normal, Gumbel, log-Normal e Gama, estimados pelo método da máxima verossimilhança (MMV) para séries de intensidades máximas (mm h^{-1}) de precipitação nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, para o município de Pelotas/RS.

Duração (min)	Distribuições de Probabilidade							
	Normal		Gumbel		log-Normal		Gama	
	Parâmetros							
	μ	σ	γ	λ	μ_{LOG}	σ_{LOG}	β	ν
5	111,64	21,64	85,74	0,040	4,69	0,225	22,80	4,90
10	99,79	22,43	79,07	0,058	4,58	0,245	18,36	5,43
15	83,67	22,15	73,23	0,056	4,39	0,265	14,90	5,61
20	76,53	21,27	66,51	0,056	4,29	0,281	13,98	5,71
30	61,12	17,10	53,16	0,071	4,07	0,281	13,37	4,57
60	40,44	13,90	33,96	0,089	3,64	0,349	8,79	4,60
120	25,93	10,46	21,17	0,125	3,18	0,399	6,65	3,90
360	10,73	4,09	8,87	0,318	2,30	0,376	7,46	1,44
720	6,26	2,61	5,17	0,592	1,76	0,369	7,21	0,87
1440	2,35	1,74	1,53	0,693	0,32	1,321	1,07	2,19

μ e σ : média e desvio padrão amostral; γ e λ : parâmetros de locação e escala; μ_{LOG} e σ_{LOG} : média e desvio padrão dos dados logaritmizados; β e ν : parâmetros de escala e forma.

Tabela 5 – Valores do teste Kolmogorov-Smirnov para as distribuições de probabilidade Normal, Gama, Gumbel e log-Normal, estimados pelo método da máxima verossimilhança (MMV) para séries de intensidades máximas (mm h^{-1}) de precipitação nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720, 1440 min, para o município de Pelotas/RS.

Duração (min)	Distribuição							
	Normal		Gama		Gumbel		log-Normal	
	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>p</i>	<i>D</i>	<i>p</i>	<i>D</i>	<i>p</i>	<i>D</i>
5	0,0002	0,3649	0,0001	0,3794	0,0003	0,3590	0,0001	0,3831
10	0,0521	0,2174	0,0541	0,2149	0,0589	0,1911	0,0516	0,2010
15	0,8135	0,1091	0,7995	0,1107	0,8375	0,1062	0,8098	0,1095
20	0,7288	0,1182	0,9265	0,0889	0,9640	0,0857	0,9292	0,0961
30	0,5698	0,1345	0,8628	0,1031	0,9924	0,0740	0,9648	0,0855
60	0,6159	0,1252	0,7154	0,1191	0,7836	0,1184	0,6939	0,1193
120	0,8874	0,1098	0,9406	0,0911	0,9480	0,1010	0,8602	0,1034
360	0,3744	0,1567	0,8069	0,1098	0,9680	0,0846	0,9672	0,0849
720	0,1597	0,1928	0,1960	0,1848	0,2248	0,1792	0,2121	0,1794
1440	0,8835	0,1903	0,2194	0,1802	0,9116	0,1302	0,1143	0,2052

$KS_{\text{critico}} = 0,2274$; $\alpha = 5\%$; *p*: probabilidade; *D*: estatística calculada do KS para 34 anos de dados.

Além do teste KS os valores observados e ajustados foram analisados visualmente para verificação da aderência. Apresenta-se, na Figura 1, os gráficos que apresentam a aderência das distribuições de probabilidade aos dados observados de intensidades máximas ($I_{\text{máx}}$), a título de exemplo, a pior situação de ajuste da distribuição, que foi obtida pelo ajuste da distribuição Normal, e a melhor situação, obtida pelo ajuste da distribuição de Gumbel, para a série de duração de 60 minutos.

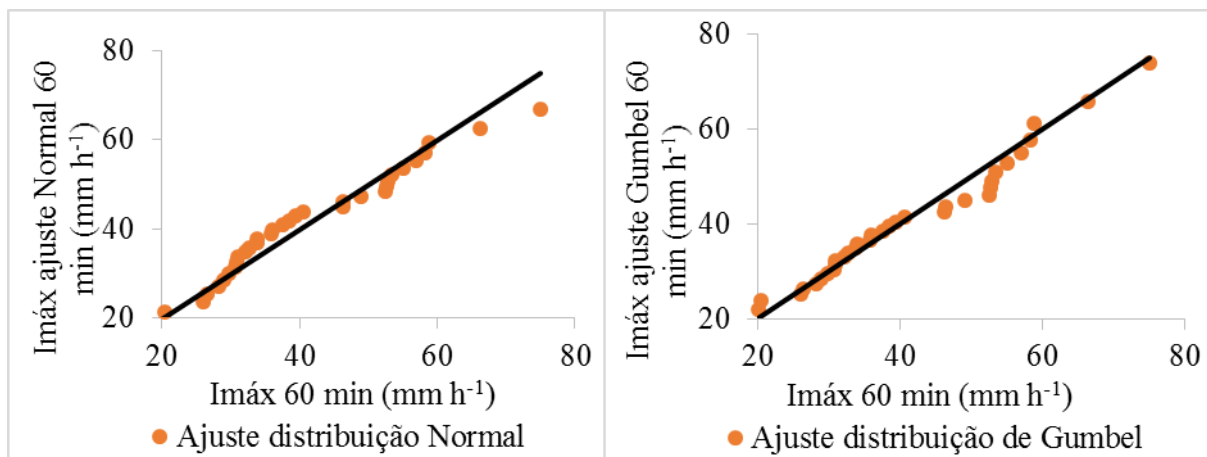


Figura 1 – Aderência das distribuições Normal e Gumbel à série histórica de 60 min.

Observa-se pela Figura 1 diferença nos valores da série de 60 min ajustados à distribuição Normal comparativamente àqueles ajustados a Gumbel. No gráfico a esquerda verifica-se que existe maior distância dos dados ajustados aos observados comparativamente ao gráfico da direita.

É importante considerar para análise de chuvas intensas os valores ajustados nos extremos da reta, principalmente nos extremos maiores. Desta forma, destaca-se que no gráfico a direita, quando se ajusta a distribuição de Gumbel, os extremos maiores estão mais aderidos aos observados do que no gráfico da esquerda, quando se ajusta a distribuição Normal.

No entanto, uma variável aleatória contínua pode ser representada por mais de um modelo probabilístico. Desta forma, evidencia-se a importância da escolha da distribuição adequada para a série de dados da localidade estudada, visando minimizar o erro de estimativa dos valores de intensidade máxima em grandes períodos de retorno (SANSIGOLO et al., 2008; BACK et al., 2011; BESKOW et al., 2015).

Após a seleção da distribuição de probabilidade de Gumbel, obteve-se os valores de intensidade máximas nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, os quais foram utilizados na obtenção dos parâmetros K, a, b e c da relação IDF convencional e híbrida (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores de intensidade máxima (mm h^{-1}) de precipitação para IDF convencional e híbrida, para o município de Pelotas/RS.

Duração (min)	Período de Retorno (anos)						
	2	5	10	20	25	50	100
Série convencional							
5	109,26	137,42	156,07	173,95	179,63	197,10	214,45
10	96,39	121,21	137,64	153,40	158,39	173,79	189,08
15	79,81	100,15	113,62	126,55	130,65	143,27	155,81
20	73,01	93,10	106,41	119,17	123,22	135,69	148,07
30	58,35	74,43	85,07	95,27	98,51	108,49	118,39
60	38,10	50,88	59,34	67,46	70,04	77,97	85,84
120	24,64	33,80	39,36	44,38	45,91	50,49	54,84
360	10,03	13,59	15,96	18,22	18,94	21,16	23,36
720	5,79	7,70	8,97	10,18	10,57	12,76	12,94
1440	2,35	3,80	4,55	5,17	5,35	5,93	6,40
Série híbrida							
5	120,00	120,00	120,51	132,17	144,51	197,10	214,45
10	109,20	120,00	120,00	122,44	124,93	173,79	189,08
15	80,00	104,00	120,00	120,00	120,00	143,27	155,81
20	75,00	94,80	107,57	120,00	120,00	135,69	148,07
30	56,60	78,60	89,83	94,29	94,86	108,49	118,39
60	36,80	53,33	58,45	67,51	70,01	77,97	85,84
120	24,35	35,13	42,18	44,45	47,62	50,49	54,84
360	9,81	14,50	17,31	18,68	19,65	21,16	23,36
720	5,08	8,80	10,60	11,91	12,72	12,76	12,94
1440	2,50	3,80	4,70	5,63	5,89	5,93	6,40

Para IDF híbrida foram estimados os valores de intensidades máximas de precipitação dentro de cada duração pela forma empírica, visto anteriormente que, a série de dados histórica contempla 34 anos de dados, assim tornando possível que sejam utilizados os valores históricos de intensidades máximas para um Tr de até 25

anos. Para os demais Tr, 50 e 100 anos, foram utilizados os valores de intensidades máximas obtidos pela distribuição de Gumbel.

Nas Tabelas 7 são apresentados os valores dos coeficientes K, a, b e c das equações IDF's, convencional e híbrida, obtidos mediante a minimização das funções objetivos, bem como os resultados do RMSE.

Os valores selecionados para os coeficientes K, a, b e c, da equação IDF convencional para a localidade de Pelotas/RS foram respectivamente, 1100,00, 0,163, 16,469 e 0,766, visto que a utilização da FO2 foi que apresentou menor valor de RMSE. Para a equação IDF híbrida os valores dos coeficientes foram 1000,00, 0,170, 20,000 e 0,735 respectivamente, sendo que a FO4 apresentou o menor valor de RMSE. Na Tabela 8 são apresentadas as equações IDF's convencional e híbrida conforme a Equação 1.

Tabela 7 - Parâmetros K, a, b e c da curva IDF convencional e híbrida a partir das funções objetivo para série de dados de intensidades máximas, para o município de Pelotas/RS.

Parâmetro	Função Objetivo				
	FO ₁	FO ₂	FO ₃	FO ₄	FO ₅
Convencional					
K	1048,50	1100,00	1032,55	1000,07	1000,00
a	0,197	0,163	0,400	0,163	0,400
b	14,15	16,49	30,00	15,45	20,04
c	0,800	0,766	0,600	0,747	0,600
RSME	6,51	3,67	210,98	3,73	247,02
Híbrida					
K	1053,874	1000,349	1000,000	1000,000	1000,000
a	0,205	0,170	0,400	0,170	0,400
b	17,144	19,991	20,000	20,000	20,000
c	0,800	0,735	0,600	0,735	0,600
RSME	9,49	7,52	250,80	7,00	250,81
RSME: Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio					

Tabela 8 - Equações de intensidade-duração-frequência (IDF) obtidas a partir do ajuste dos valores das séries convencional e híbrida, no período de 1982 a 2015, para a localidade de Pelotas/RS.

Série	Equação IDF	
Convencional	$I = \frac{1100 \cdot T_r^{0,163}}{(t+16,47)^{0,766}}$	(7)
Híbrida	$I = \frac{1000 \cdot T_r^{0,170}}{(t+20,00)^{0,735}}$	(8)

As relações IDF's obtidas no presente trabalho representam um ganho de informação aos estudos hidrológicos da localidade em questão, visto que as mesmas têm limite de validade para a duração de 5 min, enquanto que a apresentada por GOULART et al. (1992), o limite da menor duração é 30 min. Além disso, as relações IDF's apresentadas na Tabela 8 referem-se a um período de 1982 a 2015 (34 anos) contemplando uma série de dados atualizados, enquanto que a de GOULART et al. (1992) representa um período de tempo anterior e menor (31 anos; 1961 - 1991), sendo importante considerar características das precipitações atuais, associadas as modificações hidroclimatológicas presentes (HORIKOSHI & FISCH 2007).

Na Tabela 9 são apresentados os valores do coeficiente β_1 , a estatística "t" *Student*, $t(\beta_1)$, a significância e o coeficiente de correlação referentes à comparação entre os valores de intensidades máximas obtidos a partir das IDF's híbrida e convencional e a apresentada por GOULART et al. (1992).

Analisando os resultados apresentados na Tabela 9, verifica-se que os valores de intensidades máximas obtidos pelas IDF's híbrida e convencional, não diferem dos valores obtidos com a IDF de GOULART et al., (1992), para a mesma localidade, para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, visto que os valores calculados da estatística "t" para o coeficiente β_1 , foram inferiores ao valor crítico de "t", para um nível de probabilidade de 5%, aceitando a hipótese H_0 . Do mesmo modo, analisando a comparação entre as IDF's híbrida e convencional, não houve diferença significativa entre as IDF's, desta forma, assegurando a utilização da distribuição de probabilidade adequada e ajustada a série de dados. Também, por outro lado, salienta-se a garantia de se utilizar a forma empírica para adquirir os dados, quando se é disponibilizado séries históricas longas.

Tabela 9 - Resultados do ajuste linear ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$), coeficiente de correlação (r) e significância (p), obtidos entre os valores de intensidades máximas de chuva ($I_{\text{máx}}$) históricos e os obtidos a partir das IDF's híbrida e convencional da cidade de Pelotas/RS, para os períodos de retorno de 2, 5 e 10, 20, 25 e 100 anos.

Tr (anos)	β_1	$t(\beta_1)$	p	r
Imáx IDF híbrida <i>versus</i> Imáx Goulart et al. (1992)				
2	0,5599	0,76	0,23	0,9314
5	0,6361	0,55	0,30	
10	0,7014	0,41	0,35	
20	0,7743	0,28	0,39	
25	0,7994	0,24	0,41	
50	0,8836	0,13	0,45	
100	0,9775	0,02	0,49	
Imáx IDF convencional <i>versus</i> Imáx Goulart et al. (1992)				
2	0,6304	0,57	0,29	0,9525
5	0,7116	0,40	0,35	
10	0,7810	0,27	0,40	
20	0,8579	0,16	0,44	
25	0,8844	0,13	0,45	
50	0,9728	0,03	0,49	
100	1,0709	0,06	0,47	
Tr (anos)	β_1	$t(\beta_1)$	p	r
Imáx IDF convencional <i>versus</i> Imáx híbrida				
2	0,8971	0,11	0,46	0,9978
5	0,9029	0,11	0,46	
10	0,9073	0,10	0,46	
20	0,9117	0,10	0,46	
25	0,9131	0,10	0,46	
50	0,9175	0,09	0,47	
100	0,9220	0,08	0,47	

$t_{\text{tab}} (5\%) = 2,26$; $p = 0,05$.

A Tabela 10 mostra os valores de intensidades máximas (mm h^{-1}), relativos aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, para as durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, calculados a partir das IDF's híbrida, convencional e aquelas obtidas pela equação de GOULART et al. (1992).

Observam-se, na Tabela 10, maiores diferenças entre as IDF's nos valores nas durações de 5, 10, 15, e 20 min. Esse diferencial, entre as intensidades de precipitação calculadas pelas IDF's híbrida e convencional e a obtida por GOULART et al. (1992), é maior para duração de 5 min, se reduzindo ao acréscimo das durações, até um mínimo na duração de 1440 min.

Pela equação de GOULART et al. (1992), verifica-se que os valores das intensidades máximas são superiores até aproximadamente 30 min e inferiores a partir desta duração, comparativamente aos obtidos pelas IDF's híbrida e convencional, para cada duração e período de retorno. Isso pode estar associado, ao fato de que, a equação IDF obtida por GOULART et al. (1992) é válida para utilização somente a partir de 30 min de duração (GOULART et al., 1992).

Tabela 10 – Intensidades máximas ($I_{\text{máx}}$) obtidas a partir das IDF's de GOULART et al. (1992), híbrida e convencional, para as durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos para o município de Pelotas/RS.

Duração (min)	Período de Retorno (anos)						
	2	5	10	20	25	50	100
	$I_{\text{máx}}$ IDF GOULART et al. (1992)						
5	190,61	196,06	200,02	203,86	205,07	208,75	212,30
10	136,27	140,16	143,00	145,74	146,61	149,24	151,77
15	107,39	110,46	112,70	114,86	115,54	117,61	119,61
20	89,28	91,83	93,69	95,49	96,06	97,78	99,44
30	67,58	69,51	70,92	72,28	72,71	74,01	75,27
60	40,48	41,64	42,48	43,30	43,56	44,34	45,09
120	23,56	24,24	24,73	25,20	25,35	25,81	26,24
360	9,71	9,98	10,19	10,38	10,44	10,63	10,81
720	5,50	5,66	5,77	5,88	5,92	6,02	6,13
1440	3,11	3,20	3,26	3,32	3,34	3,40	3,46

Continuação Tabela 10

Duração (min)	Período de Retorno (anos)						
	2	5	10	20	25	50	100
Imáx IDF híbrida							
5	105,61	123,41	138,84	156,20	162,24	182,53	205,36
10	92,36	107,93	121,43	136,61	141,89	159,64	179,60
15	82,47	96,37	108,42	121,98	126,70	142,54	160,37
20	74,76	87,36	98,28	110,58	114,85	129,21	145,37
30	63,45	74,15	83,42	93,85	97,48	109,67	123,38
60	44,92	52,49	59,05	66,44	69,00	77,63	87,34
120	29,77	34,79	39,14	44,03	45,73	51,45	57,89
360	14,29	16,70	18,79	21,14	21,95	24,70	27,79
720	8,76	10,23	11,51	12,95	13,45	15,13	17,03
1440	5,31	6,21	6,99	7,86	8,16	9,18	10,33
Imáx IDF convencional							
5	117,57	136,51	152,84	171,12	177,46	198,68	222,45
10	100,15	116,28	130,19	145,76	151,16	169,24	189,49
15	87,72	101,85	114,03	127,67	132,40	148,23	165,96
20	78,35	90,97	101,85	114,03	118,26	132,40	148,24
30	65,07	75,56	84,60	94,71	98,22	109,97	123,12
60	44,43	51,59	57,76	64,67	67,07	75,09	84,07
120	28,51	33,10	37,06	41,50	43,03	48,18	53,95
360	13,11	15,22	17,04	19,07	19,78	22,15	24,80
720	7,84	9,10	10,19	11,41	11,83	13,25	14,83
1440	4,65	5,40	6,04	6,77	7,02	7,86	8,80

Neste aspecto, na IDF obtida por GOULART et al. (1992), para a localidade de Pelotas/RS, os valores de intensidades máximas são validados somente a partir da duração de 30 min, que pode ser observado pela diferença na Tabela 10, visto que, se está trabalhando com modelagem de chuvas intensas, que estão ligadas a durações inferiores a este valor (OLIVEIRA et al., 2005), os quais estão contemplados na obtenção das equações IDF's deste trabalho, permitindo a geração de pontos

suficientes para definir as curvas IDF's referentes a diferentes períodos de retorno, para sua completa caracterização.

Os resultados encontrados demonstram a necessidade de revisões contínuas nas relações IDF's, à medida que sejam incorporados novos registros pluviográficos às séries históricas disponíveis. Embora o teste "t" de *Student* tenha revelado não ocorrer diferença significativa entre a equação IDF determinada por GOULART et al. (1992) em relação as equações convencional e híbrida, estas são de importância fundamental, visto que contemplam novos eventos extremos de precipitação, além da possibilidade de determinar os valores de intensidades a partir de 5 min.

No caso dos eventos extremos contidos nas séries de dados utilizados nas equações IDF's estão contidos três importantes eventos, associados ao fenômeno ENOS (1992/93; 1997/98 e 2015), que não estão inseridos na IDF de GOULART et al. (1992), para a localidade de Pelotas/RS.

SILVA et al. (2013), com objetivo de apresentar uma equação IDF para a cidade de Fortaleza, a partir de 30 anos de registros pluviográficos (1970-1999), avaliaram séries anuais de eventos de intensidades médias máximas, nas durações de 5 a 1440 minutos. Os resultados da nova equação foram comparados com os valores obtidos pela aplicação de três equações anteriores, não diferindo significativamente do ponto de vista estatístico. No entanto, demonstraram uma tendência de incremento nas intensidades de precipitação superior às calculadas com as equações anteriores. Em vista disso, os autores consideram importante a necessidade de revisões futuras das equações, à medida que sejam incorporados novos dados de chuvas às séries históricas disponíveis, permitindo investigar possíveis tendências de elevação de eventos extremos nas regiões.

Em diversos estudos (SILVA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2005; BACK et al., 2006; GARCIA et al., 2011; GHAMMI et al., 2016), a obtenção da equação IDF adota uma metodologia padronizada que segue a seguinte sequência: (i): para cada duração são obtidas as precipitações máximas anuais, com base nos dados históricos; (ii): para cada duração mencionada é ajustada uma distribuição teórica de probabilidade; (iii): dividindo a precipitação pela sua duração obtém-se a referida intensidade (iii): as curvas resultantes são as relações IDF.

No entanto, optou-se por uma IDF denominada híbrida, em que os valores de intensidades máximas, para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20 e 25 anos fossem àqueles obtidos mediante a análise de frequência empírica, utilizando a formulação de Weibull, enquanto, que para os períodos de 50 e 100 anos, os valores de intensidades máximas utilizadas fossem os mesmos da equação IDF da forma convencional, obtidos mediante a distribuição de probabilidade que melhor se ajuste a série de dados.

Conclusão

As séries de intensidades máximas anuais de precipitação, nas durações pré-estabelecidas de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min utilizadas para obtenção das IDF's são estacionárias e independentes.

Na análise das chuvas intensas de Pelotas/RS foram consideradas como chuvas intensas todas aquelas que, pelo menos para a duração de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min atendessem o critério do valor mínimo precipitado de 5, 9, 13, 14, 15, 19, 24, 30, 40, 53 mm, respectivamente.

A função objetivo influencia na escolha dos parâmetros das equações IDF's, tornando-se importante na estimativa dos valores de intensidades máximas, para a localidade de interesse.

Os valores de intensidades máximas associados às durações e períodos de retorno podem ser determinados por formulação empírica, desde que o número de elementos da série seja igual ou maior que o período de retorno estabelecido para o projeto. Porém, os resultados demonstraram que não há perda de informação, em termos de relação IDF, em se utilizar valores de intensidades máximas ajustados à distribuição de probabilidade adequada à série de dados.

É necessária a revisão periódica das relações IDF's, a fim de assegurar que os eventos extremos, relacionados aos períodos de retorno utilizados em projetos de estruturas hidráulicas sejam representativos.

Capítulo 2

Relações Intensidade-Duração- Frequência da Precipitação mediante a Técnica da Desagregação da Chuva Diária

Resumo

A relação intensidade-duração-frequência de ocorrência (IDF) é uma ferramenta que pode ser utilizada em modelos de transformação chuva-vazão, muitas vezes utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas. Objetivou-se verificar se há diferença significativa, entre as IDF's, cujos valores de intensidades máximas anuais foram obtidos a partir da desagregação da chuva máxima diária e registros pluviográficos, nas durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min e para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, na localidade de Pelotas/RS. Pelo teste "t" de *Student*, constatou-se que não há diferença significativa de informação em termos de relação IDF quando utilizada a IDF mediante a dados pluviométricos, comparativamente à série de registros pluviográficos, desta forma, permitindo sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

Palavras-chave: chuvas intensas, precipitação acumulada em 24 horas, IDF.

Abstract

The intensity-duration-frequency ratio (IDF) is a method used in rainfall-flow transformation models, often used in the design of hydraulic works. The objective was to verify if there is a significant difference between the IDFs, whose values of maximum annual intensities were obtained from the disaggregation of maximum daily rainfall and pluviographic records, in the durations of 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 and 1440 min and for the return periods of 2, 5, 10, 20, 25, 50 and 100 years in the locality of Pelotas/RS. By Student's t-test, it was verified that there is no significant difference of information in terms of IDF relationship when using the IDF by means of pluviometric data, compared to the series of pluviographic records, thus allowing its use in locations where there is no availability of pluviographic records.

Keywords: intense rainfall, precipitation accumulated in 24 hours, IDF.

Introdução

A chuva é um evento considerado aleatório e para caracterizá-lo é necessário conhecer a sua duração, intensidade e frequência de ocorrência ou período de retorno (Tr). Essa relação é comumente denominada de intensidade-duração-frequência de ocorrência (IDF), sendo uma ferramenta utilizada nos processos de transformação chuva-vazão (DAMÉ et al., 2008).

A determinação da relação IDF deve ser deduzida das observações de chuvas intensas durante um período de tempo longo e representativo dos eventos extremos do local. Na constituição das séries de chuva para a análise estatística, podem ser seguidos três caminhos: a constituição das séries a partir de registros pluviográficos e radar meteorológico, quando disponíveis, e mediante a desagregação da chuva diária obtida a partir dados pluviométricos.

Os dados de radar meteorológico, bem como os registros pluviográficos são escassos, em contrapartida dados diários de precipitação são de fácil disponibilidade (BACK et al., 2011; ARAGÃO et al., 2013; DAMÉ et al., 2014), uma vez que no Brasil, existe uma extensa rede de monitoramento pluviométrico.

Para o uso da chuva diária na determinação das relações IDF é necessário aplicar um modelo de desagregação, em que a partir do valor da chuva acumulada em um dia, seja possível obter os valores de lâminas, em menores durações, como por exemplo em 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 min, 6, 12 e 24 h, cujo somatório nas respectivas durações, não apresente diferença significativa em relação a chuva diária (ARAGÃO et al., 2013).

Com objetivo de determinar as relações IDF's para algumas localidades representativas em termos de variabilidade climática no estado de Pernambuco, e validar as relações IDF's oriundas de dados desagregados, SILVA et al. (2012) utilizaram 12 estações pluviográficas e 11 pluviométricas. Os autores encontraram valores de coeficientes de determinação (R^2), que variaram de 0,9700 a 0,9990, em comparação com as relações obtidas com registros pluviográficos. Ou seja, no estado de Pernambuco, no caso de ausência de dados pluviográficos, recomenda-se utilizar dados pluviométricos.

Dada a escassez de dados pluviográficos, bem como de equações IDF's no Estado de Sergipe, ARAGÃO et al. (2013) desenvolveram equações IDF utilizando dados de chuva diária desagregados, de 48 postos distribuídos em todo o Estado. Os resultados da obtenção das IDF's, evidenciaram a grande variabilidade das

precipitações no Estado, ressaltando a importância da determinação da IDF para cada localidade, porém, uma vez especializados os parâmetros da equação podem ser empregados em obras hidráulicas em locais que apresentem semelhança climatológica e que os dados não sejam disponibilizados.

Na localidade de Pelotas/RS existe uma estação agroclimatológica em funcionamento desde 1888, com registros pluviográficos a partir de 1954 (GOULART et al., 1992). Na estimativa da relação IDF para o município, GOULART et al. (1992) utilizaram uma série de duração parcial de intensidades máximas de chuva, correspondente a um período de 31 anos contínuos. Os autores consideraram como intensos, todos àqueles eventos que, para as durações de 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, o valor mínimo fosse de 40, 25, 15, 6,3, 3,7 e 2,3 mm h⁻¹, respectivamente.

TEIXEIRA et al. (2011) verificaram a existência de ganho de informação, em termos de relação IDF, ao serem utilizadas séries anual e de duração parcial, a partir dos dados de chuva máxima diária desagregada, comparativamente aos valores de intensidades máximas históricos de chuva, obtidos de DAMÉ et al. (2008), da localidade de Pelotas/RS. Os autores concluíram que não houve ganho de informação em termos de relação IDF, quando utilizada a série de duração parcial, com o valor base pré-estabelecido por GOULART et al. (1992), comparativamente à série de registros históricos.

Assim, objetivou-se verificar a existência de diferença significativa, entre as relações Intensidade-Duração-Frequência obtidos a partir dos dados de chuva máxima diária desagregada, comparativamente àquelas determinadas mediante registros pluviográficos, na localidade de Pelotas/RS.

Material e Métodos

Utilizaram-se dados de chuva do período de 1982 a 2015 da localidade de Pelotas/RS, obtidos na Estação Agroclimatológica – Convênio EMBRAPA/UFPel, INMET (31° 51' S; 52° 21' O; a 13,2 m de altitude), para a constituição da série de chuva máxima diária anual.

A série de chuva máxima diária anual foi desagregada para as durações 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, utilizando o método das relações (CETESB,

1979; OLIVEIRA et al., 2005; CAMPOS et al., 2014), apresentada por SILVEIRA (2000) (Equação 1):

$$P_t = 1,1 \cdot \exp^{\frac{1,5 \cdot \ln(\ln(t \cdot 60))}{7,3}} \cdot P_{dia} \quad (1)$$

em que,

P_t - chuva máxima com t horas de duração (mm);

P_{dia} - chuva máxima com um dia de duração (mm).

Os valores de intensidades máximas anuais (mm h^{-1}), para cada uma das durações pré-estabelecidas, foram obtidas a partir da relação entre as alturas de lâminas precipitadas (mm) e as respectivas durações (h).

Posteriormente à constituição das séries de intensidades máximas, nestas foram avaliadas a independência, utilizando a função de autocorrelação amostral (GROPPO et al., 2005), e a estacionariedade, a partir do teste não paramétrico de Mann-Kendall (RODRIGUES & SANTOS, 2007).

Para obter os valores de intensidades máximas associados aos períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, que posteriormente foram utilizados na determinação das relações IDF's, foram utilizados o modelo empírico de Weibull e os teóricos probabilísticos. O modelo empírico foi utilizado para obter os valores de intensidades máximas nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos, enquanto que os modelos teóricos foram aplicados para a obtenção dos valores de intensidades máximas, para todos os períodos de retorno estabelecidos. A partir desta metodologia foram obtidas as relações IDF's híbrida (modelo empírico, 2 a 25 anos; e modelo teórico, 50 e 100 anos) e convencional (modelo teórico de probabilidade para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos).

No modelo empírico foi determinada a probabilidade de excedência, $P(X \geq x)$ e período de retorno (T_r), adotando-se a Equação 2 de Weibull.

$$P(X \geq x) = \frac{i}{N+1} \quad (2)$$

em que,

i - número de ordem de cada elemento da série;

N - número total de elementos da série.

Os parâmetros dos modelos probabilísticos Normal, log-Normal, Gumbel e Gama foram ajustados utilizando o método da máxima verossimilhança (BLAIN & CAMARGO 2012; PEREIRA et al., 2014). Após o ajuste dos parâmetros dos modelos probabilísticos, foi selecionado aquele que melhor se ajusta aos valores de intensidade máxima de chuva, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov (SILVA et al., 2013; RAMOS & MOALA 2014) considerando como hipótese de nulidade (H_0), que os dados provêm da população oriundos da distribuição testada, para um nível α de probabilidade de 5%.

As relações intensidade-duração-frequência de chuvas foram representadas conforme Equação 3 (BORGHA et al., 2005; SILVA et al., 2006; SILVA et al., 2013):

$$I = \frac{K \cdot Tr^a}{(t+b)^c} \quad (3)$$

em que,

I - intensidade de chuva (mm h^{-1});

Tr - período de retorno (anos);

t - duração de chuva (min);

K, a, b, c - parâmetros da equação que devem ser ajustados aos dados observados.

Para obter os parâmetros das relações IDF's (K, a, b e c) foram utilizadas cinco funções objetivos, sendo avaliadas e selecionadas de acordo com os resultados do Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE).

A validação das relações IDF's híbrida e convencional obtidas por meio de dados diários desagregados foi realizada mediante a comparação dos valores de intensidades máximas com os obtidos por meio das relações IDF's, também híbrida e convencional, determinadas por meio de registros pluviográficos para a mesma localidade (Equações 4 e 5, respectivamente):

$$I = \frac{1000 \cdot Tr^{0,170}}{(t+20)^{0,735}} \quad (4)$$

$$I = \frac{1100 \cdot Tr^{0,163}}{(t+16,47)^{0,766}} \quad (5)$$

Para avaliar se há ou não diferença significativa, em nível α de probabilidade 0,05, entre os valores de intensidades máximas mediante as IDF's híbrida e convencional, obtidos por desagregação de chuva diária, comparativamente aos valores de intensidades máximas pluviográficos, foi utilizado o teste "t" de *Student* para o coeficiente angular β_1 , do modelo de regressão linear simples. A hipótese de nulidade (H_0) para o coeficiente angular β_1 ; $H_0: \beta_1 = 0$ e a alternativa, $H_1: \beta_1 \neq 0$. Assim, se a estatística calculada do teste for menor do que o valor crítico para um nível de probabilidade $(1-\alpha/2)$, sendo $\alpha = 5\%$, aceita-se H_0 e conclui-se que não há diferença significativa entre os valores de intensidades máximas obtidas a partir das séries testadas.

Resultados e Discussão

Os resultados da verificação da independência dos dados de intensidades máximas que foram desagregados mostram que estes são considerados independentes, uma vez que os valores dos coeficientes de correlação amostral (r_1) foram 0,196, 0,124, 0,121, 0,120, 0,106, 0,091, 0,079, 0,551, 0,208 e 0,072, para as durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, respectivamente, que estão inseridos no intervalo de confiança de 95%, superior de 0,306 e inferior de -0,366 (SOUZA et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2011).

Com relação a estacionariedade, os valores de intensidades máximas, nas diferentes durações podem ser considerados estacionários, pois a estatística do teste Mann-Kendall (Z) variou entre -0,999 e -0,986, sendo inferior ao crítico, $Z_\alpha = 1,96$, para um intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 5\%$) (PINHEIRO et al., 2013; SILVA & STRECK, 2014).

Uma vez que os valores de intensidades máximas para todas as durações selecionadas são considerados independentes e estacionários, observa-se na Tabela 1 os valores do teste da estatística de Kolmogorov-Smirnov ($D_{\text{máx}}$), para as quatro distribuições de probabilidade ajustadas. Verifica-se que todas as distribuições de probabilidade ajustaram-se adequadamente às séries de dados, visto que o valor da estatística calculada foi inferior ao valor crítico ($D_{\text{crít}} = 0,227$), no nível de significância de $\alpha = 5\%$. Entretanto foi selecionada a distribuição de Gumbel em função do menor valor da estatística calculada.

Tabela 1 - Valores calculados ($D_{\text{máx}}$) do teste Kolmogorov-Smirnov para as distribuições de probabilidade ajustadas às séries de duração de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720, 1440 min de chuva máxima diária, para a localidade de Pelotas/RS, no período de 1982 a 2015.

Distribuição	Duração (min)									
	5	10	15	20	30	60	120	360	720	1440
	$D_{\text{máx}}$									
Normal	0,211	0,211	0,210	0,211	0,211	0,211	0,212	0,215	0,215	0,207
Log-Normal	0,148	0,148	0,147	0,148	0,148	0,148	0,150	0,153	0,152	0,144
Gumbel	0,124	0,124	0,123	0,124	0,124	0,124	0,126	0,129	0,129	0,119
Gama	0,170	0,170	0,169	0,169	0,170	0,170	0,172	0,174	0,174	0,166

$D_{\text{crít}} = 0,227$ para o nível de significância de 5 %.

PEREIRA et al. (2014), tiveram como objetivo estimar a equação de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso do Sul, aplicando o método de desagregação da chuva diária, pelo método das relações de CETESB, utilizando os dados provenientes de 105 estações pluviométricas. As séries de intensidades máximas anuais para cada duração foram ajustados à distribuição de Gumbel, cujos parâmetros foram estimados pelo método da máxima verossimilhança e a verificação da aderência dos dados à distribuição teórica foi realizada pelo teste de KS para um nível α de probabilidade de a 20%. Quanto à distribuição de probabilidade, os autores concluíram que a distribuição de Gumbel mostrou-se adequada para estimar as chuvas intensas, nas áreas estudadas.

No entanto, não há um consenso na literatura sobre a distribuição de probabilidade mais adequada para ajustar as chuvas máximas diárias. Ao investigar a robustez de várias distribuições de probabilidade usuais na análise de eventos extremos hidrológicos, BACK (2006) e SANSIGOLO (2008) verificaram que a distribuição de Gumbel foi a que melhor se ajustou aos valores de chuva máxima diária.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros, de locação e escala, γ e λ , respectivamente, da distribuição de Gumbel, ajustados aos valores de intensidades máximas das séries de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720, 1440 min, utilizados para

a estimativa da intensidade máxima diária (mm h^{-1}), para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos para IDF convencional, bem como para Tr 50 e 100 anos para IDF híbrida da localidade de Pelotas/RS (Tabela 3).

Tabela 2 - Parâmetros da distribuição Gumbel ajustados às séries de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720, 1440 min de chuva máxima diária, para a localidade de Pelotas/RS, no período de 1982 a 2015.

Parâmetro	Duração (min)									
	5	10	15	20	30	60	120	360	720	1440
γ	105,53	90,29	76,77	66,99	54,04	35,69	22,16	10,25	6,05	3,50
λ	0,032	0,037	0,044	0,050	0,063	0,095	0,155	0,329	0,557	0,959

Tabela 3 - Valores de intensidade máximas (mm h^{-1}) de precipitação para um período de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, obtidos pelo ajuste da distribuição de probabilidade Gumbel às séries convencional, e híbrida, para a localidade de Pelotas/RS.

Duração (min)	Tr (anos)						
	2	5	10	20	25	50	100
Convencional							
5	116,79	147,37	167,62	187,04	193,20	212,18	231,02
10	99,92	126,09	143,41	160,03	165,30	181,54	197,66
15	84,96	107,22	121,96	136,09	140,57	154,39	168,10
20	74,14	93,56	106,41	118,74	122,65	134,70	146,66
30	59,80	75,47	85,84	95,79	98,95	108,67	118,32
60	39,49	49,84	56,69	63,26	65,35	71,77	78,14
120	24,96	31,51	35,84	39,99	41,31	45,37	49,40
360	11,35	14,32	16,29	18,18	18,77	20,62	22,45
720	6,69	8,45	9,61	10,72	11,08	12,17	13,25
1440	3,88	4,89	5,56	6,20	6,40	7,03	7,66

Continuação Tabela 3

Duração (min)	Tr (anos)						
	2	5	10	20	25	50	100
	Híbrida						
5	113,70	150,00	190,81	214,77	228,91	212,18	231,02
10	97,25	128,40	163,29	183,74	195,83	181,54	197,66
15	82,70	109,20	138,81	156,24	166,53	154,39	168,10
20	72,15	95,30	121,12	136,39	145,36	134,70	146,66
30	58,20	76,80	97,74	109,93	117,19	108,67	118,32
60	38,45	50,70	64,51	72,60	77,40	71,77	78,14
120	24,30	32,10	40,77	45,91	48,94	45,37	49,40
360	11,05	14,60	18,53	20,89	22,26	20,62	22,45
720	6,50	8,60	10,93	12,31	13,14	12,17	13,25
1440	3,75	5,00	6,36	7,14	7,63	7,03	7,66

As equações que representam as relações IDF's, híbrida e convencional (Tabela 4), foram obtidas a partir dos valores de intensidades máximas apresentadas na Tabela 3. As equações estabelecidas referem-se a um período de 34 anos (1982 a 2015), cujo intervalo de duração analisado foi de 5 até o 1440 minutos. A justificativa para a utilização dos referidos limites deve-se ao fato de que as chuvas consideradas mais intensas, ocorrem em durações tão pequenas quanto 5 a 10 minutos (DAMÉ et al., 2005; BEN-ZVI, 2009).

Para a mesma localidade em estudo, GOULART et al. (1992) estimaram a relação IDF mediante o uso de registros pluviográficos do período de 1961 a 1991, tendo como limites de duração 30 a 1440 min. Apesar do uso corrente da equação IDF obtida mediante o uso de registros pluviográficos, há de se considerar que a mesma além de representar um período de tempo menor (31 anos), comparativamente às obtidas no presente trabalho (34 anos), ainda não contempla os eventos extremos ocorridos no período de 1992 a 2015. Podem ser citados os ocorridos nos anos de 1992, 1998, 2004 e 2009 (DAMÉ et al., 2005; DAMÉ et al., 2014).

Tabela 4 - Equações de intensidade-duração-frequência (IDF) pluviométricas, obtidas a partir do método empírico híbrida e o método convencional no período de 1982 a 2015, para a localidade de Pelotas/RS

Série	Equação IDF	
Híbrida pluviométrica	$I = \frac{1100 \cdot Tr^{0,150}}{(t+12,44)^{0,757}}$	(6)
Convencional pluviométrica	$I = \frac{1100 \cdot Tr^{0,162}}{(t+13,39)^{0,779}}$	(7)

I – Intensidade máxima média de precipitação pluvial (mm h^{-1}); Tr – Período de retorno (anos); t – duração (min).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados referentes ao coeficiente angular da reta, β_1 , a estatística t, $t(\beta_1)$, probabilidade significativa e o coeficiente de correlação (r) obtidos a partir dos valores históricos de intensidades máximas de chuva ($I_{\text{máx}}$) e os resultantes das relações IDF's híbrida e convencional da cidade de Pelotas-RS, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Observa-se que os valores de intensidades máximas obtidos a partir das relações IDF's híbrida e convencional não diferem dos valores histórico. Além disso, os resultados mostram que não houve diferença entre as intensidades máximas para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos, uma vez que, os valores calculados da estatística “t” para o coeficientes angular (β_1), foram maiores que o valor crítico de “t”, para um nível α de probabilidade de 5%.

Tabela 5- Resultados do ajuste linear ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$) e coeficiente de correlação (r), obtidos entre os valores históricos de intensidades máximas de chuva ($Imáx$) e os obtidos a partir do método empírico e convencional da cidade de Pelotas-RS, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Tr (anos)	β_1	$t(\beta_1)$	p	r
Imáx IDF híbrida pluviométrica <i>versus</i> IDF híbrida pluviográfica				
2	1,3071	0,23	0,41	0,9915
5	1,2833	0,22	0,42	
10	1,2657	0,21	0,42	
20	1,2483	0,20	0,42	
25	1,2427	0,19	0,43	
50	1,2256	0,18	0,43	
100	1,2087	0,17	0,43	
Imáx IDF convencional pluviométrica <i>versus</i> IDF convencional pluviográfica				
2	1,0794	0,074	0,47	0,9983
5	1,0784	0,072	0,47	
10	1,0776	0,072	0,47	
20	1,0769	0,071	0,47	
25	1,0766	0,071	0,47	
50	1,0759	0,071	0,47	
100	1,0752	0,069	0,47	
Imáx IDF convencional pluviométrica <i>versus</i> Imáx híbrida pluviométrica				
2	1,0912	0,084	0,47	0,9992
5	1,0793	0,074	0,47	
10	1,0703	0,066	0,47	
20	1,0615	0,058	0,48	
25	1,0586	0,055	0,48	
50	1,0499	0,048	0,48	
100	1,0412	0,040	0,48	

β_1 : coeficiente angular do ajuste linear; $t_{tab} (5\%) = 2,26$; $p = 0,05$.

Observando os resultados apresentados na Tabela 5, as equações geradas por meio da desagregação de chuva de 24 horas apresentaram boa correlação quando comparadas as IDF por registros pluviográficos, com valores de r de 0,9915 e 0,9983, permitindo sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

SILVA et al., (2012) em função da pouca disponibilidade de registros pluviográficos no estado de Pernambuco desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi determinar as relações IDF a partir de dados pluviométricos, para algumas localidades representativas da variabilidade climática do estado. Nos resultados do trabalho, os autores mostram que as equações geradas por meio de registros pluviométricos apresentaram bons ajustes, com valores de coeficiente de determinação r^2 variando de 0,9700 a 0,9990, comparativamente às relações IDF obtidas com registros pluviográficos.

As intensidades máximas obtidas das relações IDF's convencional e híbrida não apresentam valores distantes, mesmo para altos períodos de retorno. Observa-se que os resultados do teste "t" não apontaram diferença significativa, entretanto quando são analisadas as diferenças percentuais para cada período de retorno, como por exemplo, para o período de retorno de 10 anos em que a maioria das obras hidroagrícolas são projetadas (DAMÉ et al., 2005), os valores de intensidades máximas horárias, encontrados quando do uso da IDF híbrida e convencional, foram respectivamente, $60,73 \text{ mm h}^{-1}$ e $56,51 \text{ mm h}^{-1}$.

E para as obras hidráulicas, cujo período de retorno utilizado para o projeto for 100 anos, tem-se $85,78 \text{ mm h}^{-1}$ e $82,06 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente. No caso do período de retorno 10 anos, a diferença percentual dos valores de intensidades máximas é em torno de 8%, enquanto que para $T_r = 100$ anos este valor é minimizado para 4,5%. Desta forma é possível observar que há um indicativo de que a IDF convencional pode ser utilizada para períodos de retorno superiores a 10 anos, em que as diferenças percentuais são menores.

Conclusão

As chuvas intensas podem ser analisadas a partir das relações IDF obtidas a partir de dados de chuva diária desagregada na localidade em questão.

Os valores de intensidades máximas obtidos a partir do ajuste adequado de uma distribuição teórica de probabilidade podem ser utilizados em modelos que fazem

a transformação chuva-vazão, mesmo que o número de anos que constituem a série seja maior que o período de retorno estabelecido – relação IDF convencional. Ao mesmo tempo que é possível, utilizar nos processos de transformação chuva-vazão, os valores de intensidades máximas históricos, desde que o período de retorno utilizado no projeto possa ser obtido a partir da análise de frequência empírica dos dados – relação IDF híbrida.

Na análise das distribuições de probabilidade das séries anuais com os dados pluviométricos a distribuição de Gumbel apresentou melhores ajustes à série comparativamente com as demais distribuições de probabilidade para a localidade de Pelotas/RS, salientando a importância nos estudos relacionados com análise de frequência para ajustes de modelos de determinação de equação de chuvas intensas.

A análise comparativa dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia de desagregação de chuva diária com os valores das equações geradas por meio de dados de pluviogramas mostraram que não há diferença significativa entre os valores de intensidades máximas, em termos de relação IDF, permitindo sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

Conclusão Geral

As relações IDF obtidas por registros pluviográficos utilizando modelos de probabilidade empíricos e teóricos possibilitou a atualização do conhecimento das chuvas intensas do município.

A aplicação da metodologia de desagregação de chuva diária, utilizada previamente à obtenção da relação IDF a partir de dados pluviométricos, gerou valores de intensidades máximas mais elevados que os obtidos a partir dos registros pluviográficos, considerando todas as durações analisadas.

Tanto a relação IDF híbrida como a convencional representaram adequadamente os valores de intensidades máximas históricas, ou seja, os valores de intensidades máximas, para períodos de retorno até 25 anos podem ser obtidos tanto por modelos empíricos como teóricos. Para os períodos de retorno de 50 e 100 anos a predição dos valores de intensidades máximas pela distribuição de Gumbel foi adequado.

As relações IDF's híbrida e convencional contemplam importantes eventos extremos, ocorridos no período estudado de 1982 a 2015, relacionados aos anos de ocorrência do fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS), que afetam diretamente a intensidade máxima das precipitações. As IDF's obtidas neste estudo propiciaram a atualização da equação para o município de Pelotas/RS, por utilizar-se de registros pluviográficos atuais.

Referências

- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F. CRUZ, M. A. S.; Figueiredo E. E. e Srinivasan V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.243–252, 2013.
- ARAI, F. K.; PEREIRA, S. B.; GONÇALVES, G. G. G. Characterization of water availability in a hydrographic basin. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.32, n.3, p.591-601, maio/jun. 2012.
- ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S. RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MADEIROS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.
- AS-SYAKUR, M.; RAHMAN, A.; OSAWA, T.; MIURA, F.; NUARSA, I. W.; EKAYANTI, N.W.; DHARMA, I.G.B. S.; ADNYANA, I. W. S.; ARTHANA, I.W.; TANAKA, T. Maritime Continent rainfall variability during the TRMM era: The role of monsoon, topography and El Niño. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v.75, p.58-77, 2016.
- BACK, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, p.211-222, 2001.
- BACK, A. J.; HEN, A., OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.35, p.2127–2134, 2011.
- BACK, A.J. Relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.4, p.575-581, 2006.
- BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A.; VOLPE, C.A.; PEREIRA, G.T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal, SP, pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.1, p.141-147, 2003.
- BEN-ZVI, A. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. **Journal of Hydrology**, Rome, v.367, n.1-4, p.104-114, 2009.
- BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. L.; FARIA, L. C.; GUEDES, H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.4, part B, p.123–133, September. 2015.
- BLAIN, G. C.; CAMARGO, M. B. P. Probabilistic structure of an annual extreme rainfall series of a coastal area of the State of São Paulo, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.552-559, Junho. 2012.
- BLAIN, G. C.; MESCHIATTI, M. C. Using multi-parameters distributions to assess the probability of occurrence of extreme rainfall data. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n.3, p.307-313, março. 2014.
- BORGA, M.; VEZZANI, C.; FONTANA, G. D. Regional rainfall depth–duration–frequency equations for an Alpine Region. **Natural Hazards**, v.36, p.221–235. 2005.
- BURN, D.; TALEGHANI, A. Estimates of changes in design rainfall values for Canada. **Hydrological Processes**, v.27, n.11, p.1590–1599, 2013.
- CALDEIRA, T. L., BESKOW, S., MELLO C. R., FARIA L. C., SOUZA M. R. & GUEDES H. A. S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.v.19, n.3, p.197–203, 2015.

CAMPOS, A.R.; SANTOS, G.G.; SILVA, J.B.L.; FILHO, J.I.; LOURA, D.S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 488-498, jul-set, 2014.

CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SILVA, E. C. Estação Chuvosa e de Cultivo para a Região de Rio Largo, Alagoas Baseada em Métodos Diretos e sua Relação com o El Niño – Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.192-198, 2013.

CETESB, (1979). Drenagem Urbana: Manual de projeto. São Paulo. p 476.

DAMÉ R.C.F.; TEIXEIRA-GANDRA, C.F.A.; GUEDES, H.A.S.; SILVA, G.M.; SILVEIRA, S.C.R. Intensity-duration-frequency relationships: stochastic modeling and disaggregation of daily rainfall in the lagoa Mirim watershed, Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.3, p.492-502, maio./jun. 2016.

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

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; VILLELA, F. A.; SANTOS, J. P.; WINKLER, A. S. Analysis of the relationship intensity, duration, frequency of disaggregated daily rainfall in southern Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.4, p.660-670, jul./ago. 2014.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; MOURA C.; MACHADO, R.; BESKOW, S. Análise do impacto de um evento de precipitação ocorrido na cidade de Pelotas/RS. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.3, p.15-25, 2005.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência para Pelotas – RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.245-255, 2008.

DAMÉ, Rita de Cassia Fraga. Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de 23 Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DOURADO NETO, D.; ASSIS, J. P.; TIMM, L. C.; MANFRON, P. A.; SPAROVEK, G.; MARTIN, T. N. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba – SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.273-283, 2005.

FERREIRA, J. C.; DANIEL, L. A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o estado de São Paulo: fase I. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.6, p.1175-1187, dezembro. 2005.

GARCIA, S. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.575–581, 2011.

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, p.45-58, 2000.

GHANMI, H.; BARGAOUI, Z.; MALLET, C. Estimation of intensity-duration-frequency relationships according to the property of scale invariance and regionalization analysis in a Mediterranean coastal area. **Journal of Hydrology**, v.541, p. 38–49, 2016.

GOULART, J.; MAESTRINI A. P.; & NEBEL, A. L. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.7, n.1, p.543-552, 1992.

GROPPO, J.D.; MORAES, J.M.; BEDUSCHI, C.E.; MARTINELLI, L.A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências**, São Paulo, v.24, n.2, p.181-193, 2005.

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

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.2, n. 2, 2007.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J.A.; MELLO, C.R.; ALVES, G.J. Eventos extremos de precipitação no Alto Rio Grande, MG: Análise probabilística. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.19, n.4, p.301–308. 2015.

KENDALL, M. G.; STUART, A. **The advanced theory of statistics**. London: Charles Griffin & Company Limited, 1967. 449p.

KRUEL, I. B.; MESCHIATTI, M. C.; BLAIN, G. C.; AVILA, A. M. H. Climate trends in the municipality of Pelotas, state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.4 p.769-777. 2015.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na Precipitação Máxima Diária do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, p.429 – 440. 2013.

MARTINEZ, M. C. A.; MARIN, L. J. H.; CAMARGO, L. G. Z. Modelado del proceso de hidrotratamiento de diésel. **Revista ION**, Bucaramanga, v.25, n.2, p.7-14, dezembro. 2012.

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

MINUZZI, R. B. Chuvas em Santa Catarina durante eventos do El Niño oscilação Sul. **Geosul**, Florianópolis. v.25, n.50, p. 107-127, jul/dez. 2010.

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

PEREIRA, S. B.; NOIA, C. P. Z.; ALMEIDA, R.A.; COELHO, C. D.. Method adjustment and equation set of maximum rainfall intensity duration and frequency in the Mato Grosso do Sul State. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.4, 2014.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.28, n.3, p.281-290, setembro. 2013.

R Development Core Team, 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

R Development Core Team, 2012. An Introduction to R. Vienna, Austria.

RAMOS, P. L.; MOALA, F. A. A aplicação da distribuição exponencial geométrica estendida para modelagem de dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 613-620, dezembro. 2014.

RIBEIRO, B.T.; AVANZI, J.C.; MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N. Comparação de distribuição de probabilidade e estimativa da precipitação provável para região de

Barbacena, MG. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.31, n.5, p.1297-1302, set./out. 2007.

RIGHETTO, A.M. FREITAS, B. Hydrological modeling of a detention reservoir: flood control and aquifer recharge. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, RBRH, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 752-765, out./dez. 2016.

RODRIGUES, R.A.; SANTOS, R.S. Estudo de tendência climática na série temporal de precipitação pluviométrica em Araguari (MG). **Revista Geográfica Acadêmica**, Manaus, v.1 n.1, 20-27, 2007.

RODRIGUEZ, R.; NAVADRO, X.; CASAS, M. C.; RIBALAYGUA, J.; RUSSO, B.; POUGET, L.; REDANO, A. Influence of climate change on IDF curves for the metropolitan area of Barcelona (Spain). **Internacional Journal of Climatology**, v.34, n.3, p.643–654, 2014.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; PINTO, E. J. A.; SILVA, B. B.; SOUZA, W. M.; OLIVEIRA, L. M. M. Influence of oceanic-atmospheric interactions on extreme events of daily rainfall in the Sub-basin 39 located in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n.4, p.685-693. 2016.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, p.341-346. 2008.

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**, v.13, p.899-905, 2009.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.115-123, 2010.

SILVA F. O. E.; PALÁCIO JÚNIOR, F. F. R.; CAMPOS, J. N. B. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista DAE**, n.192, maio/agosto. 2013.

SILVA, B. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, F. B.; ARAÚJO FILHO, P. F.; Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco.

Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.17, n.3, p.135-147, Jul/Set 2012.

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**, v.6, p.362-367. 2002.

SILVA, I.N.; OLIVEIRA, J.B.; FONTES, L.O.; ARRAES, F.D.D. Distribuição de frequência da chuva para região Centro-Sul do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 481-487, jul-set, 2013.

SILVA, J. M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte I: Desenvolvimento e avaliação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.695-703, set./dez. 2006.

SILVA, S. D.; STRECK, N. A. Tendências das séries históricas do índice de calor no município de Santa Maria - RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.8, p.1360-1366. 2014.

SILVEIRA, A. L. L. Equação para os coeficientes de desagregação de chuva. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v 5 n.4, p. 143-147 Out/Dez 2000.

SOBRINHO, V. F.; RODRIGUES, J. O.; MENDONÇA, L. A. R.; ANDRADE, E. M.; TAVARES, P. R. L. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.727–734, 2014.

SOCCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p.569-574, 2010.

SOUZA, A.M.; GEORGEN, R.; FERRAZ, S.E.T. Previsão de precipitação e temperatura em Santa Maria por meio de um modelo estatístico. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.31, n.1, p.49-64, 2009.

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; DAMAZIO, E. C. Relações funcionais entre precipitação provável e média em regiões e climas brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 693-702, julho. 2013.

SOUZA, M. C. P.; RODRIGUES, W. M.; LEVIEN, S. L. A. Equações obtidas a partir das leis de conservação para dimensionamento de drenos subterrâneos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.12, p.1201-1208, dezembro. 2014.

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

TEIXEIRA, C. F. A., DAMÉ, R. DE C. F. ROSSKOFF J. L. C. Intensity-Duration-Frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas RS, Brazil.. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.687-694, jul./ago. 2011.

TUCCI, C.E.M. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997.

VALE, R. S.; GOMES, A. C. S.; SANTANA, R. A. S.; TÓTA, J.; MILLER, S. D.; SOUSA, R. A. F. Hydroclimatic variables associated with El Nino and La Nina events at the Curuá-Una hydroelectric reservoir, **Central Amazonia. Acta Amazonica**, v.46, n.3, p.303-308. 2016.