

Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 3

**Alan Mario Zuffo
(Organizador)**



Alan Mario Zuffo

(Organizador)

Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia sanitária e ambiental [recurso eletrônico]: tecnologias para a sustentabilidade 3 / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Engenharia Sanitária e Ambiental; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-251-7

DOI 10.22533/at.ed.517191104

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária.
3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario.

CDD 628

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu III volume, apresenta, em seus 22 capítulos, os conhecimentos tecnológicos da engenharia sanitária e ambiental.

As Ciências estão globalizadas, englobam, atualmente, diversos campos em termos de pesquisas tecnológicas. Com o crescimento populacional e a demanda por alimentos tem contribuído para o aumento da poluição, por meio de problemas como assoreamento, drenagem, erosão e, a contaminação das águas pelos defensivos agrícolas. Tais fatos, podem ser minimizados por meio de estudos e tecnologias que visem acompanhar as alterações do meio ambiente pela ação antrópica. Portanto, para garantir a sustentabilidade do planeta é imprescindível o cuidado com o meio ambiente.

Este volume dedicado à diversas áreas de conhecimento trazem artigos alinhados com a Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade. A sustentabilidade do planeta é possível devido o aprimoramento constante, com base em novos conhecimentos científicos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a Engenharia Sanitária e Ambiental, assim, garantir perspectivas de solução de problemas de poluição dos solos, rios, entre outros e, assim garantir para as atuais e futuras gerações a sustentabilidade.

Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS GERADOS NA CIDADE DE DONA INÊS – PARAÍBA | |
| Narcísio Cabral de Araújo Roseane Carneiro de Oliveira Abílio José Procópio Queiroz Paulo Célio Ramos Soares Jefferson Pereira de Andrade | |
| DOI 10.22533/at.ed.5171911041 | |
| CAPÍTULO 2 | 11 |
| CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE EFLUENTES INDUSTRIAIS COM PÓS-TRATAMENTO ATRAVÉS DE PROCESSOS ELETROLÍTICOS: NATEX (XAPURI, ACRE) | |
| Emerson Silva de Almeida Julio Cesar Pinho Mattos | |
| DOI 10.22533/at.ed.5171911042 | |
| CAPÍTULO 3 | 21 |
| COLETA DE PRESSÃO - UM ESTUDO PARA TORNAR EFICIENTE O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM UMA REALIDADE DE DEMANDA REPRIMIDA EM REGIÃO DE GRANDE PERÍODO DE ESTIAGEM | |
| Uilma Santos Pesqueira Javan Oliveira de Almeida | |
| DOI 10.22533/at.ed.5171911043 | |
| CAPÍTULO 4 | 36 |
| COMPARATIVO ENTRE TENSOATIVOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS EM PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO UTILIZANDO EFLUENTE DE LAGOA DE ALTA TAXA PARA CULTIVO DE MICROALGAS (LAT) ALIMENTADA COM EFLUENTE SANITÁRIO | |
| José Carlos Alves Barroso Júnior Nestor Leonel Muñoz Hoyos Luiz Olinto Monteggia Eddie Francisco Gómez Barrantes Gabrielli Harumi Yamashita | |
| DOI 10.22533/at.ed.5171911044 | |
| CAPÍTULO 5 | 50 |
| CONHECIMENTO DA POPULAÇÃO DE JATAÍ-GO SOBRE GUARDA RESPONSÁVEL, ZONOSSES E CONTROLE POPULACIONAL DE CÃES E GATOS | |
| Rayanne Borges Vieira Marcelo Figueiredo dos Santos Patrícia Rosa de Assis Ana Paula de Souza Martins Andréia Vitor Couto do Amaral | |
| DOI 10.22533/at.ed.5171911045 | |
| CAPÍTULO 6 | 55 |
| DETERMINAÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DO MUNICÍPIO DE SANTO ESTEVÃO - BA | |
| Paulo Vitor Santa Rosa | |
| DOI 10.22533/at.ed.5171911046 | |

CAPÍTULO 7 63

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO APLICADO AO MONITORAMENTO DA LAGOA MIRIM E ATUAÇÃO DA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Gabriel Borges dos Santos
Marlon Heitor Kunst Valentini
Larissa Aldrighi da Silva
Marcos Antonio da Silva
Marília Guidotti Corrêa
Francine Vicentini Viana
Vitor Alves Lourenço
Willian César Nadaleti
Bruno Müller Vieira

DOI 10.22533/at.ed.5171911047

CAPÍTULO 8 71

DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SENHOR DO BONFIM/BA

Fernando Augusto Kursancew
Diamile Patricia Lucena da Silva
Geisa Luiza Macedo Silva

DOI 10.22533/at.ed.5171911048

CAPÍTULO 9 80

DIAGNÓSTICO DOS IMPACTOS PROVENIENTES DE AÇÕES ANTRÓPICAS NO MORRO DO URUBU, ARACAJU-SERGIPE

Carolina Cristina da Silva Ribeiro
Allana Karla Costa Alves
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.5171911049

CAPÍTULO 10 88

ECOEFIÊNCIA NA MUDANÇA DOS PADRÕES DE CONSUMO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS

Samanta Tolentino Ceconello
Luana Nunes Centeno
Diuliana Leandro
Andréa Souza Castro

DOI 10.22533/at.ed.51719110410

CAPÍTULO 11 99

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO

Pedro Henrique Máximo de Souza Carvalho
William Ralf Santos Costa
João Vitor Máximo de Souza Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.51719110411

CAPÍTULO 12 107

EQUILÍBRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO E UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO ESTADO DA BAHIA

Clério Ferreira de Sousa
Gervásio Ferreira dos Santos
Raymundo José Santos Garrido

DOI 10.22533/at.ed.51719110412

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 13 | 123 |
| ESPACIALIZAÇÃO DA POTENCIALIDADE EROSIVA POR ESTIMADOR KERNEL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA (SE) | |
| Paulo Sérgio de Rezende Nascimento Lizza Adrielle Nascimento Santos Glauber Vinicius Pinto de Barros | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110413 | |
| CAPÍTULO 14 | 132 |
| ESTUDO DA COMPOSIÇÃO, RIQUEZA E CONDIÇÃO DA FLORA ARBÓREA DA AVENIDA PRESIDENTE COSTA E SILVA (NOVA FRIBURGO – RJ) | |
| Tatiana Nicolau Gonçalves Marcello Fragoso Lima Ricardo Finotti | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110414 | |
| CAPÍTULO 15 | 144 |
| ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE MORBIDADE E SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO ENTRE 2013 A 2015, EM SANTARÉM-PA | |
| Alessandra de Sousa Silva Rebecca da Silva Fraia Soraia Valéria de Oliveira Coelho Lameirão | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110415 | |
| CAPÍTULO 16 | 150 |
| ESTUDO SOBRE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO | |
| Guilherme de Souza Barrucho Juliana Toledo Cota Giselle Martins Machado José Antônio Lins Pereira Andréia Boechat Delatorre Michaelle Cristina Barbosa Pinheiro Campos Ilana Pereira da Costa Cunha | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110416 | |
| CAPÍTULO 17 | 160 |
| IMPACTOS AMBIENTAIS DA CARCINICULTURA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA NO MUNICÍPIO DE PIRAMBU-SE | |
| Paulo Sérgio de Rezende Nascimento Denilma dos Santos Oliveira Ivan Soares Freire Filho | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110417 | |
| CAPÍTULO 18 | 168 |
| IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DO MONOCULTIVO DE EUCALIPTO NOS MUNICÍPIOS DE ITAPORANGA D’AJUDA, ESTÂNCIA E SALGADO (SE) | |
| Augusto Cruz Barreto Lucivaldo de Jesus Texeira Paulo Sérgio de Rezende Nascimento | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110418 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 19 | 177 |
| IMPLANTAÇÃO DO RE-APROVEITAMENTO DE ÁGUA DAS CHUVAS EM PEQUENAS EDIFICAÇÕES COM PROPOSTA DE RE-USO EM CONJUNTOS HABITACIONAIS POPULARES | |
| Giuliano Mikael Tonelo Pincerato | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110419 | |
| CAPÍTULO 20 | 188 |
| INDUSTRIAL EFFLUENT TREATMENT FOR SCREEN PRINTING | |
| Allan Rios Bezerra | |
| Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho | |
| Priscila Sabioni Cavalheri | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110420 | |
| CAPÍTULO 21 | 204 |
| LOGÍSTICA REVERSA NO DESCARTE DE MEDICAMENTOS NAS FARMÁCIAS DO MUNICÍPIO DE POCINHOS-PB | |
| Jesielly Evane Miranda de Andrade | |
| Geralda Gilvania Cavalcante de Lima | |
| Andreia Araújo da Silva | |
| Carlos Antônio Pereira de Lima | |
| Neyliane Costa de Souza | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110421 | |
| CAPÍTULO 22 | 221 |
| MAPEAMENTO DAS ÁREAS FAVORÁVEIS À INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELA DENSIDADE DE LINEAMENTO ESTRUTURAL | |
| Paulo Sérgio de Rezende Nascimento | |
| DOI 10.22533/at.ed.51719110422 | |
| SOBRE O ORGANIZADOR | 231 |

DETERMINAÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DO MUNICÍPIO DE SANTO ESTEVÃO - BA

Paulo Vitor Santa Rosa

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual de Feira de Santana.

RESUMO : Os projetos de engenharia de obras hidráulicas requerem a utilização das equações IDF (intensidade, duração e frequência), o que torna fundamental a sua utilização nos cálculos hidrológicos e hidráulicos. Este resumo trata da determinação das relações intensidade, duração e frequência das precipitações do município de Santo Estevão, Bahia, através do método de desagregação de chuvas diárias, devido à falta de estudos relacionados a esta localidade. As séries históricas de dados pluviométricos utilizados possuem 24 anos de observações, e foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas – ANA. As séries foram submetidas à distribuição de probabilidade de Gumbel e comprovadas pelo Teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância. Para o ajuste das equações foi utilizado regressão linear, e apresentaram um bom ajuste, com coeficiente de determinação maior que 0.99. A partir da determinação dos parâmetros das equações, foi gerado a curva IDF para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e

100 anos e duração de 5 a 1440 minutos, onde ficou evidenciado que quanto menor a duração da chuva, maior sua intensidade, confirmando o comportamento típico das IDF.

PALAVRAS-CHAVE: equações IDF, curva IDF, chuva.

ABSTRACT: Hydraulic engineering projects require the use of IDF equations (intensity, duration and frequency), which makes it essential to use hydrological and hydraulic calculations. This summary deals with the determination of the intensity, duration and frequency of precipitation in the municipality of Santo Estevão, Bahia, through the method of disaggregation of daily rains, due to the lack of studies related to this locality. The historical series of rainfall data used have 24 years of observations, and were obtained in the Hydrological Information System of the National Water Agency (ANA). The series were submitted to the Gumbel probability distribution and verified by the Kolmogorov-Smirnov test at the 5% level of significance. For the adjustment of the equations linear regression was used, and presented a good fit, with determination coefficient greater than 0.99. From the determination of the parameters of the equations, the IDF curve was generated for the return periods of 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 and 100 years and duration from 5 to 1440 minutes, where it was evidenced that the lower the

duration of the rain, the greater its intensity, confirming the typical behavior of the IDF.

KEYWORDS: IDF equations, IDF curve, rain.

INTRODUÇÃO

As chuvas intensas geram um volume com uma altura pluviométrica acima do esperado, podendo causar alagamentos, elevado escoamento superficial pluvial e erosão hídrica. No ambiente rural, as chuvas intensas comprometem a produtividade das culturas devido à perda de solo, e no meio urbano trazem perdas tanto sociais quanto econômicas, como as perdas materiais, perdas de vidas humanas e aumento da proliferação de doenças. Para o dimensionamento de estruturas hidráulicas é fundamental o estudo das chuvas intensas, ou seja, sua equação e curva IDF, com o objetivo de prever a intensidade máxima da chuva a partir de sua equação de chuva específica para um determinado local, garantindo segurança no projeto (ARAGÃO *et al*, 2013).

É possível relacionar intensidade, duração e frequência (IDF) e conhecer o gráfico das curvas IDF com o uso de princípios de probabilidade aplicados as séries históricas de dados pluviográficos. Devido à falta de séries históricas de dados das estações pluviográficas, é possível avaliar chuvas de 24 horas de uma determinada frequência, para obter com os dados pluviométricos, chuvas com menor duração com mesma frequência, esse processo é conhecido como método da desagregação de chuvas de 24 horas (SAMPAIO, 2011).

O município de Santo Estevão possui uma grande quantidade de pontos críticos de alagamentos no seu centro urbano e em áreas de periferia, devido ao subdimensionamento da rede de microdrenagem e a falta de manutenção, e em alguns casos não há rede alguma para o escoamento das águas pluviais. Diante dessa problemática, torna-se necessário o conhecimento das curvas IDF para o dimensionamento seguro dos componentes da microdrenagem (sarjetas, bocas-de-lobo e galerias).

O presente trabalho teve como objetivo, encontrar a equação e curvas IDF para o município de Santo Estevão através do método de desagregação de chuvas diárias.

METODOLOGIA

A cidade de Santo Estevão é um município brasileiro do estado da Bahia, localizado à latitude 12°25'49" sul e à longitude 39°15'05" oeste, com 242 metros de altitude. Faz parte do Vale do Paraguaçu, e sua população é de 53.898 habitantes de acordo com a estimativa populacional em 2017, distribuídos em 366,597 km² de área (IBGE, 2017).

As séries históricas do município foram obtidas no sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), na página da Hidroweb, cujo posto

utilizado possui o código 01239021.

Foi gerada uma série parcial de chuvas diárias máximas anuais a partir das séries históricas obtidas, onde foram submetidas ao modelo de distribuição de Gumbel e comprovadas pelo teste de Komolgorov-Smirnov ao nível de 5% de significância. Na maioria dos casos, as distribuições de valores extremos de grandezas hidrológicas ajustam-se de forma satisfatória a distribuição de Gumbel (ARAGÃO *et al*, 2013).

A distribuição de probabilidade de Gumbel é utilizada para séries de valores extremos máximos, especialmente para séries de valores máximos diários anuais. Seguiu-se a metodologia apresentada por Silva e Mello (2008) para o modelo de distribuição de Gumbel. Com o modelo estatístico ajustado, foram obtidas as precipitações diárias máximas anuais para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. A partir dessas precipitações foram desagregadas as precipitações com menor duração, utilizando os coeficiente de desagregação obtidos para o Brasil (CETESB, 1986, *apud* ARAGÃO *et al*, 2013), como mostra a Tabela 1 abaixo.

| RELAÇÃO ENTRE ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS | COEFICIENTES DE DESAGREGAÇÃO |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 5 min para 30 min | 0.34 |
| 10 min para 30 min | 0.54 |
| 15 min para 30 min | 0.70 |
| 20 min para 30 min | 0.81 |
| 25 min para 30 min | 0.91 |
| 30 min para 1 h | 0.74 |
| 1 h para 24 h | 0.42 |
| 2 h para 24 h | 0.48 |
| 3 h para 24 h | 0.54 |
| 6 h para 24 h | 0.72 |
| 8 h para 24 h | 0.78 |
| 10 h para 24 h | 0.82 |
| 12 h para 24 h | 0.85 |
| 24 h para 1 dia | 1.14 |

Tabela 1: Coeficientes de desagregação de chuvas

As durações escolhidas foram de 5, 10, 15, 20, 25, 30 minutos e 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 24 horas. A equação de chuvas intensas foi ajustada por regressão linear. O passo a passo dos cálculos dos parâmetros da equação IDF está descrito abaixo.

ALGORITMO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS (K, M, B, N) DA EQUAÇÃO IDF

Foram selecionados dos pluviogramas as maiores alturas pluviométricas, nas diferentes durações do evento de chuva. Portanto, foi extraído de cada ano o maior valor pluviométrico (mm) para cada duração, que posteriormente essas alturas foram

transformadas em intensidades pluviométricas. Após os dados serem selecionados manualmente, as séries anuais de precipitações máximas com diferentes durações foram compostas, sendo analisadas as durações de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 720, 1080 e 1440 minutos.

Posteriormente fez-se uma análise estatística dos valores das intensidades de chuvas nas diferentes durações avaliadas para verificação da adequabilidade da distribuição de Gumbel. A distribuição de Gumbel é representada pela equação (1):

$$f(x) = \left(\frac{1}{\alpha}\right) \exp \left\{ - \left[\frac{x-\beta}{\alpha} \right] - \exp \left[\left(- \frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right] \right\} \quad \text{equação (1)}$$

Onde: $f(x)$ é a função densidade de probabilidade da distribuição de Gumbel; x é a variável aleatória associada a valores máximos do período, onde $-\alpha < x < \beta$; β é denominado parâmetro de posição, onde $-\alpha < \beta < \alpha$; e α é o parâmetro de escala para $\alpha > 0$.

A função de distribuição acumulada da variável aleatória x , para valores extremos máximos, é dada pela equação (2):

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

Os valores de α e de β da distribuição de probabilidade de Gumbel foram estimados pelo método dos momentos utilizando-se as seguintes equações (3) e (4), respectivamente:

$$\alpha = \frac{S}{1.283} \quad \text{equação (3)}$$

$$\beta = \text{Méd} - 0.45xS \quad \text{equação (4)}$$

Onde: S e Méd é o desvio padrão e a média, respectivamente.

O ajuste de distribuição de probabilidade de Gumbel foi avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov expresso pela equação (5):

$$D_{n\text{máx}} = \text{Máx} |P(x) - P_0(x)| \quad \text{equação (5)}$$

Onde: $D_{n\text{máx}}$ é o valor absoluto do teste de Kolmogorov-Smirnov; $P(x)$ é a frequência acumulada observada; e $P_0(x)$ é a frequência acumulada da distribuição de probabilidade avaliada. A hipótese de nulidade de H_0 é aceita sempre que o valor $D_{n\text{máx}}$ for menor que um valor crítico tabelado, quando isso acontece os dados se ajustam a distribuição testada.

Para o cálculo da intensidade máxima provável e da equação IDF, utilizou-se o método de Chow-Gumbel (CHOW, 1964) para realizar a análise probabilística das máximas intensidades pluviométricas para um determinado período de retorno. A

equação (6) expressa matematicamente o método.

$$X_t = \text{Méd} + \left(\frac{S_x}{\sigma_n}\right) \cdot (y - y_n) \quad \text{equação (6)}$$

Onde: X_t é a intensidade pluviométrica máxima esperada para o período de retorno (T_r)(intensidade do evento) em mm/h; Méd é a média aritmética das intensidades pluviométricas da série em mm/h; S_x é o desvio padrão das intensidades pluviométricas da série em mm/h; σ_n é o desvio padrão da variável reduzida; e y_n é a média da variável reduzida.

A variável reduzida é expressa pela equação (7), onde T_r é o período de retorno em anos.

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \left(\frac{1}{T_r} \right) \right) \right] \quad \text{equação (7)}$$

O desvio padrão e a média da variável reduzida, que dependem apenas do tamanho da amostra, foram obtidas em tabela publicadas por Kite (1978).

A equação IDF utilizada que relaciona os parâmetros intensidade, duração e frequência da precipitação apresenta a forma da equação (8).

$$i = \frac{K \cdot (T_r^m)}{(t+b)^n} \quad \text{equação (8)}$$

Onde: i é a intensidade máxima média de chuva em mm/h; t é o tempo de duração da chuva em minutos, e k , b , m e n são parâmetros empíricos. Objetivando determinar os valores dos parâmetros empíricos, a equação (8) foi reescrita na forma da equação (9).

$$i = \frac{C}{(t+b)^n} \quad \text{equação (9)}$$

A primeira etapa para determinação dos parâmetros da equação IDF é transformar a equação (9) na equação da reta mediante as propriedades dos logaritmos como mostra a equação (10).

$$\log i = \log C - n \log(t + b) \quad \text{equação (10)}$$

Portanto, foram calculados os logaritmos da intensidade para cada duração ($\log i$) e para diferentes períodos de retorno. O valor de b foi obtido por tentativas, utilizando-se análise de regressão aplicada aos valores do logaritmo da intensidade ($\log i$) para um dado período de retorno, relacionado aos logaritmos das durações ($\log t$). Na segunda etapa utilizou-se regressão linear simples, que geraram gráficos de dispersão

onde nas ordenadas estavam os valores de $\log i$, e nas abcissas os $\log(t+b)$, e assim, estimou-se os coeficientes angular (n) e linear ($\log C$), para cada período de retorno. Os parâmetros k e m também foram estimados pelo método dos mínimos quadrados conforme a equação (11), onde $\log k$ e m são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

$$\log C = \log K - m \log T \quad \text{equação (11)}$$

A avaliação do ajuste dos parâmetros da equação IDF, para regressão linear foi realizada pelo R^2 , obtido pelo quadrado da equação (12), onde x são os valores observados, Méd são os valores médios observados, y valores estimados, \hat{Y} valores médios estimados.

$$r = \frac{\Sigma(x - \text{Méd}).(y - \hat{Y})}{(\Sigma(x - \text{Méd}).(y - \hat{Y}))^{0.5}} \quad \text{equação (12)}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 mostra os parâmetros (k , m , b , n) da equação (8) encontrados para o município de Santo Estevão ajustados por regressão linear para a distribuição de Gumbel, afirmado por Aragão *et al* (2013) como a mais ajustada e mais indicada. Os parâmetros da equação IDF apresentaram bom ajuste, com coeficiente de determinação (R^2) maior que 99%.

| MUNICÍPIO | K | m | b | n | R ² |
|---------------|--------|------|-------|------|----------------|
| Santo Estevão | 932.47 | 0.18 | 14.29 | 0.79 | 0.998 |

Tabela 2: Parâmetros ajustados para a equação IDF e valor de R^2 para os parâmetros ajustados

Substituindo os valores encontrados dos parâmetros K , m , b e n na equação (8), obtém-se que a equação de chuva para o município de Santo Estevão é representada pela equação (13):

$$i \text{ (mm/h)} = \frac{932.47 \times (Tr^{0.18})}{(td + 14.29)^{0.79}} \quad \text{equação (13)}$$

A Tabela 3 mostra os valores das precipitações obtidas para as durações de 5 a 1440 minutos e para o período de retorno de 2 a 100 anos, substituídos na equação (8).

| Duração (min) | Tempo de Retorno (anos) | | | | | | | |
|------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 5 | 101.93 | 120.20 | 136.16 | 146.46 | 154.24 | 160.56 | 181.89 | 206.04 |
| 10 | 84.96 | 100.18 | 113.49 | 122.08 | 128.56 | 133.83 | 151.60 | 171.73 |
| 15 | 73.28 | 86.41 | 97.89 | 105.29 | 110.89 | 115.43 | 130.76 | 148.12 |
| 30 | 52.85 | 62.32 | 70.60 | 75.94 | 79.98 | 83.25 | 94.31 | 106.84 |
| 60 | 35.12 | 41.42 | 46.92 | 50.47 | 53.15 | 55.32 | 62.67 | 71.00 |
| 120 | 22.00 | 25.94 | 29.39 | 31.61 | 33.29 | 34.65 | 39.26 | 44.47 |
| 240 | 13.28 | 15.67 | 17.75 | 19.09 | 20.10 | 20.93 | 23.70 | 26.85 |
| 360 | 9.79 | 11.54 | 13.08 | 14.06 | 14.81 | 15.42 | 17.47 | 19.79 |
| 720 | 5.75 | 6.78 | 7.68 | 8.26 | 8.70 | 9.05 | 10.26 | 11.62 |
| 1080 | 4.19 | 4.94 | 5.60 | 6.03 | 6.35 | 6.61 | 7.48 | 8.48 |
| 1440 | 3.35 | 3.95 | 4.47 | 4.81 | 5.07 | 5.28 | 5.98 | 6.77 |

Tabela 3: Valores de precipitação para um determinado Tr e td

A partir dos dados obtidos na Tabela 3, chegou-se a curva IDF do município de Santo Estevão-BA, mostrado na Figura 1, onde no eixo da abcissa corresponde a duração da chuva em minutos e no eixo da ordenada os valores correspondentes à intensidade máxima da precipitação em mm/h.

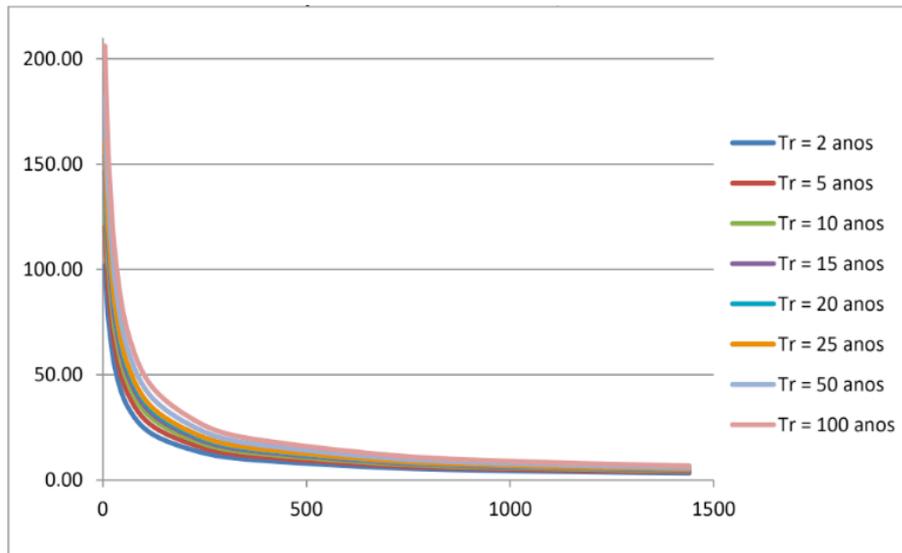


Figura 1: Curva IDF da cidade de Santo Estevão-BA gerada a partir dos parâmetros obtidos pelo modelo de distribuição de Gumbel

Comparando os parâmetros (k , m , b , n) obtidos por trabalhos de chuvas intensas realizados pelo Brasil com os parâmetros (k , m , b , n) determinados nesse trabalho, notou-se que os valores encontrados correspondem as magnitudes apresentadas nesses outros trabalhos (SAMPAIO, 2011). Na curva IDF apresentada na Figura 1 é possível notar o comportamento típico dessas curvas, onde a intensidade é indiretamente proporcional à duração, ou seja, quanto menor a duração da chuva,

maior é sua intensidade máxima. Além disso, com o aumento do tempo de recorrência das precipitações, as intensidades também aumentam, mostrando uma relação diretamente proporcional entre a intensidade e o período de retorno. Os resultados obtidos contribuem para fortalecer a importância da obtenção de equações IDF para localidade, uma vez que, quando um determinado local não apresenta séries históricas diárias de chuvas, o recomendado para dimensionamento de obras hidráulicas é que se utilize a equação IDF da localidade mais próxima e com características climáticas e de pluviosidade mais semelhante, causando insegurança e incerteza nos valores dimensionados das estruturas hidráulicas, podendo ocasionar em subdimensionamento ou superdimensionamento, visto que cada localidade possui seu comportamento para uma dada precipitação associada a um período de retorno e uma duração (SILVA & MELLO, 2008).

CONCLUSÕES

A determinação da curva IDF pelo método da desagregação de chuvas de 24h se mostrou possível para o município de Santo Estevão e pode ser aplicada para localidades onde não há dados pluviográficos. A metodologia utilizada neste estudo permitiu gerar a relação intensidade-duração-frequência com base em dados pluviométricos, e a partir da curva e da equação IDF obtida, ambas podem ser utilizadas exclusivamente em obras hidráulicas da região que foram determinadas.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R. de.; SANTANA, G. R. de; COSTA, C. E. F. F. da.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. de.; 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**. Campina Grande, v.17, n.3, p.243-252, 2013.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw Hill Co, 1964. 42p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística Cidade Santo Estevão**. 2017. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/santo-estevao/panorama> >. Acesso em: 09 de mar. de 2018.

KITE, G. W. **Frequency and risk analyses in hidrology**. Fort Collins: Water Resouces, 1978. 249p.

SAMPAIO, M. V. **Espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2011. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de. **Hidrologia: Precipitação**. Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras. 2008. 67 p.

SOBRE O ORGANIZADOR

Alan Mario Zuffo - Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-251-7

