

COLETÂNEA DAS EQUAÇÕES DE CHUVA DO BRASIL

*Aparecido Vanderlei Festi*¹

RESUMO O conhecimento do comportamento dos picos das chuvas em diferentes regiões do Brasil, assim como de outros países, torna-se importante no projeto e planejamento do sistema de drenagem urbana. Inúmeros são os sistemas computacionais hoje utilizados pelos profissionais, a maioria deles de origem de países estrangeiros. Será de suma importância ao profissional que utiliza estes sistemas o conhecimento do comportamento dos eventos de chuvas de diversas regiões brasileiras.

Neste artigo, pretende-se reunir em um só documento as equações de chuvas do Brasil, publicadas em artigos, revistas, livros, periódicos, etc, para conhecimento da comunidade técnica de hidrologia e drenagem urbana. Inúmeras são as equações de chuvas Brasileiras, tipo **IDF**, Intensidade, Duração e Frequência, porém, estas equações estão esparsas na literatura técnica e especializada de drenagem urbana. Este artigo pretende reunir e organizar estas equações com o intuito de facilitar a consulta e seu uso em trabalhos de drenagem urbana.

Palavras Chave: Equação de Chuva, Drenagem Urbana.

ABSTRACT Knowledge of the behavior of the peaks of the rains in different areas of Brazil, as well as of other countries, he/she becomes important in the project and planning of the system of urban drainage. Countless they are today the systems used by the professionals, most of them of origin of foreign countries. It will be from highest importance to the professional that uses these systems the knowledge of the behavior of the events of rains of several Brazilian areas.

In this article, he/she intends to meet in only one document the equations of rains of the main Brazilian cities, for the technical community's of hydrology knowledge and Countless urban drainage they are the equations of Brazilian rains, type **IDF**, Intensity, Duration and Frequency, however, these equations are scattered in the technical and specialized literature of urban drainage. This article intends to gather and to organize these equations with the intention of facilitating the consultation and your use in works of urban drainage.

Words Key: Equation of Rain, Urban Drainage.

¹ *Engenheiro agrimensor*, (FEAP, 1985), Pós-Graduado em *Engenharia de Segurança do Trabalho*(FEAP, 2002), Mestre em *Engenharia Urbana* (UFSCar, 2006); Professor de Saneamento da FEAP - Faculdade de Engenharia e Agrimensura de Pirassununga. Avenida Mauro Krepski, 62 – Paulínia/SP. E-mail festi@terra.com.br, www.vanderleifesti.com.

1. Introdução

Uma das dificuldades apresentadas no projeto de obras de drenagem vem ser a determinação da precipitação intensa máxima provável que deve ser utilizada. Em localidades onde já se dispõe de dados pluviométricos analisados, esta dificuldade se ameniza. Este artigo pretende reunir o maior número possível das equações de chuvas existentes em todo território brasileiro. A pequena quantidade de equações de chuva existentes já é uma dificuldade, a dispersão destas equações, desenvolvidas por diversos autores e em épocas diferentes é outro atenuante.

2. Equações de Chuvas de Diversas Localidades Brasileiras

A intensidade máxima pontual pode ser determinada através das relações intensidade-duração-frequência – **IDF** das chuvas. Essas relações são obtidas através de uma série de dados de chuvas intensas, suficientemente longas e representativas do local do projeto. O trabalho do engenheiro Otto Pfafstetter (1982) para 98 postos pluviográficos do território brasileiro. Estas relações seguem geralmente a seguinte forma:

$$P = T^{\alpha} + \left(\frac{\beta}{Tr^{\gamma}}\right) [at + b \log(1 + ct)] \quad (1)$$

onde:

P = altura pluviométrica máxima (mm); Tr Tempo de Retorno; t = duração da chuva; α e β = valores que dependem da duração da chuva; γ , a, b e c = valores constantes de cada posto.

Novaes (2000) apresentou uma equação para localidades onde não dispõe de dados de precipitações intensas, deve ser utilizada para duração de chuva compreendida entre 5 minutos e 4 horas.

$$\frac{P}{P1d} = 0,022 \times T^0 + 0,0068 \times T^0 \times \ln(t) \quad (2)$$

Onde:

P = precipitação intensa em mm; P1d = precipitação intensa de um dia; T^0 = temperatura média anual do local em °C; t = duração da chuva; ln = logaritmo neperiano.

Uma outra forma bastante usual, derivada da equação 1, de se expressar as relações de intensidade-duração-freqüência – **IDF**, são expressões obtidas de ajustes de distribuição de freqüência como **Equação Geral:**

$$i_{\max} = \frac{K * T_R^m}{(t + t_0)^n} \quad (3)$$

3.1 - Equações de Chuva para Diversas Localidades Brasileira

João Pessoa

$$i_{\max} = \frac{369,40 * T_R^{0,15}}{(t + 5)^{0,568}} \quad (4)$$

(Eng. J. A. Souza)

Fortaleza

$$i_{\max} = \frac{506,99 * T_R^{0,181}}{(t + 8)^{0,61}} \quad (5)$$

(Matos)

Campo Grande/MS

$$i_{\max} = \frac{43,019 * T_R^{0,55}}{(t + 62)^{1,405 * T_R^{0,053}}} \quad (6)$$

(Costa)

Sertão Oriental Nordestino

$$i_{\max} = \frac{3609,11 * T_R^{0,12}}{(t + 30)^{0,95}} \quad (7)$$

(Projeto Sertanejo)

Florianópolis (SC)

$$i_{\max} = \frac{145 * T_R^{0,25}}{(t - 1,18)^{0,34}} \quad (8)$$

 $t \leq 60$ min.

$$i_{\max} = \frac{597 * T_R^{0,32}}{(t + 3)^{0,73}} \quad (9)$$

 $t \geq 60$ min. (Pompeu)**Cidade do Rio de Janeiro**

$$i_{\max} = \frac{5950 * T_R^{0,217}}{(t + 26)^{1,15}} \quad (i = \text{litros/hectares x seg}) \quad (10)$$

$$i_{\max} = \frac{99,154 * T_R^{0,217}}{(t + 26)^{1,15}} \quad (i = \text{mm/hora}) \quad (11)$$

$$i_{\max} = \frac{3463 * T_R^{0,172}}{(t + 22)^{0,761}} \quad i = \text{mm/hora} \quad (\text{Novaes}) \quad (12)$$

Porto Alegre

$$i_{\max} = \frac{a}{t + b} \quad (13)$$

na qual os valores de a e b, são:

para Tr = 5 anos	a = 23	b = 2,4
para Tr = 10 anos	a = 29	b = 3,9
para Tr = 15 anos	a = 48	b = 8,6
para Tr = 30 anos	a = 95	b = 16,5

Brasília

$$i_{\max} = \frac{10125}{(t + 16)^{0,945}} \quad (i = \text{litros/hectares x seg}) \quad (14)$$

para Tr = 10 anos, sendo i em mm/hora e t em minutos.

Belo Horizonte

$$i_{\max} = \frac{1447,87 * T_R^{0,10}}{(t + 20)^{0,84}} \quad (i = \text{mm/hora}) \quad (15)$$

$$i_{\max} = \frac{24,131 * T_R^{0,10}}{(t + 20)^{0,84}} \quad (i = \text{mm/hora}) \quad (16)$$

Curitiba (PR) (INEMET)

$$i_{\max} = \frac{5950 * T_R^{0,217}}{(t + 26)^{1,15}} \quad (i = \text{litros/hectares x seg}) \quad (17)$$

(Souza, 1959)

Curitiba – Prado Velho

$$i_{\max} = \frac{5.726,64 * T_R^{0,159}}{(t + 41)^{1,041}} \quad (18)$$

(Fendrich - PUCPR/ANA/SUDERSHA, 2000)

Bandeirantes (PR)

$$i_{\max} = \frac{1077,21 * T_R^{0,157}}{(t + 10)^{0,781}} \quad (19)$$

(Fendrich, 1995)

Cambará (PR)

$$i_{\max} = \frac{1772,96 * T_R^{0,126}}{(t + 17)^{0,867}} \quad (20)$$

(Fendrich, 1992)

Jacarezinho (PR)

$$i_{\max} = \frac{31.200,00}{(t + 50)^{1,38}} \quad (p/ T_R = 3 \text{ anos}) \quad (21)$$

$$i_{\max} = \frac{59.820,00}{(t + 50)^{1,49}} \quad (p/ T_R = 10 \text{ anos}) \quad (22)$$

(Projeto Noroeste, SUCEPAR)

Paranavaí (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.808,67 * T_R^{0,104}}{(t + 33)^{0,930}} \quad (23)$$

(Fendrich & Freitas, 1986)

Umuarama (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.752,27 * T_R^{0,148}}{(t + 17)^{0,840}} \quad (24)$$

(Fendrich, 1989)

Cianorte (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.115,18 * T_R^{0,145}}{(t + 22)^{0,849}} \quad (25)$$

(Ayres & Lopes, 1985)

Apucarana (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.301,07 * T_R^{0,177}}{(t + 15)^{0,836}} \quad (26)$$

(Fendrich, 1994)

Londrina (PR)

$$i_{\max} = \frac{3.132,56 * T_R^{0,0093}}{(t + 30)^{0,939}} \quad (27)$$

(Fendrich, 1987)

Palotina (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.492,30}{(t + 29)^{0,873}} \quad (p/ T_R = 2 \text{ anos}) \quad (28)$$

(Fendrich, 1986)

$$i_{\max} = \frac{2.618,18}{(t + 29)^{0,848}} \quad (p/ T_R = 5 \text{ anos}) \quad (29)$$

(Fendrich, 1986)

$$i_{\max} = \frac{2.737,79}{(t + 29)^{0,833}} \quad (p/ T_R = 10 \text{ anos}) \quad (30)$$

(Fendrich, 1986)

$$i_{\max} = \frac{2.866,82}{(t + 29)^{0,822}} \quad (p/ T_R = 20 \text{ anos}) \quad (31)$$

(Fendrich, 1986)

$$i_{\max} = \frac{3.041,59}{(t + 29)^{0,810}} \quad (p/ T_R = 50 \text{ anos}) \quad (32)$$

(Fendrich, 1986)

Nova Cantu (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.778,43 * T_R^{0,149}}{(t + 24)^{0,940}} \quad (33)$$

(Fendrich, 1995)

Tomazina (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.676,70 * T_R^{0,149}}{(t + 29)^{0,931}} \quad (34)$$

(Fendrich, 1991)

Telêmaco Borba (PR)

$$i_{\max} = \frac{3.235,19 * T_R^{0,162}}{(t + 24)^{0,968}} \quad (35)$$

(Fendrich, 1989)

Palmital (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.548,46 * T_R^{0,130}}{(t + 16)^{0,834}} \quad (36)$$

(Fendrich, 1991)

Ponta Grossa (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.902,39 * T_R^{0,152}}{(t + 21)^{0,893}} \quad (37)$$

(Fendrich, 1991)

Cerro Azul (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.625,55 * T_R^{0,138}}{(t + 18)^{0,860}} \quad (38)$$

(Fendrich, 1992)

Guaraqueçaba (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.479,78 * T_R^{0,172}}{(t + 19)^{0,802}} \quad (39)$$

(Fendrich, 1993)

Cascavel (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.062,92 * T_R^{0,141}}{(t + 5)^{0,776}} \quad (40)$$

(Fendrich, 1987)

Laranjeiras do Sul (PR)

$$i_{\max} = \frac{771,97 * T_R^{0,148}}{(t + 8)^{0,726}} \quad (41)$$

(Fendrich, 1991)

Guarapuava (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.039,68 * T_R^{0,171}}{(t + 10)^{0,799}} \quad (42)$$

(Fendrich & Freitas, 1986)

Piraquara (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.537,80 * T_R^{0,120}}{(t + 17)^{0,859}} \quad (43)$$

(Fendrich, 1989)

Morretes (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.160,23 * T_R^{0,155}}{(t + 24)^{0,890}} \quad (44)$$

(Fendrich, 1989)

Teixeira Soares (PR)

$$i_{\max} = \frac{959,18 * T_R^{0,177}}{(t + 9)^{0,789}} \quad (45)$$

(Fendrich, 1994)

Planalto (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.659,59 * T_R^{0,156}}{(t + 14)^{0,840}} \quad (46)$$

(Fendrich, 1991)

Francisco Beltrão (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.012,28 * T_R^{0,182}}{(t + 9)^{0,760}} \quad (47)$$

(Fendrich, 1989)

Pato Branco (PR)

$$i_{\max} = \frac{879,43 * T_R^{0,152}}{(t + 9)^{0,732}} \quad (48)$$

(Fendrich, 1991)

Clevelândia (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.553,88 * T_R^{0,166}}{(t + 24)^{0,917}} \quad (49)$$

(Fendrich, 1987)

Ivaiporã (PR)

$$i_{\max} = \frac{676,71 * T_R^{0,158}}{(t + 1)^{0,726}} \quad (50)$$

(Fendrich, 1996)

Porto Amazonas (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.543,31 * T_R^{0,196}}{(t + 27)^{0,952}} \quad (51)$$

(Fendrich, 1996)

Santa Izabel do Ivaí (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.824,73 * T_R^{0,166}}{(t + 17)^{0,892}} \quad (52)$$

(Fendrich, 1996)

Tibagi (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.592,58 * T_R^{0,136}}{(t + 11)^{0,882}} \quad (53)$$

(Fendrich, 1996)

Palmas (PR)

$$i_{\max} = \frac{1.303,47 * T_R^{0,126}}{(t + 12)^{0,815}} \quad (54)$$

(Fendrich, 1998)

São Miguel do Iguaçu (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.886,69 * T_R^{0,124}}{(t + 26)^{0,927}} \quad (55)$$

(Fendrich, 1998)

Araucária (PR)

$$i_{\max} = \frac{2.505,53 * T_R^{0,177}}{(t + 13)^{0,988}} \quad (56)$$

(Fendrich, 2000)

Antonina (PR)

$$i_{\max} = \frac{5.209,55 * T_R^{0,160}}{(t + 57)^{0,978}} \quad (57)$$

(Fendrich, 2003)

Para todas as equações do Estado do Paraná: i em mm/hora, t em minutos e T_R em anos.

Feira de Santana (BA)

$$i_{\max} = \frac{716 * T_R^{0,241}}{(t + 11)^{0,761}} \quad \text{mm/hora} \quad (58)$$

(Novaes)

São Carlos

$$i_{\max} = \frac{25,33 * T_R^{0,236}}{(t + 16)^{0,935}} \quad \text{mm/m} \quad (59)$$

(Barbassa)**Campinas**

$$i_{\max} = \frac{42,081 * T_R^{0,1429}}{(t + 20)^{0,9483}} \quad \text{mm/m} \quad (60)$$

(Vieira)

Campinas

$$i_{\max} = \frac{2524,86 * T_R^{0,1359}}{(t + 20)^{0,948 * T_R^{-0,007}}} \quad \text{mm/m} \quad (61)$$

(In Zuffo, 2004)

Presidente Prudente

$$i_{\max} = \frac{506,9059 * T_R^{0,168}}{(t + 8)^{0,61}} \quad (62)$$

(Sudo et al)

Cidade de São Paulo:

$$i_{\max} = \frac{29,13 * T_R^{0,181}}{(t + 15)^{0,89}} \quad \text{(mm/min)} \quad (63)$$

(Wilken)

$$i_{\max} = \frac{1747 * T_R^{0,181}}{(t + 15)^{0,89}} \quad \text{(mm/hora)} \quad (64)$$

(Wilken)

$$i_{\max} = \frac{4855,30 * T_R^{0,181}}{(t + 15)^{0,89}} \quad \text{(L/s/há)} \quad (65)$$

(Wilken)

$$i_{\max} = \frac{57,710 * T_R^{0,172}}{(t + 22)^{0,74}} \quad \text{(mm/hora)} \quad (66)$$

(Wilken)

$$i_{\max} = \frac{3463 * T_R^{0,172}}{(t + 22)^{1,025}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (67)$$

(Wilken)

Urussanga/SC

$$i_{\max} = \frac{3445,7 * T_R^{0,138}}{(t + 26)^{1,012}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (68)$$

(Back)

Alvorada/TO

$$i_{\max} = \frac{9989,560 * T_R^{0,211}}{(t + 56,638)^{1,087}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (69)$$

(Silva, et al.)

Araguatins/TO

$$i_{\max} = \frac{4732,318 * T_R^{0,229}}{(t + 46,957)^{0,995}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (70)$$

(Silva, et al.)

Dianópolis/TO

$$i_{\max} = \frac{4642,242 * T_R^{0,162}}{(t + 35,878)^{1,051}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (71)$$

(Silva, et al.)

Formoso do Araguaia/TO

$$i_{\max} = \frac{8740,420 * T_R^{0,176}}{(t + 54,663)^{1,078}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (72)$$

(Silva, et al.)

Guaraí/TO

$$i_{\max} = \frac{8650,360 * T_R^{0,178}}{(t + 41,365)^{1,098}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (73)$$

(Silva, et al.)

Miracema do Tocantins/TO

$$i_{\max} = \frac{5958,095 * T_R^{0,173}}{(t + 35,298)^{1,043}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (74)$$

(Silva, et al.)

Natividade/TO

$$i_{\max} = \frac{2113,850 * T_R^{0,206}}{(t + 30,296)^{0,845}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (75)$$

(Silva, et al.)

Tupiratins/TO

$$i_{\max} = \frac{2300,090 * T_R^{0,155}}{(t + 31,686)^{0,869}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (76)$$

(Silva, et al.)

Tocantinópolis/TO

$$i_{\max} = \frac{9862,000 * T_R^{0,187}}{(t + 69,638)^{1,072}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (77)$$

(Silva, et al.)

Projeto Rio Formoso/TO

$$i_{\max} = \frac{8950,250 * T_R^{0,194}}{(t + 71,072)^{1,027}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (78)$$

(Silva, et al.)

Alvorada do Norte/GO

$$i_{\max} = \frac{1018,591 * T_R^{0,1354}}{(t + 12)^{0,7598}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (79)$$

(Oliveira, et al.)

Alto Garças/GO

$$i_{\max} = \frac{873,374 * T_R^{0,1328}}{(t + 10)^{0,7418}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (80)$$

(Oliveira, et al.)

Aporé/GO

$$i_{\max} = \frac{1265,319 * T_R^{0,1368}}{(t + 15)^{0,7853}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (81)$$

(Oliveira, et al.)

Aruamã/GO

$$i_{\max} = \frac{1274,090 * T_R^{0,152}}{(t + 12)^{0,7599}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (82)$$

(Oliveira, et al.)

Caiapônia/GO

$$i_{\max} = \frac{1138,151 * T_R^{0,1643}}{(t + 12)^{0,7599}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (83)$$

(Oliveira, et al.)

Campo Alegre/GO

$$i_{\max} = \frac{975,439 * T_R^{0,1643}}{(t + 12)^{0,7598}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (84)$$

(Oliveira, et al.)

Catalão/GO

$$i_{\max} = \frac{1018,591 * T_R^{0,1323}}{(t + 12)^{0,760}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (85)$$

(Oliveira, et al.)

Ceres/GO

$$i_{\max} = \frac{959,621 * T_R^{0,1764}}{(t + 12)^{0,7601}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (86)$$

(Oliveira, et al.)

Goiânia/GO

$$i_{\max} = \frac{920,450 * T_R^{0,1422}}{(t + 12)^{0,7599}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (87)$$

(Oliveira, et al.)

Israelândia/GO

$$i_{\max} = \frac{1120,211 * T_R^{0,1598}}{(t + 12)^{0,7598}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (88)$$

(Oliveira, et al.)

Morrinhos/GO

$$i_{\max} = \frac{1003,460 * T_R^{0,1376}}{(t + 10)^{0,7418}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (89)$$

(Oliveira, et al.)

Niquelândia/GO

$$i_{\max} = \frac{972,299 * T_R^{0,1204}}{(t + 10)^{0,7420}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (90)$$

(Oliveira, et al.)

Salvador/BA

$$i_{\max} = \frac{1065,66 * T_R^{0,163}}{(t + 24)^{0,743}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (91)$$

Álcalis/RJ

$$i_{\max} = \frac{3281,158 * T_R^{0,222}}{(t + 44,204)^{1,00}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (92)$$

(Pruski, et al.)

Alto da Boa Vista/RJ

$$i_{\max} = \frac{4378,133 * T_R^{0,227}}{(t + 49,157)^{0,999}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (93)$$

(Pruski, et al.)

Angra dos Reis/RJ

$$i_{\max} = \frac{721,802 * T_R^{0,211}}{(t + 10,566)^{0,720}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (94)$$

(Pruski, et al.)

Campos/RJ

$$i_{\max} = \frac{1133,836 * T_R^{0,183}}{(t + 20,667)^{0,807}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (95)$$

(Pruski, et al.)

Cordeiro/RJ

$$i_{\max} = \frac{612,197 * T_R^{0,185}}{(t + 5,00)^{0,695}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (96)$$

(Pruski, et al.)

Escola Agrícola/RJ

$$i_{\max} = \frac{3812,020 * T_R^{0,218}}{(t + 34,565)^{0,999}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (97)$$

(Pruski, et al.)

Ilha Guaíba/RJ

$$i_{\max} = \frac{1045,123 * T_R^{0,244}}{(t + 49,945)^{0,679}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (98)$$

(Pruski, et al.)

Itaperuna/RJ

$$i_{\max} = \frac{4999,882 * T_R^{0,196}}{(t + 34,462)^{0,986}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (99)$$

(Pruski, et al.)

Macaé/RJ

$$i_{\max} = \frac{444,258 * T_R^{0,263}}{(t + 6,266)^{0,655}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (100)$$

(Pruski, et al.)

Nova Friburgo/RJ

$$i_{\max} = \frac{2629,477 * T_R^{0,236}}{(t + 24,664)^{0,975}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (101)$$

(Pruski, et al.)

Resende/RJ

$$i_{\max} = \frac{1652,972 * T_R^{0,182}}{(t + 21,410)^{0,767}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (102)$$

(Pruski, et al.)

Santa Cruz/RJ

$$i_{\max} = \frac{2474,281 * T_R^{0,2113}}{(t + 37,4228)^{0,9491}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (103)$$

(Pruski, et al.)

Vassouras/RJ

$$i_{\max} = \frac{3086,290 * T_R^{0,200}}{(t + 22,081)^{1,00}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (104)$$

(Pruski, et al.)

Alegre/ES

$$i_{\max} = \frac{1497,781 * T_R^{0,258}}{(t + 19,294)^{0,855}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (105)$$

(Pruski, et al.)

Aracruz/SC

$$i_{\max} = \frac{1298,382 * T_R^{0,120}}{(t + 20,981)^{0,786}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (106)$$

(Pruski, et al.)

Boa Esperança/ES

$$i_{\max} = \frac{596,380 * T_R^{0,230}}{(t + 8,534)^{0,670}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (107)$$

(Pruski, et al.)

Linhares/ES

$$i_{\max} = \frac{3647,235 * T_R^{0,223}}{(t + 20,665)^{1,00}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (108)$$

(Pruski, et al.)

Santa Tereza/ES

$$i_{\max} = \frac{632,265 * T_R^{0,714}}{(t + 13,543)^{0,714}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (109)$$

(Pruski, et al.)

São Gabriel da Palha/ES

$$i_{\max} = \frac{1309,205 * T_R^{0,230}}{(t + 15,375)^{0,821}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (110)$$

(Pruski, et al.)

São Mateus/ES

$$i_{\max} = \frac{4999,205 * T_R^{0,191}}{(t + 49,999)^{0,983}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (111)$$

(Pruski, et al.)

Venda Nova/ES

$$i_{\max} = \frac{4147,062 * T_R^{0,205}}{(t + 33,842)^{1,000}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (112)$$

(Pruski, et al.)

Vitória/ES

$$i_{\max} = \frac{4003,611 * T_R^{0,203}}{(t + 49,997)^{0,931}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (113)$$

(Pruski, et al.)

Chapadão do Sul/E=MS

$$i_{\max} = \frac{809,2229 * T_R^{0,1335}}{(t + 9,2)^{0,6999}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (114)$$

(Oltímio)

As equações desenvolvidas por Martinez e Magni (1999) são fruto de estudos efetuados através do “Convênio DAEE-USP”. Estas equações baseiam-se na análise das precipitações intensas de pluviógrafos de 30 Municípios do Estado de São Paulo, com série histórica longa.

Na revisão das equações de alguns dos postos que já dispunham de equações e na determinação das equações dos novos postos, os autores optaram por seguir uma formulação matemática similar à adotada por (Mero e Magni, 1982), trabalhando, no entanto, somente com séries históricas anuais de intensidades de chuvas.

Nesta metodologia de cálculo, admite-se que as equações que relacionam intensidade, duração e frequência das precipitações, para cada localidade, têm um bom ajuste com a distribuição estatística de Gumbel, utilizando-se o fator de frequência proposto por Ven-Te-Chow para as análises hidrológicas.

De acordo com este método, as equações IDF podem ser determinadas a partir da equação:

$$i_{t,TR} = M_t + \sigma_t K_{n,TR} \quad (115)$$

$$K_{n,TR} = \frac{(Y - \bar{Y})}{\sigma_Y} \quad (116)$$

$$K_{n,TR} = - \left[\frac{\bar{Y}}{\sigma_Y} \right] - \frac{1}{\sigma_Y} \ln \ln \left(\frac{TR}{(TR - 1)} \right) \quad (117)$$

Onde:

- $i_{t,TR}$ - intensidade da chuva (mm/min), para a duração t (min) e período de retorno TR (anos);
- M_t - média das intensidades médias das chuvas intensas, correspondentes à duração t;
- σ_t - desvio-padrão das intensidades médias das chuvas intensas, correspondente à duração t;
- $K_{n,TR}$ - fator de frequência para a distribuição de Gumbel, função do número de anos da série de precipitações e do período de retorno TR;
- Y - variável reduzida da distribuição de Gumbel;
- \bar{Y} - média da variável reduzida da distribuição de Gumbel;
- σ_Y - desvio-padrão da variável reduzida da distribuição de Gumbel.

Para a determinação da média e o desvio-padrão das intensidades médias das chuvas, com a variação da duração, utilizou-se as equações a seguir.

$$M_t = a(t + b)^c \quad (118)$$

$$\sigma_t = d(t + e)^f \quad (119)$$

Onde:

a, b, c, d, e, f são parâmetros a serem determinados para cada localidade.

Substituindo-se as equações 117, 118 e 119 na equação 126 obtém-se uma equação do tipo:

$$i_{t,TR} = a(t + b)^c + d(t + e)^f \left[g + h \ln \ln \left(\frac{TR}{(TR - 1)} \right) \right] \quad (120)$$

Após coleta, análise de consistência e tratamento estatístico dos dados foi obtida por Martinez e Magni (1999) os coeficientes para as equações de chuvas intensas, das diversas estações pluviográficas analisadas, apresentados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Coeficientes da equação 102, das diversas estações pluviográficas analisadas.

LOCALIDADE	COEFICIENTES								
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
ANDRADINA	34,5743	20	-0,8809	2,6906	10	-0,6683	-0,4766	-0,8977	
ARARA- QUARA	10 ≤ t ≤ 105	32,4618	15	-0,8684	2,1429	15	-0,5482	-0,4772	-0,9010
	105 < t ≤ 1440	32,4618	15	-0,8684	18,4683	15	-0,9984	-0,4772	-0,9010
BAURU	35,4487	20	-0,8894	5,9664	20	-0,7749	-0,4772	-0,9010	
BOTUCATU	30,6853	20	-0,8563	3,9660	10	-0,7566	-0,4754	-0,8917	
BRAGANÇA	33,7895	30	-0,8832	5,4415	10	-0,8442	-0,4885	-0,9635	
CACHOEIRA	57,1456	30	-0,9495	22,7285	30	-0,9986	-0,4716	-0,8716	
CAMPOS JORDÃO DO	19,1535	15	-0,7928	2,0341	5	-0,6590	-0,4778	-0,9046	

CUBATÃO		25,1025	20	-0,7522	6,4266	20	-0,7050	-0,4772	-0,9010
ELDORADO		38,4622	30	-0,8939	19,0899	30	-0,9296	-0,4688	-0,8573
GARÇA		52,0793	30	-0,9365	12,1571	20	-0,9424	-0,4793	-0,9126
IACRI		33,3984	20	-0,8486	2,2482	5	-0,6276	-0,5009	-1,0334
IGUAPE	10 ≤ t ≤ 120	129,8902	77	-0,9373	1,7487	77	-0,2852	-0,4801	-0,9171
	120 < t ≤ 1440	129,8902	77	-0,9373	31,7694	77	-0,8328	-0,4801	-0,9171
ITARARÉ		20,0196	10	-0,7961	11,4493	10	-0,9224	-0,4778	-0,9046
ITU		52,9364	30	-0,9526	8,0659	25	-0,8537	-0,4793	-0,9126
LEME		35,1348	20	-0,8823	7,9502	20	-0,8101	-0,4760	-0,8946
LINS		57,4647	30	-0,9386	16,5999	65	-0,9078	-0,4778	-0,9046
MARTINÓPOLIS		51,3805	30	-0,9334	20,5323	40	-0,9671	-0,4754	-0,8917
PIRACICABA		47,8273	30	-0,9110	19,2043	30	-0,9256	-0,4820	-0,9273
PIRAJU		37,3614	30	-0,8660	10,0167	60	-0,8427	-0,4766	-0,8977
SALTO GRANDE		24,4615	20	-0,8479	5,1394	10	-0,8016	-0,4713	-0,8699
S.J. DO RIO PARDO		24,1997	20	-0,8367	3,9564	10	-0,7504	-0,4681	-0,8540
S.J. DO RIO PRETO		57,6545	30	-0,9480	13,1313	30	-0,9485	-0,4754	-0,8917
SÃO PAULO		39,3015	20	-0,9228	10,1767	20	-0,8764	-0,4653	-0,8407
SERRANA		39,8213	25	-0,8987	9,1245	15	-0,8658	-0,4786	-0,9085
TAPIRAÍ		27,4379	20	-0,8447	4,3767	15	-0,7369	-0,4744	-0,8863
TATUI		19,7523	20	-0,7872	5,5111	20	-0,7609	-0,4766	-0,8977
TAUBATÉ		54,5294	30	-0,9637	11,0319	20	-0,9116	-0,4740	-0,8839
TEODORO SAMPAIO		47,2091	30	-0,9150	7,0141	20	-0,8321	-0,4786	-0,9085
UBATUBA		28,4495	40	-0,7564	17,2878	70	-0,8236	-0,4700	-0,8637
VOTUPORANGA		59,1192	30	-0,9566	7,5593	30	-0,8250	-0,4744	-0,8863

Da mesma forma que no caso anterior, as equações de chuvas intensas em 11 municípios do Estado de São Paulo foram elaboradas sob os auspícios do “Convênio DAEE-USP”, por Magni e Mero (1982).

Nestes estudos trabalhou-se com séries anuais e séries parciais, tendo sido seguida a metodologia apresentada no item anterior, para a definição das equações IDF. Dentre os 11 postos estudados por Magni e Mero, selecionaram-se, para o uso deste artigo, as equações para as localidades indicadas com o índice das Tabelas 3, 4 e 5.

As equações gerais obtidas pelos autores, para as séries anuais e parciais podem ser escritas conforme, respectivamente, indicado nas equações 132 e 133, a seguir.

$$i_{t,TR} = a(t+b)^c + (t+d)^e \left[f + g \ln \ln \left(\frac{TR}{TR-1} \right) \right] \quad (121)$$

$$i_{t,TR} = h(t+j)^k \ln(TR-0,5) \quad (122)$$

Onde:

t - é a duração da chuva em minutos;

TR - é o período de retorno em anos;

$i_{t,TR}$ - é a intensidade da chuva em mm/min, para a duração t e período de retorno TR ;

$a, b, c, d, e, f, g, h, j, k$ - são constantes definidas para cada localidade.

Para possibilitar a comparação dos coeficientes obtidos para as várias estações, os autores agruparam as duas equações acima, resultando a equação apresentada a seguir.

$$i_{t,TR} = a(t+b)^c + (t+d)^e \left[f + g \ln \ln \left(\frac{TR}{TR-1} \right) \right] + h(t+j)^k \ln(TR-0,5) \quad (123)$$

Para conseguir um bom ajuste das equações aos dados observados, foram estabelecidas, em geral, duas equações por posto sendo uma válida para durações variando de 10 a 60 minutos (inclusive) e outra de 60 a 1440 minutos. Houve um caso, posto de Ubatuba, onde foi necessário ajustar três equações.

Para facilitar a elaboração de planilha de cálculo destas equações IDF, foi adotado um padrão de representação de três faixas de duração. As Tabelas 3 a 5 apresentam as constantes definidas para cada um dos postos indicados com na Tabela 2 e para as durações indicadas a seguir.

$10 \leq t \leq 60 \text{ min}$; - $60 < t \leq 180 \text{ min}$; - $180 < t \leq 1440 \text{ min}$.

Tabela 3 - Constantes das Equações IDF. Mero e Magni (1982) Duração de 10 a 60 minutos

	CIDADES				
	Aparecida	Avaré	Barretos	Santos	São Simão
<i>a</i>	46,38	100,00	19,18	18,85	33,54
<i>b</i>	30,0	30,0	20,0	0	20,0
<i>c</i>	-0,912	-1,109	-0,849	-0,760	-0,903
<i>d</i>	30,0	30,0	0	20,0	10,0
<i>e</i>	-0,912	-0,792	0	-0,760	-0,461
<i>f</i>	-8,174	-4,00	0	-3,315	-0,608
<i>g</i>	-15,91	-7,70	0	-6,08	-1,121
<i>h</i>	0	0	5,37	0	0
<i>j</i>	0	0	20,0	0	0
<i>k</i>	0	0	-0,849	0	0

Tabela 4 - Constantes das Equações IDF. Mero e Magni (1982) Duração de 60 a 180 minutos.

	CIDADES				
	Aparecida	Avaré	Barretos	Santos	São Simão
<i>a</i>	39,91	43,29	17,78	10,44	26,26
<i>b</i>	10,0	15,0	20,0	0	20,0
<i>c</i>	-0,923	-0,965	-0,834	-0,662	-0,851
<i>d</i>	10,0	15,0	0	0	10,0
<i>e</i>	-0,923	-0,951	0	-0,662	-0,781
<i>f</i>	-7,034	-6,995	0	-1,836	-2,745
<i>g</i>	-13,28	-13,47	0	-3,36	-5,06
<i>h</i>	0	0	4,98	0	0
<i>j</i>	0	0	20,0	0	0
<i>k</i>	0	0	-0,834	0	0

Tabela 5 - Constantes das Equações IDF Mero e Magni (1982) Duração de 180 a 1440 minutos.

	CIDADES				
	Aparecida	Avaré	Barretos	Santos	São Simão
<i>a</i>	39,91	43,29	17,78	10,44	26,26
<i>b</i>	10,0	15,0	20,0	0	20,0
<i>c</i>	-0,923	-0,965	-0,834	-0,662	-0,851
<i>d</i>	10,0	15,0	0	0	10,0

<i>e</i>	-0,923	-0,951	0	-0,662	-0,781
<i>f</i>	-7,034	-6,995	0	-1,836	-2,745
<i>g</i>	-13,28	-13,47	0	-3,36	-5,06
<i>h</i>	0	0	4,98	0	0
<i>j</i>	0	0	20,0	0	0
<i>k</i>	0	0	-0,834	0	0

5. Conclusão

Espero ter contribuído satisfatoriamente a comunidade técnica e científica da drenagem com a reunião em um único documento o maior numero possível das equações de chuva do território brasileiro, as modelagens para determinação do tempo de concentração e para o calculo dos picos do evento de chuva. A aplicação da melhor equação e do melhor modelo, o engenheiro projetista deve selecioná-lo com o maior cuidado possível para obter um resultado satisfatório. O autor deste artigo disponibiliza aos interessados uma planilha eletrônica Excel para o cálculo da intensidade máxima pela equação geral – IDF no site www.vanderleifesti.com/artigostecnicos.

6. BIBLIOGRAFIA

- 1 AZEVEDO NETTO, J. M., (et al) – **Manual de Hidráulica** – 8ª. Edição, São Paulo, Ed. Edgard Blucher, 1998, 669p.
- 2 BACK, A. J. **Análise das Máximas Intensidades de Chuva para a Região de Urussanga/SC**. UNESC, Florianópolis/SC. 2002.
- 3 CARVALHO, C. C. J de; AMADIO, E. V.; GOI, M. L. C.; MAGNI, N. L. G. **Precipitação de Projeto para o Município de São Paulo e Região**. 1999
- 4 CETESB, **Drenagem Urbana – Manual de Projeto**, 3ª. Edição, São Paulo, Cetesb, 1986, 464p.
- 5 DER – Departamento de Estradas de Rodagem – Estado de São Paulo, Secretaria dos Transportes, **Manual de Drenagem Rodoviária**, (____), São Paulo, (____), 290p.
- 6 FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná**. 2ª. Edição. Gráfica Vicentina Editora Ltda. Curitiba/PR, 2003, 101 p.
- 7 FESTI, A. V. – **Projeto e Dimensionamento de Galeria de Águas Pluviais**, Apostila, Paulínia, 2006, 90p.
- 8 GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. **Chuvas Intensas no Estado de São Paulo: Estudo Existente e Análise Comparativa**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH. V. 5, nº. 3, pg. 45-58. Porto Alegre/RS. 2000.
- 9 LIAZI, Alexandre, (et al) – **Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo** – 1994.
- 10 MAGNI, N. L. G; MARTINEZ, F., **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**, Boletim Técnico, CTH-USP, São Paulo, 1986, n.4
- 11 MURTA DO SANTOS, M. J., **Drenagem Urbana**, Apostila, DEH-UFGM, Belo Horizonte, 1984, 55p.
- 12 NOVAES, C. P., (2000), **Sistema de Drenagem Urbana**, UEFS, Feira de Santana – BA, 216p.
- 13 OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃO, P. A.; CARVALHO, D. F. **Estimativa das Equações de Chuvas Intensas para Algumas Localidades no Estado de Goiás pelo Método da Desagregação de Chuvas**. Universidade Federal de Goiás. _____, _____.

- 14 PFAFSTETTER, O., **Chuvas Intensas no Brasil**, 2^a. edição, Rio de Janeiro, DNOS, 1982, 426p.
- 15 PINTO, N. L. Souza – **Hidrologia Básica** – 1976.
- 16 POMPEU, C. A. – **Equações de Chuvas Intensas para Florianópolis**, 2003.
- 17 RIGHETTO, A. M., **Hidrologia e Recursos Hídricos**, EESC-USP, 1998, 398p.
- 18 SILVA, D. D. da; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. **Equações de Intensidade-Duração-Freqüência da Precipitação Pluvial para o Estado de Tocantins**. Revista Engenharia na Agricultura. Viçosa. V. 11, n.1-4. Jan-Dez. 2003.
- 19 SUDO, H; RAO, N. J. M.; BURNEIKO, E. S.; MARTINEZ JR, F.; TOMMASSELLI, J. T. G. **Análise Intensidade-Duração-Freqüência para Presidente Prudente/SP**. In IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, ABRH, Fortaleza/CE, Brasil. 1981.
- 20 TOMAZ, P. – **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais** – 1^a. Edição, São Paulo, 2002, 263p.
- 21 TUCCI, C. E. M - PORTO, R. L. L. – BARROS, M. T., **Drenagem Urbana**, ABRH, Porto Alegre, 1995, 428p.
- 22 TUCCI, C. E. M., **Hidrologia – Ciência e Aplicação**, 2^a edição, ABRH, Porto Alegre, 2001, 588p.
- 23 VIEIRA, D. B.; MEDEIROS, E. M. **Estudo das Máximas Intensidades de Chuva para a Região de Limeira**, In V Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, ABID, São Paulo, 1980.
- 24 VIEIRA, D. B. **Análise das Máximas Intensidades de Chuvas na Cidade de Campinas**. In IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, ABRH, Fortaleza/CE, Brasil.
- 25 WILKEN, P.S., **Engenharia de Drenagem Superficial**, CETESB, São Paulo, 1978, 276p.
- 26 ZUFFO, A. C. **Equações de Chuvas São Eternas?** In XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro/SP. Brasil, 2004.