

## IV-195 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MÉTODOS EXPEDITOS DE DETERMINAÇÃO DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA O EXTREMO SUL DA BAHIA

**Karinnie Nascimento de Almeida<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

**José Antônio Tosta dos Reis<sup>(2)</sup>**

Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Natalina Daher Carneiro, 81 – Jardim da Penha – Vitória - ES - CEP: 29060-490 - Brasil -  
Tel: (27) 3024-1085 - e-mail: [kaka.nascimento05@gmail.com](mailto:kaka.nascimento05@gmail.com)

### RESUMO

O conhecimento do regime de chuvas de uma localidade é indispensável para o adequado dimensionamento de sistemas de drenagem pluvial, para a construção de estruturas ferroviárias ou rodoviárias, para o adequado projeto de sistemas de abastecimento de água e irrigação, além da definição de alternativas de prevenção contra possíveis prejuízos causados por eventos extremos de precipitação. Existindo uma rede confiável de pluviógrafos, o monitoramento das precipitações durante um período de tempo suficientemente longo e representativo, permite a determinação de uma equação de chuvas intensas. Como alternativa, em regiões desprovidas ou com baixa densidade de pontos pluviográficos, a literatura indica alternativas expeditas como os métodos de Chow-Gumbel e de Bell. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho dos referidos métodos, a partir da confrontação com as respostas de equações de chuvas intensas desenvolvidas a partir de registros de pluviógrafos instalados e em funcionamento na porção sul do estado da Bahia. Para a comparação das respostas das diferentes equações de chuvas intensas analisadas foi empregado o teste F de variâncias, considerando-se um nível de significância de 95%. Os resultados indicaram equivalência entre as respostas dos métodos expeditos e das equações estabelecidas com auxílio pluviógrafos para elevados períodos de retorno, independentemente da duração considerada. Para pequenos períodos de retorno, a equivalência só foi verificada para baixas durações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drenagem, chuvas intensas, Chow-Gumbel, Bell, curvas intensidade-duração-frequência.

### INTRODUÇÃO

As chuvas intensas, por definição, chuvas com fortes precipitações em um curto espaço de tempo, podem produzir severos prejuízos de natureza social, econômica e ambiental. No meio urbano, chuvas intensas podem provocar perda de bens, interrupções de atividades, contaminação das águas, aumento, ou aceleração do processo de erosão além da propagação de vetores e doenças de contaminação hídrica.

Inundações e enchentes ocorrem sempre que a rede de drenagem não suporta as vazões produzidas por um evento de chuva intensa. Desta forma, o conhecimento do comportamento das precipitações intensas chuvas é essencial para o projeto e construção de bueiros, galerias, calhas, dentre outros componentes do sistema de drenagem.

O monitoramento de precipitações por meio de rede de pluviógrafos confiável, durante período de tempo suficientemente longo e representativo, permite o estabelecimento de equações de chuvas intensas, conformando relação entre intensidade, duração e frequência das precipitações. Constituem exemplos de equações de chuvas intensas desenvolvidas a partir de registros pluviográficos as apresentadas nas publicações de Reich(1963), Chen (1983), Kothyari & Garde (1992), Alila (2000), Silva et al. (2002), Adadin (2005) e Singh & Zhang (2007).

Os pluviógrafos, aparelhos utilizado para coletar e armazenar, continuamente no tempo, a intensidade da chuva, usualmente não se apresentam conformando rede de monitoramento densa e com relevante extensão de

registros. Neste caso, é possível utilizar os dados gerados por pluviômetros, aparelhos utilizados para registrar a lâmina de precipitação acumulada diariamente, para o estabelecimento de equações de chuvas intensas por meio de métodos expeditos.

Dentre os métodos expeditos para determinação de equações de chuvas intensas, os métodos de Chow-Gumbel e de Bel destacam-se pela facilidade de aplicação. Esses métodos, que permitem a definição de equações a partir de séries históricas precipitações máximas anuais de um dia de duração – séries estabelecidas com auxílio de pluviômetros – e de coeficientes de conversão entre chuvas de diferentes durações, tem sido usualmente empregados no Brasil. Constituem exemplos de aplicação dos métodos de Bell e Chow-Gumbel em diferentes estados brasileiros os trabalhos de Oliveira et al. (2005), Santos et al. (2009), Cardoso et al. (2013), Campos et al. (2014) e Fechine et al. (2014).

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho dos métodos expeditos de Chow-Gumbel e de Bell na determinação de equações de chuvas intensas. Para isto foram consideradas as equações de chuvas intensas definidas a partir de registros pluviográficos observados no extremo sul do estado da Bahia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Equações de chuvas intensas estabelecidas a partir de registros pluviográficos

As equações de chuvas intensas disponíveis para o estado da Bahia foram estabelecidas por Silva et al. (2000) a partir dos registros de pluviógrafos que integram a rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). As referidas equações, juntamente com nome e localização das estações pluviográficas e períodos de monitoramento, estão reunidas no **Quadro 1**.

**Quadro 1: Estações pluviográficas e equações de chuvas intensas para o Estado da Bahia**

Estações	Município	Altitude (m)	Latitude S (graus minutos segundos)	Longitude W (graus minutos segundos)	Período	Equação
Cândido Sales	Cândido Sales	676	15°30'18"	41°13'45"	1988-1999	$i = \frac{2828,391 \cdot T^{0,224}}{(t + 34,463)^{0,586}}$
Ipiaú	Ipiaú	142	14°10'15"	39°41'23"	1991-1994 1996-1999	$i = \frac{2194,929 \cdot T^{0,222}}{(t + 32,891)^{0,582}}$
Itamaraju	Itamaraju	80	17°02'43"	39°32'37"	1975-1986 1988-1999	$i = \frac{4032,860 \cdot T^{0,211}}{(t + 28,605)^{1,080}}$
Itapebi	Itapebi	80	15°57'39"	39°31'34"	1975-1986	$i = \frac{3586,593 \cdot T^{0,204}}{(t + 39,135)^{0,587}}$
Medeiros Neto	Medeiros Neto	180	17°22'33"	40°13'17"	1975-1986 1988-1999	$i = \frac{6899,271 \cdot T^{0,227}}{(t + 40,913)^{1,107}}$
Santa Cruz da Vitória	Santa Cruz da Vitória	243	14°57'32"	39°48'27"	1988-1999	$i = \frac{3450,0 \cdot T^{0,229}}{(t + 34,012)^{0,589}}$

Fonte: Silva et al. (2000).

### Registros pluviométricos

Os registros pluviométricos utilizados neste trabalho foram obtidos a partir da base de dados gerenciada pela Agência Nacional das Águas (ANA) e manipulados através da utilização do programa computacional HIDRO, programa de domínio público produzido e disponibilizado pela ANA.

Para a determinação expedita das equações de intensidade-duração-frequência de chuvas intensas foram empregadas duas diferentes alternativas: o método de Bell, o método de Chow-Gumbel.

### Método de Chow-Gumbel

A aplicação do Método de Chow-Gumbel envolveu as seguintes tarefas: **a)** seleção das máximas precipitações anuais de 1 dia, **b)** análise de frequências dos totais precipitados com ajuste da distribuição probabilística de Gumbel, nesta etapa foram considerados períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, **c)** obtenção das precipitações para durações de 24 horas e **d)** apropriação das chuvas de menor duração e com a mesma frequência, por meio dos fatores de conversão indicados por CETESB (1986).

Foram estabelecidas as aturas pluviométricas associadas a diferentes períodos de retorno e durações, após chegou-se as intensidades com simples relações entre as referidas alturas e durações.

As equações de intensas ficaram no formato estabelecido pela equação (01).

$$i = \frac{(k \cdot T^a)}{(t+b)^c} \quad (01)$$

Na equação (01),  $i$  representa a intensidade máxima média (mm/minuto),  $T$  o período de retorno (anos),  $t$  a duração (minutos) e  $k$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  são os parâmetros que localmente se deseja determinar.

Para a garantia de determinação do ótimo global – neste trabalho, o menor valor possível para o somatório dos erros – foram testados diferentes valores iniciais para os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $k$ . De uma tentativa para outra, os valores iniciais dos referidos parâmetros foram aleatoriamente modificados em, no mínimo, uma ordem de grandeza. O processo de otimização conduzido com auxílio da PNL foi repetido no mínimo 10 (dez) vezes.

### Método de Bell

O Método de Bell permitiu a apropriação de intensidades pluviométricas e períodos de retorno a partir de uma chuva intensa padrão de 60 minutos de duração e 2 anos de período ( $h_{60,2}$ ) de retorno. Conforme procedimento detalhadamente apresentado por Righetto (1998), a precipitação  $h_{60,2}$  foi substituída pela precipitação máxima diária associada ao período de retorno de anos ( $h_{dia,2}$ ), conforme equação (02).

$$h_{60,2} = 0,51 \cdot h_{dia,2} \quad (02)$$

### Análise Estatística

Para a comparação das respostas oferecidas pelas equações de chuvas intensas determinadas pelos métodos de Chow-Gumbel e de Bell com as equações de chuvas intensas determinadas por Silva et al (2002) foi empregado o teste F de variância, detalhadamente apresentado e discutido por Levine et al.(2005). A equação (03) define a estatística do teste F para a equivalência entre duas variâncias.

$$F_{est} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (03)$$

Para um determinado nível de significância, a hipótese nula é a igualdade entre variâncias de duas amostras e a hipótese alternativa de que as variâncias para as duas populações não são iguais. A hipótese nula será rejeitada se a estatística do teste ( $F_{est}$ ) for maior do que o valor crítico da distribuição F ( $F_{crítico}$ ). Os valores críticos da distribuição F são tabelados e dependentes dos graus de liberdade nas duas amostras objeto de comparação e do nível de significância adotado. Neste trabalho foi considerado um nível de significância de 95%.

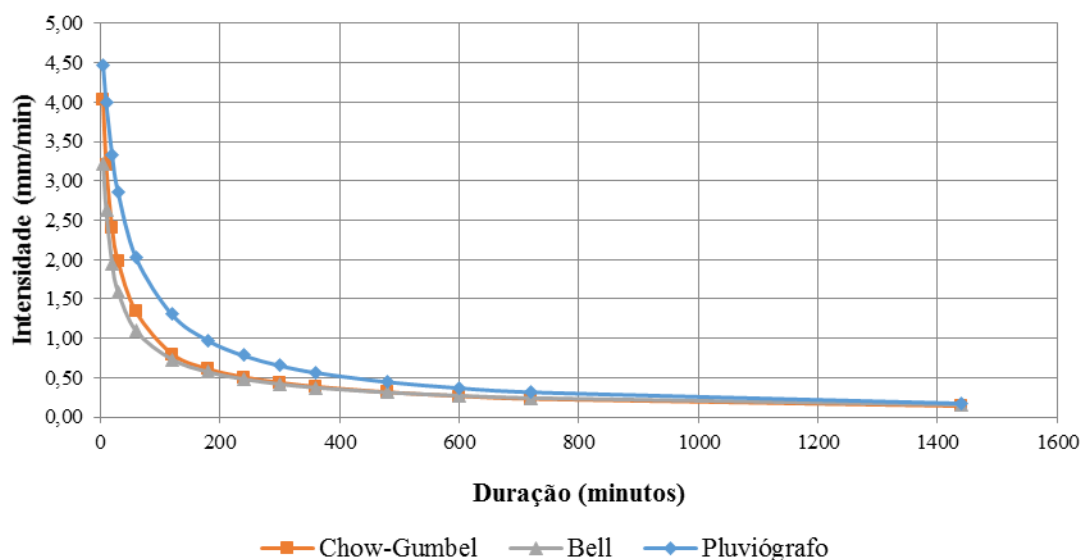
## RESULTADOS

O Quadro 2 reúne as equações de chuvas intensas estabelecidas com auxílio dos métodos de Chow-Gumbel e de Bell.

**Quadro 2 - Equações de chuvas intensas estabelecidas pelos métodos expeditos de Chow-Gumbel e Bell para o extremo sul da Bahia**

Estação	Método expedito de determinação das equações de chuvas intensas	
	Chow-Gumbel	Bell
Cândido Sales	$i = \frac{619,594 \cdot T^{0,158}}{(t + 2,456)^{1,704}}$	$h_{t,T} = (0,31 \cdot \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39) \cdot 37,50$
Ipiaú	$i = \frac{637,106 \cdot T^{0,210}}{(t + 2,428)^{1,706}}$	$h_{t,T} = (0,31 \cdot \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39) \cdot 35,63$
Itamaraju	$i = \frac{570,618 \cdot T^{0,161}}{(t + 2,445)^{1,709}}$	$h_{t,T} = (0,31 \cdot \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39) \cdot 34,58$
Itapepi	$i = \frac{629,644 \cdot T^{0,198}}{(t + 2,527)^{1,710}}$	$h_{t,T} = (0,31 \cdot \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39) \cdot 34,40$
Medeiros Neto	$i = \frac{619,63 \cdot T^{0,173}}{(t + 2,461)^{1,704}}$	$h_{t,T} = (0,31 \cdot \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39) \cdot 37,09$
Santa Cruz da Vitória	$i = \frac{719,832 \cdot T^{0,222}}{(t + 2,507)^{1,709}}$	$h_{t,T} = (0,31 \cdot \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39) \cdot 38,29$

A Figura 1 apresenta as respostas das diferentes equações de chuvas intensas associadas à estação de Ipiaú, considerado o período de retorno de 50 anos. Gráficos semelhantes foram gerados para as demais estações e períodos de retorno avaliados.



**Figura 1 - Intensidades pluviométricas para a estação de Ipiaú associadas a um período de retorno de 50 anos**

As equações de chuvas intensas associadas ao método de Chow-Gumbel foram obtidas a partir da minimização da função objetivo. Com auxílio da PNL, a função objetivo foi minimizada a partir da variação dos parâmetros a, b, c e k. Ainda que o procedimento metodológico tenha estabelecido um mínimo de 10 (dez) repetições para o procedimento de minimização, os ótimos globais foram usualmente identificados nas 4 (quatro) primeiras tentativas.

A análise estatística empregada para comparação das respostas de pares de equações de chuvas intensas, conduzida com auxílio do teste F de variância, foi realizada para períodos de retorno de 2, 50 e 100 anos, e durações de 5, 30, 240, 720 e 1440 minutos. Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os resultados decorrentes da aplicação do Teste F para comparação das respostas produzidas pelas equações de chuvas intensas estabelecidas com auxílio dos métodos de Chow-Gumbel e Bell e a partir dos registros pluviográficos para o período de retorno de 2, 50 e 100 anos.

Nas referidas tabelas as células assinaladas na cor cinza indicam as equivalências obtidas para nível de significância de 95%.

**Tabela 1 - Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 2 anos**

Duração (min)	Métodos Pareados	F <sub>est</sub>	F <sub>crítico</sub>	P(F≤f)
5	Gumbel/Bell	1,71	5,05	0,42
	Pluviógrafo/Bell	3,48	5,05	0,099
	Pluviógrafo/Gumbel	2,90	5,05	0,13
30	Gumbel/Bell	1,17	5,05	0,43
	Pluviógrafo/Bell	4,53	5,05	0,06
	Pluviógrafo/Gumbel	3,86	5,05	0,08
240	Gumbel/Bell	1,20	5,05	0,42
	Pluviógrafo/Bell	11,13	5,05	0,009
	Pluviógrafo/Gumbel	13,36	5,05	0,006
720	Gumbel/Bell	1,48	5,05	0,34
	Pluviógrafo/Bell	13,83	5,05	0,006
	Pluviógrafo/Gumbel	20,55	5,05	0,002
1440	Gumbel/Bell	1,75	5,05	0,28
	Pluviógrafo/Bell	14,19	5,05	0,006
	Pluviógrafo/Gumbel	24,83	5,05	0,002

**Tabela 2 - Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 50 anos**

Duração (min)	Métodos Pareados	F <sub>est</sub>	F <sub>crítico</sub>	P(F≤f)
5	Gumbel/Bell	18,25	5,05	0,003
	Pluviógrafo/Bell	12,92	5,05	0,006
	Pluviógrafo/Gumbel	1,41	5,05	0,36
30	Gumbel/Bell	17,89	5,05	0,003
	Pluviógrafo/Bell	23,66	5,05	0,001
	Pluviógrafo/Gumbel	1,32	5,05	0,38
240	Gumbel/Bell	12,69	5,05	0,007
	Pluviógrafo/Bell	33,88	5,05	0,0007
	Pluviógrafo/Gumbel	2,67	5,05	0,15
720	Gumbel/Bell	10,25	5,05	0,01
	Pluviógrafo/Bell	32,05	5,05	0,0008
	Pluviógrafo/Gumbel	3,13	5,05	0,12
1440	Gumbel/Bell	8,71	5,05	0,02
	Pluviógrafo/Bell	29,27	5,05	0,001
	Pluviógrafo/Gumbel	3,36	5,05	0,10

**Tabela 3 - Resultado da aplicação do teste F de variância para intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 100 anos**

Duração (min)	Métodos Pareados	Fest	Fcrítico	P(F≤f)
5	Gumbel/Bell	20,81	5,05	0,002
	Pluviógrafo/Bell	18,73	5,05	0,003
	Pluviógrafo/Gumbel	1,11	5,05	0,46
30	Gumbel/Bell	20,39	5,05	0,002
	Pluviógrafo/Bell	34,40	5,05	0,001
	Pluviógrafo/Gumbel	1,69	5,05	0,29
240	Gumbel/Bell	14,46	5,05	0,005
	Pluviógrafo/Bell	46,06	5,05	0,0003
	Pluviógrafo/Gumbel	3,18	5,05	0,11
720	Gumbel/Bell	11,69	5,05	0,009
	Pluviógrafo/Bell	41,98	5,05	0,0004
	Pluviógrafo/Gumbel	3,59	5,05	0,09
1440	Gumbel/Bell	9,93	5,05	0,01
	Pluviógrafo/Bell	37,64	5,05	0,0006
	Pluviógrafo/Gumbel	3,79	5,05	0,08

A aplicação do teste F de variância indicou equivalência entre as intensidades pluviométricas estimadas pelos a partir do método de Chow-Gumbel e das equações definidas com auxílio dos pluviógrafos em operação no extremo sul da Bahia para as quaisquer durações, quando considerados os períodos de retorno de 50 e 100 anos. Quando comparadas as respostas obtidas para menor o período de retorno analisado (períodos de 2 anos), observou-se que a equivalência entre intensidades associadas aos métodos expeditos e as intensidades determinadas a partir dos registros pluviográficos só se estabelece para durações inferiores a 30 minutos.

## CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente estudo podem ser assim sumarizadas:

- Os métodos expeditos permitem a conformação de equações de chuvas intensas a partir de séries históricas de precipitações máximas diárias, séries estabelecidas a partir de monitoramentos sistemáticos de precipitações conduzidos com auxílio de pluviômetros. Na área de estudo considerada neste trabalho e a partir da adoção de um nível de significância de 95%, as intensidades pluviométricas apropriadas com auxílio dos métodos de Bell e Chow-Gumbel apresentaram-se equivalentes para os menores períodos de retorno considerados.
- Ao nível de significância de 95%, as equações de chuvas intensas definidas a partir do método expedito de Chow-Gumbel apresentaram-se equivalentes àquelas conformadas a partir de registros pluviográficos quaisquer durações estudadas elevados quando assumidos os períodos de retorno de 50 e 100 anos. Para períodos de retornos menores, a equivalência entre as equações de chuvas intensas



definidas a partir dos métodos expedidos e as equações decorrentes dos registros pluviógrafos foram observadas apenas para durações inferiores a 30 minutos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CETESB. Drenagem Urbana – Manual de Projeto. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.
2. CRUCIANI, D.E.; MACHADO, R.E.; SENTELHAS, P.C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.1, p.76-82, 2002.
3. LEVINE, D.M.; STEPHAN, D.; KREHBIEL, T.C.; BERENSON, M.L. Estatística – Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2005.
4. RIGHETTO, A. M. Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos: EESC/USP, 1998.
5. SILVA, D.D.; FILHO, R.R.G.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.2, p.362-367, 2002.