

## IX-011 - RELAÇÃO ENTRE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO A PARTIR DA DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DIÁRIAS DE PALMAS-TO

**Victor Garcia Aristides Oliveira<sup>(1)</sup>**

Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

**Welton Silva Cardoso<sup>(1)</sup>**

Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

**Benildes Campos Rocha<sup>(1)</sup>**

Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

**Tâmara Lopes Farias<sup>(1)</sup>**

Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

**Juan Carlos Valdés Serra<sup>(1)</sup>**

Professor do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins – UFT e Tutor do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Ambiental (PET).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** 306 sul, alameda 08, lote 06 – Plano Diretor Sul - Palmas - Tocantins - CEP: 77021-042 - Brasil  
- Tel:(63) 32121469 - e-mail: victor\_garcia14@hotmail.com

### RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo a obtenção da equação de chuva intensa, que relaciona intensidade-duração-frequência (IDF), a partir da desagregação de chuvas diárias do município de Palmas, TO. Para tal, foram analisados os dados pluviométricos da estação meteorológica de Taquarussu do Porto. Em que determinou-se as séries de intensidades máximas anuais das precipitações com durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos associados à períodos de retorno selecionados. Utilizou-se do modelo de distribuição de Gumbel, sendo a equação de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial ajustada utilizando-se o método de regressão não-linear através do Programa “R”. As equações obtidas neste trabalho permitem avaliar o padrão de comportamento das chuvas intensas no município de Palmas e estabelecer estimativas preliminares de chuvas intensas nesta região, fornecendo subsídios para elaboração de projetos de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, como galerias, bueiros, extravasores de barragens e vãos de ponte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chuvas intensas, desagregação de chuva diária, relação entre intensidade-duração-frequência

### INTRODUÇÃO

Compreender os mecanismos atmosféricos é de extrema importância para entender a manutenção da biosfera, pois é na interface superfície/atmosfera que ocorrem as trocas de energia responsáveis pelo ciclo da vida no planeta, inclusive é nesta “interface” que o homem produz o espaço, adequando e modificando o meio, conforme suas necessidades. Segundo (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007), o conceito de climatologia trata do comportamento da atmosfera e da interação humana com a superfície do Planeta. Esse conceito caracteriza uma ciência que se configura como fonte fornecedora da compreensão das diferentes paisagens terrestres, contribuindo para uma intervenção consciente na organização do espaço (CORREA, SILVEIRA e VIEIRA, 2008).

Quando se realiza estudo climático de uma região, uma das variáveis meteorológicas mais importantes é a precipitação, devido às consequências que o excesso de precipitação pode ocasionar, principalmente, em eventos de chuva intensa. A chuva intensa é aquela que apresenta grande lâmina precipitada, durante pequeno intervalo de tempo, sendo que, frequentemente, estas chuvas causam consideráveis prejuízos materiais e

humanos. A principal forma para caracterização de chuvas intensas é através da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial (SILVA, PEREIRA, *et al.*, 2003).

Na engenharia hidrológica, chuvas intensas são aquelas que provocam cheias nos sistemas de drenagem, por exemplo, são chuvas que geram escoamentos pluviais nas galerias e canais, tais que as vazões de pico atingem valores próximos da capacidade do sistema. As chuvas intensas podem causar enchentes, isto é, podem gerar vazões superiores à capacidade do sistema de drenagem (RIGHETTO, 1998).

Segundo (VIEIRA, NETO e SANTOS, 1998), a relação entre intensidade, duração e frequência dessas chuvas é de enorme importância para o projeto de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, como galerias, bueiros, extravasores de barragens, vãos de pontes, entre outros.

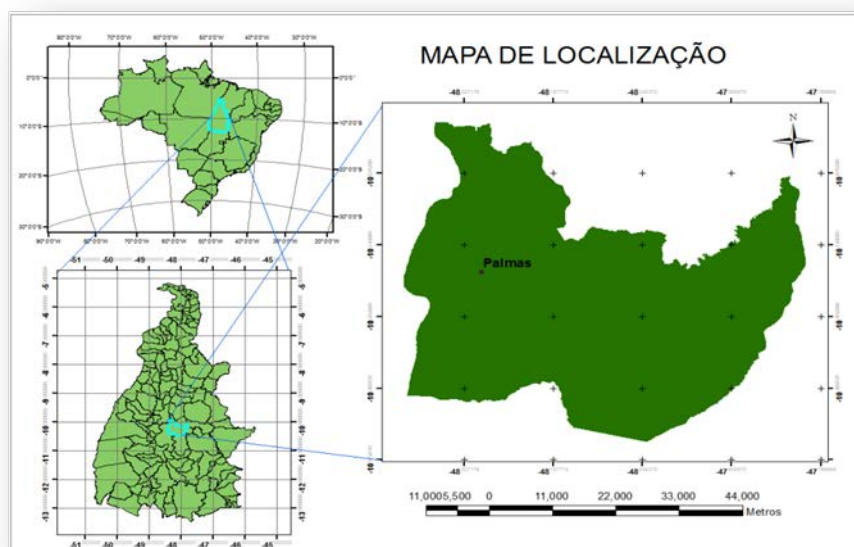
O conhecimento de dados de vazão máxima observados é importante por serem utilizados em projetos de obras hidráulicas, tais como vertedouros de barragens, canais de terraços, drenagem agrícola, urbana e rodoviária, desvio de cursos d'água e práticas mecânicas de controle de erosão hídrica, entre outros. É um dos caminhos que permitem conhecer a vazão de projeto quando não se tem dados históricos de vazão ou mesmo quando se apresentam em menor quantidade, é fazer um estudo de chuvas intensas da região (SAMANTHA S. GARCIA, 2011).

Desta forma, o presente trabalho tem como principal objetivo estabelecer as relações de intensidade-duração-frequência de precipitações pluviais, a partir da desagregação de chuvas diárias no município de Palmas-TO, utilizando registros pluviométricos da estação experimental de Taquarussu do Porto-TO.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O Município de Palmas faz parte da Região Norte, com 2.218km<sup>2</sup> de extensão territorial, localizado à margem direita do rio Tocantins. Para o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, o município está localizado na Mesorregião Oriental do Estado.

Uma representação esquemática da localização do município de Palmas é apresentada pela Figura 1.



**Figura 1: Mapa de localização da cidade de Palmas**

Segundo (SOUZA *et al.*, 2010) a classificação climática pelo método de Thornthwaite para Palmas é definida pela seguinte fórmula:  $C2wA'a'$ , resultando em um clima subúmido, com duas estações bem definidas. Apresenta durante a estação seca moderada deficiência hídrica, megatérmico com elevados valores anuais de evapotranspiração potencial. A temperatura média anual é igual a 26 °C.

O trabalho foi realizado com base nos dados diários de precipitação da estação Meteorológica de Taquarussu do Porto, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). A estação está inserida no município de Palmas-TO, na sub-bacia 22.

Analisou-se uma série histórica de 30 anos, a partir de 1979 à 2010 dos registros de pluviômetros. Na qual selecionou-se as máximas precipitações anuais de 1 dia, organizando-as em ordem decrescente, a fim de analisar estatisticamente a probabilidade e o período de retorno das chuvas intensas pela distribuição de Gumbel.

A fim de demonstrar a frequência (Fi) de cada altura de chuva máxima, realizou-se o cálculo estatístico a partir da equação de Kimbal:

$$F_i(\%) = \left( \frac{m_i}{n+1} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

*m<sub>i</sub>* = número da ordem da chuva  
*n* = número de anos da série analisada

A variável reduzida de Gumbel (y) foi estimada pela expressão:

$$y(\text{mm}) = \frac{s_y}{s_x} \left[ x_1 - \left( \bar{x} - s_x \frac{\bar{y}}{s_y} \right) \right] \quad \text{Equação 2}$$

*x* = média da série de precipitação máxima anual de 1 dia  
*y* = média da variável reduzida de Gumbel  
*s<sub>x</sub>* = desvio padrão da precipitação máxima anual de 1 dia  
*s<sub>y</sub>* = desvio padrão tabelado em função do tamanho da série

A partir da variável reduzida (y), calculou-se a probabilidade (P) dos eventos de chuva máxima (Xi) serem igualados ou superados utilizando a equação:

$$P_{(x \geq x_i)}(\%) = (1 - e^{-e^{-y}}) \cdot 100 \quad \text{Equação 3}$$

*e* = base do logaritmo neperiano  
*y* = variável reduzida

Assim, calculou-se o período de retorno em anos (Tr), de cada evento voltar a ocorrer ou ser superado, através do inverso da probabilidade:

$$T_r(\text{anos}) = \frac{1}{P_{(x \geq x_i)}} \quad \text{Equação 4}$$

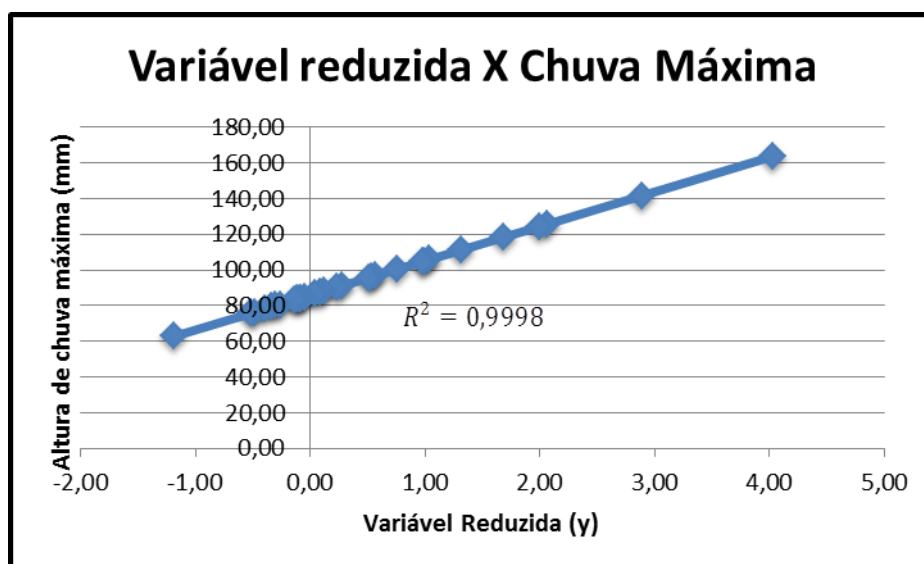
*P<sub>(x ≥ x<sub>i</sub>)</sub>* = probabilidade de ocorrência

A variável reduzida (y) de Gumbel da série analisada foi ajustada e plotada na figura 2, para análise e interpretação do comportamento das chuvas máximas, possibilitando a realização de interpolações ou extrapolações entrando já com a variável reduzida.

A equação que modela a variável reduzida em relação à chuva máxima é:

$$x_1 = 19,34 * y + 85,68 \quad \text{Equação 5}$$

*y* = variável reduzida de Gumbel  
*x<sub>1</sub>* = chuva máxima



**Figura 2: Gráfico de correlação da variável reduzida calculada à altura de chuva máxima da série analisada**

O modelo de desagregação de chuvas diárias foi aplicado através das relações das constantes pré-estabelecidas e da reta analítica de frequência das chuvas. A reta analítica possibilita, assim como o gráfico, a obtenção de chuvas máximas a partir de um período de retorno qualquer, porém de modo mais preciso. A reta foi determinada com base na série de chuva máxima ( $X_i$ ) correlacionada a uma variável reduzida correspondente ( $y$ ) através do *OCTAVE* 3.2. A reta apresenta uma relação intrínseca com o período de retorno ( $T_r$ ):

$$x_i = 19,34 * \left[ -\ln \left( \ln \left( 1 - \frac{1}{T_r} \right) \right) \right] + 85,68 \quad \text{Equação 6}$$

Por meio da equação 6, foi realizado as conversões das máximas precipitações anuais de 1 dia ( $X_i$ ) em precipitações máximas de 24 horas, associadas a diferentes períodos de retorno ( $T_r$ ). Utilizou-se de 2 à 100 anos para os períodos de retorno. Em seguida, determinaram-se chuvas máximas com durações menores de até 10 minutos, por meio das constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias, como se observa no quadro 1.

**Quadro 1: Constantes pré-estabelecidas do modelo de desagregação de chuvas diárias (Occhipinti & Santos, 1966).**

Relação	Constante	Multiplicada por	Desagrega para
24h/1dia	1,14	x(dia,Tr)	x(24 h, Tr)
12h/24h	0,85	x(24 h, Tr)	x(12 h, Tr)
10h/24h	0,82	x(24 h, Tr)	x(10 h, Tr)
8h/24h	0,78	x(24 h, Tr)	x(8 h, Tr)
6h/24h	0,72	x(24 h, Tr)	x(6 h, Tr)
4h/24h	0,63	x(24 h, Tr)	x(4 h, Tr)
2h/24h	0,52	x(24 h, Tr)	x(2 h, Tr)
1h/24h	0,42	x(24 h, Tr)	x(1 h, Tr)
30min/1h	0,74	x( 1 h, Tr)	x(30 min,Tr)
25min/30min	0,91	x(30min,Tr)	x(25 min,Tr)
20min/30min	0,81	x(30min,Tr)	x(20 min,Tr)
15min/30min	0,70	x(30min,Tr)	x(15 min,Tr)
10min/30min	0,54	x(30min,Tr)	x(10 min,Tr)
5min/30min	0,34	x(30min,Tr)	x(5 min,Tr)

Por conseguinte, determinaram-se as intensidades das chuvas máximas ( $i$ ) para cada duração desagregada, associada a um período de retorno selecionado através da equação:

$$i_{mm}(\text{mm/min}) = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \text{Equação 7}$$

$\Delta h$  = chuva máxima no período de retorno e duração considerada em (mm)

$\Delta t$  = duração da altura máxima de chuva em (min)

Os parâmetros da equação que descreve a relação entre intensidade, duração e frequência (período de retorno) foram determinados por regressão não linear das intensidades de chuvas de duração ( $d$ ) para os períodos de retorno selecionados.

$$i = \frac{a T_r^{b_1}}{(t+b_2)^{b_3}} \quad \text{Equação 8}$$

$T_r$  = período de retorno em (anos)

$t$  = duração da altura máxima de chuva em (min)

$a, b_1, b_2, b_3$  = constantes ajustadas estatisticamente para cada localidade

Utilizou-se do programa *R* para determinar as constantes  $a, b_1, b_2, b_3$  através da regressão não linear dos dados. Para convergir as constantes, o programa realiza  $n$  iterações com base em valores iniciais dos parâmetros:

$$a = 5958,095$$

$$b_1 = 0,173$$

$$b_2 = 35,298$$

$$b_3 = 1,045$$

Utilizou-se das constantes acima presentes no modelo de Miracema do Tocantins como valores iniciais, por possuir características de precipitação semelhantes à Palmas-TO e estar à somente 78 km de distância.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando a estatística básica no EXCELL 2007, verifica-se que as chuvas máximas de um dia variam entre 62,7 à 163,7 mm (quadro 2), apresentando um desvio padrão (sx) de 21,46 mm nos 30 anos analisados. Enquanto a chuva de 62,7 mm (1998) apresentou 1,04 anos ou 1 ano e 14 dias de período de retorno, a chuva de 163,7 mm (2004) obteve um período de retorno de 57 anos e 13 dias aproximadamente. Observado no quadro 2.

**Quadro 2: Distribuição de Gumbel para chuvas máxima de um dia no período de 1979 à 2010 para a cidade de Palmas-TO**

Ano	Ordem	Chuva Máxima mm	Frequência %	Variável Reduzida adimensional	Probabilidade %	Período de Retorno ano
2004	1,00	163,70	3,23	4,03	1,75	57,03
2006	2,00	141,60	6,45	2,89	5,40	18,53
1981	3,00	125,60	9,68	2,06	11,92	8,39
1996	4,00	124,30	12,90	2,00	12,69	7,88
1995	5,00	118,20	16,13	1,68	16,98	5,89
2001	6,00	111,20	19,35	1,32	23,45	4,27
1980	7,00	105,80	22,58	1,04	29,76	3,36
1979	8,00	104,80	25,81	0,99	31,06	3,22
1999	9,00	104,70	29,03	0,98	31,20	3,21
1987	10,00	100,40	32,26	0,76	37,31	2,68
1988	11,00	96,60	35,48	0,56	43,36	2,31
1986	12,00	96,00	38,71	0,53	44,37	2,25
2008	13,00	95,50	41,94	0,51	45,21	2,21
2009	14,00	91,00	45,16	0,28	53,21	1,88
2003	15,00	90,30	48,39	0,24	54,50	1,83
1990	16,00	88,00	51,61	0,12	58,80	1,70
1997	17,00	87,30	54,84	0,08	60,13	1,66

1983	18,00	86,60	58,06	0,05	61,46	1,63
2005	19,00	84,90	61,29	-0,04	64,69	1,55
2000	20,00	84,10	64,52	-0,08	66,21	1,51
1984	21,00	84,00	67,74	-0,09	66,40	1,51
2007	22,00	83,50	70,97	-0,11	67,35	1,48
2002	23,00	83,10	74,19	-0,13	68,10	1,47
1989	24,00	80,60	77,42	-0,26	72,75	1,37
1991	25,00	79,90	80,65	-0,30	74,03	1,35
1982	26,00	79,20	83,87	-0,33	75,29	1,33
1985	27,00	78,00	87,10	-0,40	77,40	1,29
1994	28,00	76,30	90,32	-0,48	80,29	1,25
2010	29,00	75,70	93,55	-0,52	81,27	1,23
1998	30,00	62,70	96,77	-1,19	96,24	1,04
Soma		2883,60				
Média - xi		96,12	Média - y		0,54	
Desvio de xi		21,46	Desvio de y		1,11	

A partir da análise do quadro 2, verifica-se que chuvas de 62,7 mm possui uma frequência de 96,7 % na cidade de Palmas, ocorrendo todos os anos. E que espera-se uma chuva da ordem de 100,4 mm em apenas 2 anos e 8 meses. Deste modo, é necessário que haja uma preocupação para o sistema de drenagem e conservação do solo, visto que a capital do Tocantins (Palmas) possui uma taxa de crescimento relativamente alta.

A partir da reta analítica [equação 5], obteve-se a desagregação das chuvas máximas de um dia à durações de até 10 minutos com um coeficiente de ajustamento de  $R^2=0,9998$  (Quadro 3).

**Quadro 3: Desagregação de chuvas máximas de um dia a partir da reta analítica de frequência e da relação de constantes pré-estabelecidas, para as durações e períodos de retorno selecionados, em Palmas-TO.**

Duração	Período de retorno (ano)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
	mm							
1dia	92,77	114,68	129,20	137,38	143,12	147,53	161,13	174,63
24h	105,75	130,74	147,28	156,62	163,15	168,19	183,69	199,08
12h	89,89	111,13	125,19	133,12	138,68	142,96	156,14	169,22
10h	86,72	107,21	120,77	128,43	133,78	137,91	150,63	163,25
8h	82,49	101,98	114,88	122,16	127,26	131,18	143,28	155,29
6h	76,14	94,13	106,04	112,76	117,47	121,09	132,26	143,34
4h	66,63	82,37	92,79	98,67	102,79	105,96	115,73	125,42
2h	54,99	67,99	76,59	81,44	84,84	87,46	95,52	103,52
1h	44,42	54,91	61,86	65,78	68,52	70,64	77,15	83,62
30min	32,87	40,63	45,78	48,68	50,71	52,27	57,09	61,88
25min	29,91	36,98	41,66	44,30	46,14	47,57	51,95	56,31
20min	26,62	32,91	37,08	39,43	41,07	42,34	46,24	50,12
15min	23,01	28,44	32,04	34,07	35,50	36,59	39,96	43,31
10min	17,75	21,94	24,72	26,29	27,38	28,23	30,83	33,41
5min	11,18	13,82	15,56	16,55	17,24	17,77	19,41	21,04

A intensidade de chuva máxima média calculada para cada período de retorno estudado associadas a diferentes durações possuiu desvio padrão da ordem de 80,6 mm para o período de retorno de 100 anos e 37,2 mm de desvio para a duração de 5 minutos. Portanto, quanto maior o período de retorno e menor a duração, maior será o desvio padrão da intensidade da chuva máxima, verificado no quadro 4.



**Quadro 4: Intensidades de chuvas máximas médias calculadas a partir do período de retorno e duração selecionados.**

Duração (h)	Período de retorno (ano)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
	mm/min							
24,00	4,41	5,45	6,14	6,53	6,80	7,01	7,65	8,30
12,00	7,49	9,26	10,43	11,09	11,56	11,91	13,01	14,10
10,00	8,67	10,72	12,08	12,84	13,38	13,79	15,06	16,32
8,00	10,31	12,75	14,36	15,27	15,91	16,40	17,91	19,41
6,00	12,69	15,69	17,67	18,79	19,58	20,18	22,04	23,89
4,00	16,66	20,59	23,20	24,67	25,70	26,49	28,93	31,36
2,00	27,50	33,99	38,29	40,72	42,42	43,73	47,76	51,76
1,00	44,42	54,91	61,86	65,78	68,52	70,64	77,15	83,62
0,50	65,74	81,27	91,55	97,35	101,42	104,54	114,18	123,75
0,42	71,79	88,75	99,97	106,31	110,75	114,16	124,69	135,14
0,33	79,87	98,74	111,24	118,28	123,22	127,02	138,73	150,36
0,25	92,03	113,78	128,17	136,29	141,98	146,36	159,86	173,25
0,17	106,49	131,65	148,31	157,71	164,29	169,36	184,98	200,48
0,08	134,10	165,79	186,77	198,60	206,89	213,27	232,93	252,45

As constantes da equação de chuva intensa foram encontradas através de 13 iterações de convergência com uma tolerância no erro de convergência da ordem de  $3,113 \times 10^{-7}$ .

$$\begin{aligned}
 a &= 1078,47 \\
 b_1 &= 0,1496 \\
 b_2 &= 12,2690 \\
 b_3 &= 0,7566
 \end{aligned}$$

A equação obtida que descreve a relação entre intensidade, duração e frequência apresentou alto grau de ajustamento dos dados, com  $R^2$  de 0,9980.

$$i = \frac{1078,47 T_r^{0,1496}}{(t + 12,2690)^{0,7566}}$$

**Equação 9**

$$\begin{aligned}
 T_r &= \text{período de retorno em (anos)} \\
 t &= \text{duração de chuva (minutos)}
 \end{aligned}$$

## CONCLUSÕES

As equações obtidas podem ser usadas para estimar a magnitude das chuvas da cidade de Palmas em projetos de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, como galerias, bueiros, extravasores de barragens e vãos de pontes. Porém, devem-se adotar períodos de retorno e durações adequadas para cada aplicação, de acordo com o risco assumido.

Verifica-se que chuvas de 62,7 mm possui uma frequência de 96,7 % na cidade de Palmas, ocorrendo todos os anos. E que espera-se uma chuva da ordem de 100,4 mm em apenas 2 anos e 8 meses.

A equação de chuva intensa, que relaciona intensidade, duração e frequência das chuvas na cidade de Palmas

$$\text{é: } i = \frac{1078,47 T_r^{0,1496}}{(t+12,2690)^{0,7566}}$$

As relações entre chuvas de diferentes durações obtidas para Palmas estão próximas daquelas obtidas a partir do programa *Plúvio 2.1* da Universidade de Viçosa, que por sua vez, aplica o método de interpolação de superfícies dos planos de amostragem dos coeficientes  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$  da equação de chuvas intensas já trabalhadas em estações pluviométricas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CORREA, M. G. G.; SILVEIRA, H.; VIEIRA, S. Análise da distribuição da precipitação pluviométrica nos municípios de Francisco Alves e Alto Piquiri – PR, Maringá, 2008. Universidade Estadual de Maringá.
2. MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo-SP: [s.n.], 2007. Oficina de textos.
3. RIGHETTO, A. M. Hidrologia e Recursos Hídricos. 1ª. ed. São Carlos-SP: EESC/USP, 1998.
4. SAMANTHA S. GARCIA, R. S. S. A. E. G. C. & W. H. S. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 15, p. 575-581, mar. 2011. ISSN 6.
5. SILVA, D. D. D. et al. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 11, janeiro/dezembro 2003. ISSN 1-4.
6. VIEIRA, D. B.; NETO, F. L.; SANTOS, R. P. D. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Mococas, SP, CAMPINAS, SP, 23 julho 1998.