

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES

Levantamentos, Estudos, Previsão
e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

Município: Piracicaba/SP

Estação Pluviográfica: Piracicaba

Código: 02247094 (ANA)

Código: D4-104R (DAEE)



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA
DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES
LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS
HIDROLÓGICOS
CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÃO

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

Município: Piracicaba/SP

Estação Pluviográfica: Piracicaba

Códigos: 02247094 (ANA) - D4-104R (DAEE/SP)

Equação definida por Martinez e Piteri em 2016

Adriano da Silva Santos
Karine Pickbrenner
Eber José de Andrade Pinto



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

RECIFE

2020

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES
LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS
HIDROLÓGICOS

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL
EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Superintendência Regional de Recife

Copyright @ 2020 CPRM - Superintendência Regional de Recife
Avenida Sul, 2291 – Afogados
Recife - PE - 50.770-011
Telefone: (81) 3316-1400
Fax: (81) 3316-1403
<http://www.cprm.gov.br/>

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Adriano, Santos

S237 Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência:
Município Piracicaba/SP / Adriano da Silva Santos; Karine Pickbrenner; Eber
José de Andrade Pinto. – Recife: CPRM, 2020.
10p.;

Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade

ISBN 978-65-5664-020-4

1. Hidrologia. 2. Pluviometria - Brasil. 3. Equações IDF. I. Pickbrenner,
Karine. II. Pinto, Eber José de Andrade. III. Título

CDD 551.570981

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ana Lúcia B. F. Coelho (CRB 10/840)

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Bento Albuquerque

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Marisete Fátima Dadald Pereira

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Alexandre Vidigal de Oliveira

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Alexandre Vidigal de Oliveira

Vice-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Conselheiros

Cassio Roberto da Silva

Geraldo Medeiros de Moraes

Lília Mascarenhas Sant'Agostino

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE

Vanildo Almeida Mendes
Superintendente

Robson de Carlo da Silva
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Silvana de Carvalho Melo
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Douglas Silva Luna
Gerente de Infraestrutura Geocientífica

Gilberto Augusto Pinto Ribeiro Júnior
Gerente de Administração e Finanças

PROJETO ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

Departamento de Hidrologia
Frederico Cláudio Peixinho

Departamento de Gestão Territorial
Maria Adelaide Mansini Maia

Divisão de Hidrologia Aplicada
Adriana Dantas Medeiros
Achiles Monteiro (*In memorian*)

Divisão de Geologia Aplicada
Sandra Fernandes da Silva

Coordenação Executiva do DEHID
Projeto Atlas Pluviométrico
Eber José de Andrade Pinto

Coordenação do Projeto Cartas
Municipais de Suscetibilidade
Tiago Antonelli

Coordenadores Regionais do Projeto Atlas Pluviométrico

José Alexandre Moreira Farias - REFO (*In memorian*)

Karine Pickbrenner - SUREG /PA

Equipe Executora

Adriana Burin Weschenfelder - SUREG/PA

Adriano da Silva Santos – SUREG/RE

Caluan Rodrigues Capozzoli – SUREG /SP

Catharina dos Prazeres Campos de Farias– SUREG /BE

Jean Ricardo da Silvado Nascimento – RETE

Luana Késsia Lucas Alves Martins – SUREG /BH

Osvalcélio Mercês Furtunato - SUREG /SA

Sistema de Informações Geográficas e Mapa

Ivete Souza do Nascimento- SUREG /BH

Apoio Técnico

Maximiliano Paschoaloti Messa – SUREG /PA

APRESENTAÇÃO

O projeto Atlas Pluviométrico é uma ação dentro do programa Gestão de Riscos e de Desastres que tem por objetivo reunir, consolidar e organizar as informações sobre chuvas obtidas na operação da rede hidrometeorológica nacional.

Dentre os vários objetivos do projeto Atlas Pluviométrico, destaca-se, a definição das relações intensidade-duração-frequência (IDF). Essas relações serão estabelecidas para os pontos da rede hidrometeorológica nacional que dispõe de registros contínuos de chuva, ou seja, estações equipadas com pluviógrafos ou estações automáticas.

Entretanto, em localidades nas quais existem somente pluviômetros, ou seja, não existem registros contínuos das precipitações, obtidos com pluviógrafos ou estações automáticas, as relações IDF serão estabelecidas a partir da desagregação das precipitações máximas diárias.

As relações IDF são importantíssimas na definição das intensidades de precipitação associadas a uma frequência de ocorrência, as quais serão utilizadas no dimensionamento de diversas estruturas de drenagem pluvial ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Também podem ser utilizadas de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de precipitação ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário.

Na definição das relações IDF foram priorizados os municípios onde serão mapeadas, pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil, as áreas suscetíveis a movimentos de massa e enchentes.

Este estudo, que acompanhará a carta municipal de suscetibilidade, apresenta a equação IDF definida por Martinez Junior e Piteri (2016 apud DAEE 2018) para o município de Piracicaba/SP, onde foram utilizados os registros contínuos da estação pluviográfica Piracicaba, código 02247094 (ANA) e D4-104R (DAEE/SP), localizada no mesmo município.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	01
2 – EQUAÇÃO	01
3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO	04
4 – REFERÊNCIAS	04

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviográfica

Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Intensidade da chuva em mm/h

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

1 – INTRODUÇÃO

A equação pode ser utilizada no município de Piracicaba/SP.

O município de Piracicaba está localizado a 137 km de São Paulo, capital do estado e faz fronteira com os municípios de Santa Bárbara d'Oeste, Limeira, Iracemápolis, Rio Claro, Ipeúna, Charqueada, São Pedro, Santa Maria da Serra, Anhembi, Conchas, Laranjal Paulista, Tietê, Saltinho, Rio das Pedras. O município possui uma área aproximada de 1.378 km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2019) e localiza-se a uma altitude de 527 metros em sua sede. A população de Piracicaba, segundo IBGE (2010), é de 364.571 habitantes.

A estação Piracicaba, códigos 02247094 (ANA) e D4-104R (DAEE/SP), está localizada na Latitude 22°43'03.00"S e Longitude 47°39'07"O, na sub-bacia 62, dos rios Paraná, Tietê e outros. A estação pluviográfica localiza-se na sede do município de Piracicaba e é operada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo – DAEE. Os dados para definição da equação IDF foram extraídos a partir dos pluviogramas de um pluviógrafo convencional, distribuídos em intervalos entre 1980 a 2013, totalizando 24 anos de dados.

A Figura 01 apresenta a localização do município e da estação pluviográfica.

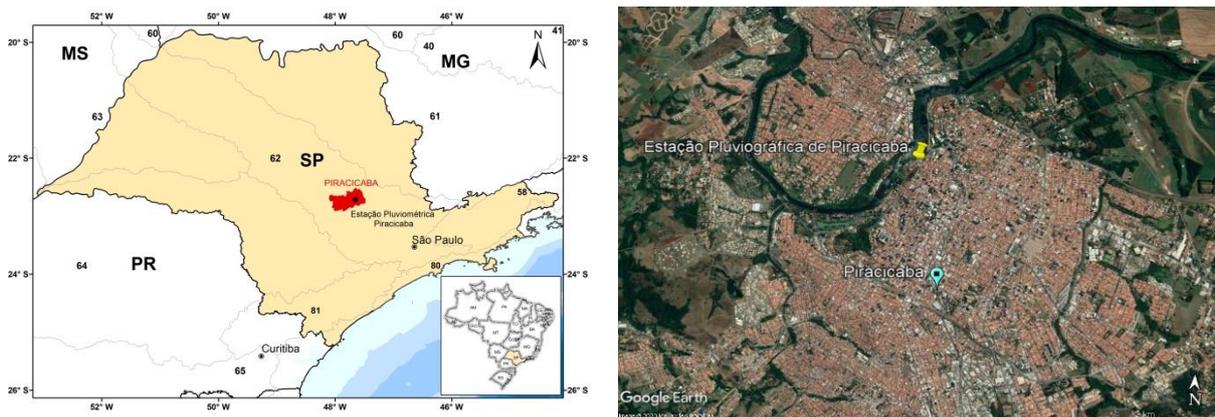


Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviográfica (Fonte: Google Earth, 2020)

2 – EQUAÇÃO

A equação IDF indicada para o município de Piracicaba foi definida por Martinez Junior e Piteri (2016 apud DAEE 2018), onde foram utilizados os dados da estação Piracicaba, códigos 02247094(ANA) e D4-104R (DAEE/SP).

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

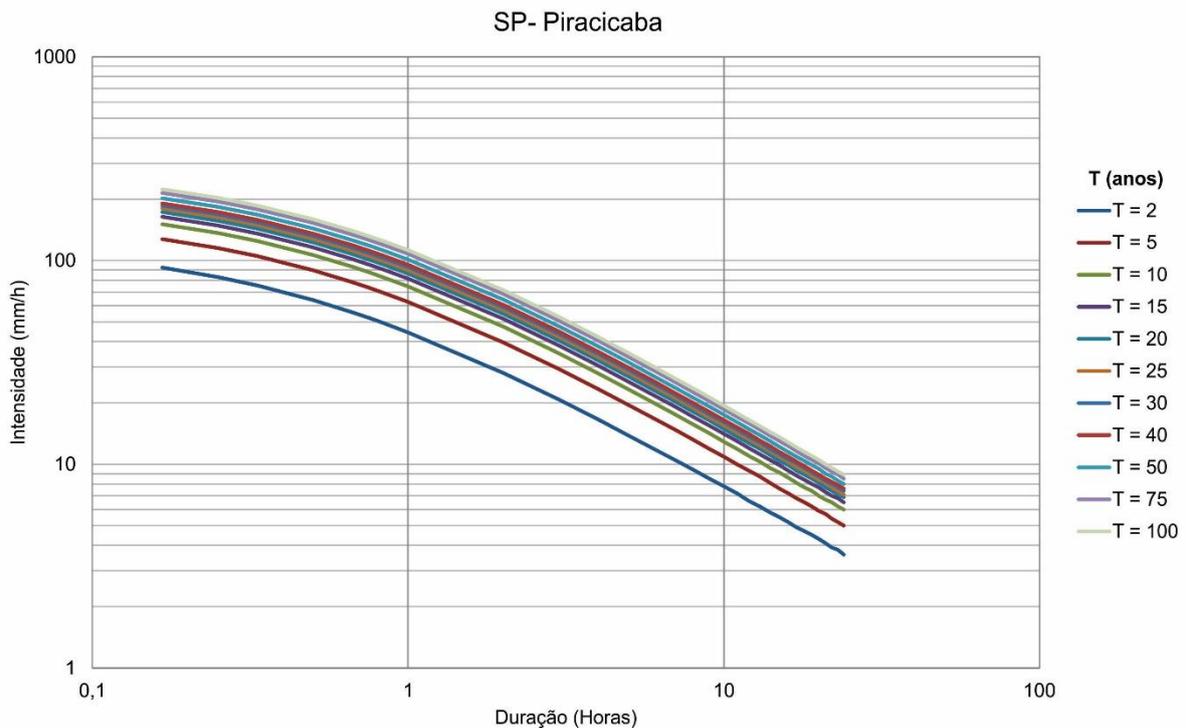


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

A equação adotada para representar a família de curvas da Figura 02 é do tipo:

$$i_{t,T} = a (t + b)^c + d (t + e)^f \cdot [g + h \cdot \text{Ln}(\text{Ln}(T / (T - 1)))] \quad (01)$$

Onde:

i é a intensidade da chuva (mm/min)

T é o tempo de retorno (anos)

t é a duração da precipitação (minutos)

a, b, c, d, e, f, g, h são parâmetros da equação

No caso de Piracicaba, os parâmetros da equação são os seguintes:

$a = 44,52; b = 30; c = -0,8972; d = 23,53; e = 40; f = -0,9506; g = -0,4847; h = -0,9062$

$$i_{t,T} = 44,52(t + 30)^{-0,8972} + 23,53(t + 40)^{-0,9506} \cdot [-0,4847 - 0,9062 \cdot \text{Ln}(\text{Ln}(T / (T - 1)))] \quad (02)$$

A equação acima é válida para durações entre 10 min e 1440 min e tempos de retorno até 100 anos.

A Tabela 01 apresenta as intensidades, em mm/h, calculadas para várias durações e diferentes tempos de retorno. Enquanto que na Tabela 02 constam as respectivas alturas de chuva, em mm, para as mesmas durações e os mesmos tempos de retorno.

Tabela 01 – Intensidade da chuva em mm/h

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, T (anos)											
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100
10 Minutos	92,3	127,5	150,8	164,0	173,2	180,3	186,0	195,1	202,1	207,8	214,8	223,8
15 Minutos	83,0	115,2	136,4	148,4	156,8	163,3	168,6	176,9	183,3	188,5	194,9	203,1
20 Minutos	75,5	105,1	124,7	135,7	143,4	149,4	154,2	161,9	167,8	172,6	178,4	186,0
30 Minutos	64,0	89,6	106,5	116,0	122,7	127,9	132,1	138,6	143,7	147,9	152,9	159,5
45 Minutos	52,4	73,6	87,7	95,6	101,2	105,4	108,9	114,4	118,6	122,1	126,3	131,7
1 HORA	44,4	62,6	74,7	81,5	86,3	89,9	92,9	97,6	101,2	104,2	107,8	112,4
2 HORAS	28,1	39,7	47,4	51,8	54,8	57,2	59,1	62,1	64,4	66,3	68,6	71,6
3 HORAS	20,8	29,4	35,1	38,3	40,5	42,3	43,7	45,9	47,6	49,0	50,7	52,9
4 HORAS	16,6	23,4	27,9	30,5	32,3	33,7	34,8	36,6	37,9	39,0	40,4	42,1
5 HORAS	13,8	19,5	23,3	25,4	26,9	28,1	29,0	30,5	31,6	32,5	33,6	35,1
6 HORAS	11,9	16,8	20,0	21,8	23,1	24,1	24,9	26,2	27,1	27,9	28,9	30,1
7 HORAS	10,5	14,8	17,6	19,2	20,3	21,2	21,9	23,0	23,8	24,5	25,3	26,4
8 HORAS	9,4	13,2	15,7	17,1	18,1	18,9	19,5	20,5	21,2	21,8	22,6	23,6
12 HORAS	6,6	9,3	11,0	12,0	12,7	13,3	13,7	14,4	14,9	15,3	15,9	16,5
14 HORAS	5,8	8,1	9,6	10,5	11,1	11,6	11,9	12,5	13,0	13,4	13,8	14,4
20 HORAS	4,3	5,9	7,0	7,7	8,1	8,4	8,7	9,1	9,5	9,7	10,1	10,5
24 HORAS	3,6	5,0	6,0	6,5	6,9	7,1	7,4	7,7	8,0	8,2	8,5	8,9

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, T (anos)											
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100
10 Minutos	15,4	21,3	25,1	27,3	28,9	30,1	31,0	32,5	33,7	34,6	35,8	37,3
15 Minutos	20,8	28,8	34,1	37,1	39,2	40,8	42,2	44,2	45,8	47,1	48,7	50,8
20 Minutos	25,2	35,0	41,6	45,2	47,8	49,8	51,4	54,0	55,9	57,5	59,5	62,0
30 Minutos	32,0	44,8	53,3	58,0	61,4	64,0	66,1	69,3	71,9	74,0	76,5	79,8
45 Minutos	39,3	55,2	65,8	71,7	75,9	79,1	81,7	85,8	89,0	91,6	94,7	98,8
1 HORA	44,4	62,6	74,7	81,5	86,3	89,9	92,9	97,6	101,2	104,2	107,8	112,4
2 HORAS	56,2	79,4	94,8	103,6	109,6	114,4	118,2	124,2	128,8	132,6	137,2	143,2
3 HORAS	62,4	88,2	105,3	114,9	121,5	126,9	131,1	137,7	142,8	147,0	152,1	158,7
4 HORAS	66,4	93,6	111,6	122,0	129,2	134,8	139,2	146,4	151,6	156,0	161,6	168,4
5 HORAS	69,0	97,5	116,5	127,0	134,5	140,5	145,0	152,5	158,0	162,5	168,0	175,5
6 HORAS	71,4	100,8	120,0	130,8	138,6	144,6	149,4	157,2	162,6	167,4	173,4	180,6
7 HORAS	73,5	103,6	123,2	134,4	142,1	148,4	153,3	161,0	166,6	171,5	177,1	184,8
8 HORAS	75,2	105,6	125,6	136,8	144,8	151,2	156,0	164,0	169,6	174,4	180,8	188,8
12 HORAS	79,2	111,6	132,0	144,0	152,4	159,6	164,4	172,8	178,8	183,6	190,8	198,0
14 HORAS	81,2	113,4	134,4	147,0	155,4	162,4	166,6	175,0	182,0	187,6	193,2	201,6
20 HORAS	86,0	118,0	140,0	154,0	162,0	168,0	174,0	182,0	190,0	194,0	202,0	210,0
24 HORAS	86,4	120,0	144,0	156,0	165,6	170,4	177,6	184,8	192,0	196,8	204,0	213,6

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Suponha que em um determinado dia, em Piracicaba foi registrada uma Chuva de 110 mm com duração de 2 horas. Qual é o tempo de retorno dessa precipitação?

Resp: A intensidade da chuva registrada é a altura da chuva dividida pela duração, ou seja, 110 mm dividido por 120 min (ou 2h) é igual a 0,917 mm/min (ou 55 mm/h). Para o caso de se aplicar a equação 02, utiliza-se a intensidade em mm/min e o tempo em minutos. Substituindo os valores de intensidade ($i_{t,T}$) e de duração da precipitação (t) na equação 02 temos:

$$0,917 = 44,52(120+30)^{-0,8972} + 23,53(120+40)^{-0,9506} \cdot [-0,4847 - 0,9062 \cdot \text{Ln}(\text{Ln}(T/T-1))]$$

$$\text{Ln}(\text{Ln}(T/T-1)) \approx -3,0$$

Dessa forma, obtemos o valor de T:

$$T \approx 20 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 20 anos corresponde a uma probabilidade de 5,0% que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer, ou seja:

$$P(i \geq 55\text{mm}/h) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{20} 100 = 5,0\%$$

4 – REFERÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo). **Precipitações intensas no estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE; Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos da USP, 2018. p. 149-151. Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=743%3Apluviografia&catid=43%3Ahidrometeorologia&Itemid=30. Acesso em: 10 jun. 2020.

GOOGLE EARTH. **Imagem de localização da Estação pluviográfica de Piracicaba**. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Brasil: Google, [2020]. Acesso em: 15 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatística por cidade e estado**: Piracicaba. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracicaba>. Acesso em: 15 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatística por cidade e estado**: Piracicaba. Brasília: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracicaba>. Acesso em: 15 jun. 2020.

O projeto Atlas Pluviométrico é uma iniciativa dentro do Programa de Gestão de Riscos e de Desastres que tem por objetivo reunir, consolidar e organizar as informações sobre chuvas obtidas na operação da rede hidrometeorológica nacional. Dentre os vários objetivos do projeto Atlas Pluviométrico, destaca-se a definição das relações intensidade-duração-frequência (IDF). As relações IDF são importantíssimas na definição das intensidades de precipitação associadas a uma frequência de ocorrência, as quais serão utilizadas no dimensionamento de diversas estruturas de drenagem pluvial ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Também podem ser utilizadas de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de precipitação ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário.



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

