

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS
DE MASSA E INUNDAÇÃO

Equações Intensidade-Duração-Frequência

Município: Jacareí

Estação Pluviográfica: Jacareí

Código ANA: 02345024

Código DAEE: E2-031

 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

**PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE**

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÃO**

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

**EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA
(Desagregação de Precipitações Diárias)**

Município: Jacareí - SP

**Estação Pluviométrica: Jacareí,
Códigos 02345024 (ANA) e E2-031 (DAEE)**

**SALVADOR
2017**

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL

LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÃO

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA
(Desagregação de Precipitações Diárias)

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

Copyright © 2017 CPRM – Superintendência Regional de Salvador
Avenida Ulysses Guimarães 2862 – Centro Administrativo da Bahia
Salvador - BA - 41.213-000
Telefone: 0(xx)(71) 2101-7300
Fax: 0(xx)(71) 3371-4005
<http://www.cprm.gov.br>

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência (Desagregação de Precipitações Diárias). Município: Jacareí/SP. Estação Pluviométrica: Jacareí, Códigos 02345024 (ANA) e E2-031 (DAEE). Osvalcílio Mercês Furtunato; Karine Pickbrenner; Eber José de Andrade Pinto. - Salvador, BA: CPRM, 2017.

12 p.; anexos (Série Atlas Pluviométrico do Brasil)

1. Hidrologia 2. Pluviometria 3. Equações IDF 4. I - Título II - FURTUNATO, O. M.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A.

CDU : 556.51

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil e
É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Fernando Bezerra Coelho Filho

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Paulo Pedrosa

**SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Vicente Humberto Lobo Cruz

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Otto Bittencourt Netto

Vice-Presidente

Eduardo Jorge Ledsham

Conselheiros

Cassio Roberto da Silva

Eduardo Carvalho Nepomuceno Alencar

Paulo Cesar Abrão

Telton Elber Correa

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Eduardo Jorge Ledsham

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Carlos Garcia Ferreira

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Administração e Finanças (Interino)

Juliano de Souza Oliveira

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SALVADOR

Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza
Superintendente

Miguel Anderson Santos Cidreira
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Valter Rodrigues Santos Sobrinho
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marco Antônio Advíncula e Silva
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Maria da Conceição Santos Gonçalves
Gerente de Administração e Finanças

PROJETO ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Departamento de Gestão Territorial

Jorge Pimentel

Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Achiles Monteiro (*In memoriam*)

Coordenação Executiva do DEHID – Atlas Pluviométrico

Eber José de Andrade Pinto

Coordenação do Projeto Cartas Municipais de Suscetibilidade

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Coordenadores Regionais do Projeto Atlas Pluviométrico

José Alexandre Moreira Farias - REFO

Karine Pickbrenner - Sureg/PA

Equipe Executora

Adriana Burin Weschenfelder-Sureg/PA

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

Betânia Rodrigues dos Santos– Sureg/GO

Danielle Cutolo - Sureg/SP

Douglas Sanches Soller – Sureg/PA

Edna Alves Balthazar - Sureg/SP

Eliamara Soares Silva– RETE

Priscila Nishihara Leo - Sureg/SP

APRESENTAÇÃO

O projeto Atlas Pluviométrico é uma ação dentro do programa de Levantamentos da Geodiversidade 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 relatório, que acompanhará a carta municipal de suscetibilidade, apresenta a equação IDF estabelecida para o município de Jacareí/SP. Na elaboração da IDF aplicou-se metodologia de desagregação, com registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica Jacareí, códigos 02345024 (ANA) e E2-031 (DAEE). Esta estação está localizada junto à sede do município de Jacareí.

1 - INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada no município de Jacareí e regiões circunvizinhas.

O município de Jacareí está localizado no estado de São Paulo, na microrregião de São José dos Campos e mesorregião Vale do Paraíba Paulista, distante cerca de 82 km da capital do Estado, fazendo fronteira com os municípios de São José dos Campos, Jambuí, Santa Branca, Guararema, Santa Isabel e Igaratá. O município de Jacareí/SP possui área de 464,272 km² (IBGE) e o distrito sede localiza-se a uma altitude aproximada de 567 metros. Apresenta uma população de 211.214 habitantes (IBGE, 2010).

A estação Jacareí, códigos 02345024 (ANA) e E2-031 (DAEE), está localizada na Latitude 23°17'00"S e Longitude 45°57'00"W. Esta estação pluviométrica encerrou suas atividades no ano de 2009, tendo sido operada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). Os dados para definição da equação IDF foram obtidos a partir dos dados diários de precipitação coletados em pluviômetro, no período de 1943 a 2002. A Figura 01 apresenta a localização do município e da estação.



Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviométrica. (Fontes: Wikipédia e Google, 2017)

2 - EQUAÇÃO

A metodologia para definição da equação por desagregação das precipitações diárias está descrita em detalhes em Pinto (2013). Na definição da equação Intensidade-Duração-Frequência da estação Jacareí, códigos 02345024 (ANA) e E2-031 (DAEE), foi utilizada a série de precipitações diárias máximas por ano hidrológico (01/Out a 30/Set), apresentada no Anexo I. A distribuição de frequência ajustada aos dados diários foi a Exponencial, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos-L.

A desagregação dos quantis diários em outras durações foi efetuada com as relações entre alturas de chuvas de diferentes durações obtidas com as relações IDF estabelecidas por Nascimento *et al.* (2013) para o município de Guararema. As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II.

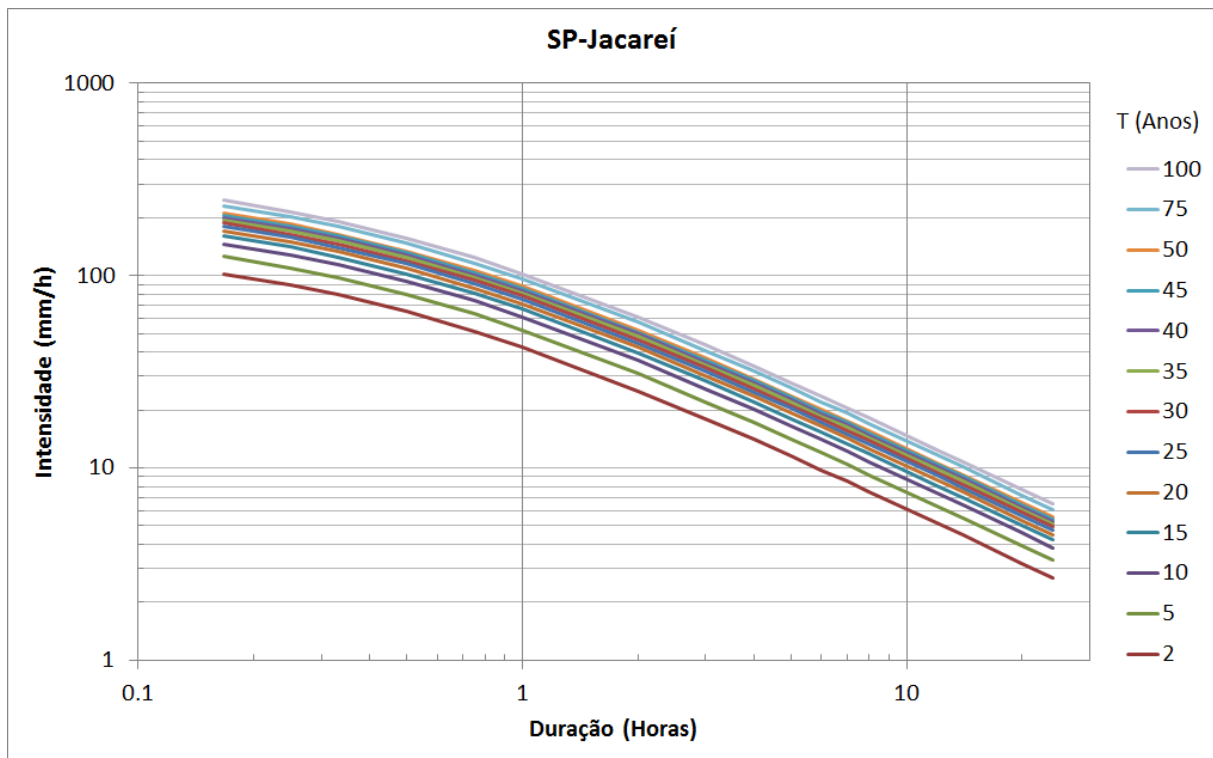


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (01)$$

Onde:

i é a intensidade da chuva (mm/h)

T é o tempo de retorno (anos)

t é a duração da precipitação (minutos)

a, b, c, d são parâmetros da equação

No caso de Jacareí os parâmetros da equação são os seguintes:

$$10\text{min} \leq t \leq 24\text{h}$$

$$a = 2594,3; b = 0,2255; c = 23,7; d = 0,9644$$

$$i = \frac{2594,3T^{0,2255}}{(t+23,7)^{0,9644}} \quad (02)$$

As equações acima são válidas para tempos de retorno de 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, <i>T</i> (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
10 Minutos	102,0	125,4	146,6	160,7	171,5	180,3	187,9	200,5	210,8	219,7	231,0	240,7	246,5
15 Minutos	89,3	109,8	128,3	140,6	150,0	157,8	164,4	175,4	184,5	192,2	202,1	210,6	215,7
20 Minutos	79,4	97,6	114,1	125,1	133,5	140,3	146,2	156,0	164,1	171,0	179,8	187,3	191,8
30 Minutos	65,1	80,0	93,6	102,5	109,4	115,0	119,9	127,9	134,5	140,2	147,4	153,6	157,3
45 Minutos	51,3	63,1	73,8	80,8	86,3	90,7	94,5	100,9	106,1	110,5	116,2	121,1	124,0
1 HORA	42,4	52,2	61,0	66,8	71,3	75,0	78,1	83,4	87,7	91,4	96,1	100,1	102,5
2 HORAS	25,2	31,0	36,2	39,7	42,3	44,5	46,4	49,5	52,1	54,2	57,0	59,4	60,9
3 HORAS	18,0	22,1	25,9	28,3	30,2	31,8	33,1	35,4	37,2	38,7	40,7	42,5	43,5
4 HORAS	14,0	17,2	20,2	22,1	23,6	24,8	25,8	27,6	29,0	30,2	31,8	33,1	33,9
5 HORAS	11,5	14,2	16,5	18,1	19,3	20,3	21,2	22,6	23,8	24,8	26,1	27,2	27,8
6 HORAS	9,8	12,0	14,0	15,4	16,4	17,3	18,0	19,2	20,2	21,0	22,1	23,1	23,6
7 HORAS	8,5	10,4	12,2	13,4	14,3	15,0	15,6	16,7	17,6	18,3	19,2	20,0	20,5
8 HORAS	7,5	9,2	10,8	11,8	12,6	13,3	13,8	14,8	15,5	16,2	17,0	17,7	18,2
12 HORAS	5,2	6,3	7,4	8,1	8,7	9,1	9,5	10,1	10,7	11,1	11,7	12,2	12,5
14 HORAS	4,5	5,5	6,4	7,0	7,5	7,9	8,2	8,8	9,2	9,6	10,1	10,5	10,8
20 HORAS	3,2	3,9	4,6	5,0	5,4	5,6	5,9	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,7
24 HORAS	2,7	3,3	3,9	4,2	4,5	4,7	4,9	5,3	5,6	5,8	6,1	6,3	6,5

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, <i>T</i> (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
10 Minutos	17,0	20,9	24,4	26,8	28,6	30,1	31,3	33,4	35,1	36,6	38,5	40,1	41,1
15 Minutos	22,3	27,4	32,1	35,2	37,5	39,4	41,1	43,9	46,1	48,1	50,5	52,7	53,9
20 Minutos	26,5	32,5	38,0	41,7	44,5	46,8	48,7	52,0	54,7	57,0	59,9	62,4	63,9
30 Minutos	32,5	40,0	46,8	51,3	54,7	57,5	59,9	64,0	67,3	70,1	73,7	76,8	78,6
45 Minutos	38,5	47,3	55,3	60,6	64,7	68,0	70,9	75,6	79,5	82,9	87,2	90,8	93,0
1 HORA	42,4	52,2	61,0	66,8	71,3	75,0	78,1	83,4	87,7	91,4	96,1	100,1	102,5
2 HORAS	50,4	61,9	72,4	79,4	84,7	89,1	92,8	99,0	104,1	108,5	114,1	118,9	121,7
3 HORAS	54,0	66,4	77,6	85,0	90,7	95,4	99,4	106,1	111,5	116,2	122,2	127,4	130,4
4 HORAS	56,1	69,0	80,7	88,4	94,3	99,2	103,3	110,3	116,0	120,8	127,1	132,4	135,6
5 HORAS	57,6	70,8	82,7	90,7	96,7	101,7	106,0	113,1	118,9	123,9	130,3	135,8	139,1
6 HORAS	58,6	72,1	84,3	92,3	98,5	103,6	108,0	115,2	121,1	126,2	132,7	138,3	141,6
7 HORAS	59,4	73,1	85,5	93,6	99,9	105,1	109,5	116,8	122,9	128,0	134,6	140,3	143,6
8 HORAS	60,1	73,9	86,4	94,7	101,0	106,3	110,7	118,1	124,2	129,5	136,1	141,8	145,3
12 HORAS	61,9	76,1	89,0	97,6	104,1	109,5	114,1	121,7	128,0	133,4	140,2	146,1	149,6
14 HORAS	62,5	76,9	89,9	98,5	105,1	110,5	115,2	122,9	129,3	134,7	141,6	147,6	151,1
20 HORAS	63,9	78,5	91,8	100,6	107,3	112,9	117,6	125,5	132,0	137,5	144,6	150,7	154,3
24 HORAS	64,5	79,3	92,7	101,5	108,4	113,9	118,7	126,7	133,2	138,8	146,0	152,1	155,8

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Suponha que em um determinado dia, em Jacareí, foi registrada uma Chuva de 45 mm com duração de 12 minutos, a qual gerou vários problemas no sistema de drenagem pluvial da cidade. Qual é o tempo de retorno dessa precipitação?

Resp: Inicialmente, para se calcular o tempo de retorno será necessária a inversão da equação 01. Dessa forma temos:

$$T = \left[\frac{i(t+c)^d}{a} \right]^{1/b} \quad (03)$$

A intensidade da chuva registrada é a altura da chuva dividida pela duração, ou seja, 45 mm dividido por 0,2 h é igual a 225 mm/h, Substituindo os valores na equação 03 temos:

$$T = \left[\frac{225(12 + 23,7)^{0,9644}}{2594,3} \right]^{1/0,2255} = 85,4 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 85,4 anos corresponde a uma probabilidade de que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer de 1,17%, ou

$$P(i \geq 225 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{85,4} 100 = 1,17\%$$

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Acesso em agosto de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=352440&search=sao-paulo|jacarei>. Acesso em agosto de 2017.

NASCIMENTO, J. R. S.; FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. A. *Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência*: Município Guararema, Estação Pluviográfica Parateí, Códigos 02346018 (ANA) e E3-054R (DAEE). Teresina, PI: CPRM, 2013. 10p. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação.

PINTO, E. J. A. *Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico*. CPRM. Belo Horizonte. Mar., 2013.

WIKIPEDIA, 2013. Ficheiro – São Paulo - Município de Jacareí. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Jacareí>. Acesso em: agosto de 2017.

ANEXO I

Série de Dados Utilizados – Altura de Chuva diária (mm)

Máximo por Ano Hidrológico (01/Out a 30/Set)

AI	AF	Data	Precipitação Máxima Diária (mm)	AI	AF	Data	Precipitação Máxima Diária (mm)
1943	1944	17/12/1943	92,9	1974	1975	14/01/1975	70,6
1944	1945	27/03/1945	79,1	1975	1976	13/12/1975	78,4
1946	1947	18/12/1946	82,2	1976	1977	07/01/1977	123,5
1947	1948	26/11/1947	78,3	1977	1978	05/02/1978	92,4
1949	1950	11/02/1950	56,4	1978	1979	12/11/1978	45,5
1950	1951	15/02/1951	70,9	1979	1980	17/02/1980	54,8
1951	1952	25/02/1952	45,6	1980	1981	11/11/1980	56,6
1952	1953	22/01/1953	59,2	1981	1982	02/01/1982	69,4
1953	1954	18/02/1954	49,8	1982	1983	15/11/1982	67,0
1954	1955	27/08/1955	44,8	1983	1984	04/04/1984	43,7
1955	1956	01/05/1956	52,4	1984	1985	10/04/1985	58,0
1956	1957	04/09/1957	53,3	1985	1986	26/01/1986	75,8
1957	1958	05/02/1958	47,4	1986	1987	09/03/1987	86,1
1958	1959	11/01/1959	57,5	1987	1988	19/12/1987	64,5
1959	1960	15/02/1960	91,5	1988	1989	26/10/1988	60,6
1961	1962	26/01/1962	94,3	1989	1990	02/01/1990	39,1
1962	1963	17/02/1963	50,2	1990	1991	16/01/1991	142,1
1963	1964	11/11/1963	61,5	1991	1992	25/12/1991	61,9
1966	1967	26/01/1967	45,0	1992	1993	24/04/1993	53,2
1968	1969	29/05/1969	45,5	1993	1994	07/02/1994	55,2
1969	1970	16/01/1970	55,0	1996	1997	18/04/1997	55,2
1970	1971	26/12/1970	41,7	1997	1998	04/05/1998	55,8
1971	1972	12/10/1971	53,8	1998	1999	06/01/1999	62,8
1972	1973	19/11/1972	48,2	1999	2000	01/01/2000	72,0
1973	1974	04/12/1973	53,0	2001	2002	22/10/2001	50,5

ANEXO II

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Nascimento *et al.* (2013) para o município de Guararema/SP.

Relação 24h/1dia: 1,13

Relação 14h/24h	Relação 8h/24h	Relação 4h/24h	Relação 3h/24h	Relação 2h/24h	Relação 1h/24h
0,90	0,85	0,83	0,81	0,70	0,66

Relação 45 min/1h	Relação 30 min/1h	Relação 15 min/1h	Relação 10 min/1h
0,85	0,69	0,47	0,37

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÃO

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

O projeto Atlas Pluviométrico é uma ação dentro do programa de Levantamentos da Geodiversidade 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.

ENDEREÇOS

Sede

SGAN- Quadra 603 – Conjunto J – Parte A – 1º andar
Brasília – DF – CEP: 70830-030
Tel: 61 2192-8252
Fax: 61 3224-1616

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ Cep: 22290-255
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382
Fax: 21 2542-3647

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Tel: 61 3223-1059 - 21 2295-8248
Fax: 61 3323-6600 - 21 2295-5804

Departamento de Gestão Territorial

Tel: 21 2295-6147 - Fax: 21 2295-8094

Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Tel: 21 2295-5837 - 61 3223-1059
Fax: 21 2295-5947 - 61 3323-6600

Superintendência Regional de Salvador

Av. Ulysses Guimarães, 2.862 - Sussuarana
Salvador - BA - CEP: 41213-000
Tel.: 71 2101-7300 - Fax: 71 3371-4005

Assessoria de Comunicação

Tel: 61 3321-2949 - Fax: 61 3321-2949
E-mail: asscomdf@cprm.gov.br

Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0372 - Fax: 31 3878-0370
E-mail: marketing@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2295-4697 - Fax: 21 2295-0495

www.cprm.gov.br



PAC