

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: Cabreúva

Estação Pluviográfica: Fazenda Pinhal

Código ANA: 02347020

Código DAEE: E4-030

 **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: Cabreúva - SP

**Estação Pluviométrica: Fazenda Pinhal
Códigos: 02347020 (ANA) e E4-030 (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: Cabreúva/SP. Estação Pluviométrica: Fazenda Pinhal, Códigos 02347020 (ANA) e E4-030 (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

Vicente Humberto Lobo Cruz

Vice-Presidente

Eduardo Jorge Ledsham

Conselheiros

Ladice Peixoto

Eduardo Carvalho Nepomuceno Alencar

Telton Elber Correa

Janaina Gomes Pires da Silva

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Eduardo Jorge Ledsham

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Stênio Petrovich Pereira

Diretor de Geologia e Recursos Minerais (Interino)

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Nelson Victor Le Cocq D'Oliveira

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SALVADOR

Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza
Superintendente

Gustavo Carneiro da Silva
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Erison Soares Lima
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

José da Silva Amaral Santos
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Maria Da Conceição Santos Gonçalves (Interinamente)
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 memorian*)

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 Ramos dos Prazeres Campos – 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

Celina Monteiro - Sureg/BE

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 Cabreúva/SP. Na elaboração da IDF aplicou-se metodologia de desagregação, com registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica Fazenda Pinhal, códigos 02347020 (ANA) e E4-030 (DAEE), operada pela FCTH/DAEE-SP. Esta estação está localizada junto à sede do município.

1 - INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada para o município de Cabreúva/SP.

O município de Cabreúva está localizado no estado de São Paulo, na microrregião de Jundiá e mesorregião Macro Metropolitana Paulista, distante cerca de 78 km da capital do estado, fazendo fronteira com os municípios de Indaiatuba, Itupeva, Pirapora do Bom Jesus, Araçariguama, Jundiá e Itu. O município de Cabreúva/SP possui área de 260,234 km² (IBGE) e o distrito sede localiza-se a uma altitude aproximada de 640 metros. Segundo o IBGE, apresentava no ano de 2010 uma população de 41.604 habitantes.

A estação Fazenda Pinhal, códigos 02347020 (ANA) e E4-030 (DAEE), está localizada na Latitude 23°16'00"S e Longitude 47°07'00"W. Esta estação pluviométrica encontra-se em atividade desde 1964, sendo operada pela FCTH/DAEE-SP. Os dados para definição da equação IDF foram obtidos a partir dos dados diários de precipitação coletados em pluviômetro, no período de 1964 a 2003. A Figura 01 apresenta a localização do município e da estação pluviométrica.



Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviométrica. (Fontes: Wikipédia e Google, 2016)

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 Fazenda Pinhal, códigos 02347020 (ANA) e E4-030 (DAEE), foi utilizada a série de precipitações diárias máximas por ano hidrológico (outubro a setembro) 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 Martinez e Magni (1999) para o município de Itú. As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II.

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

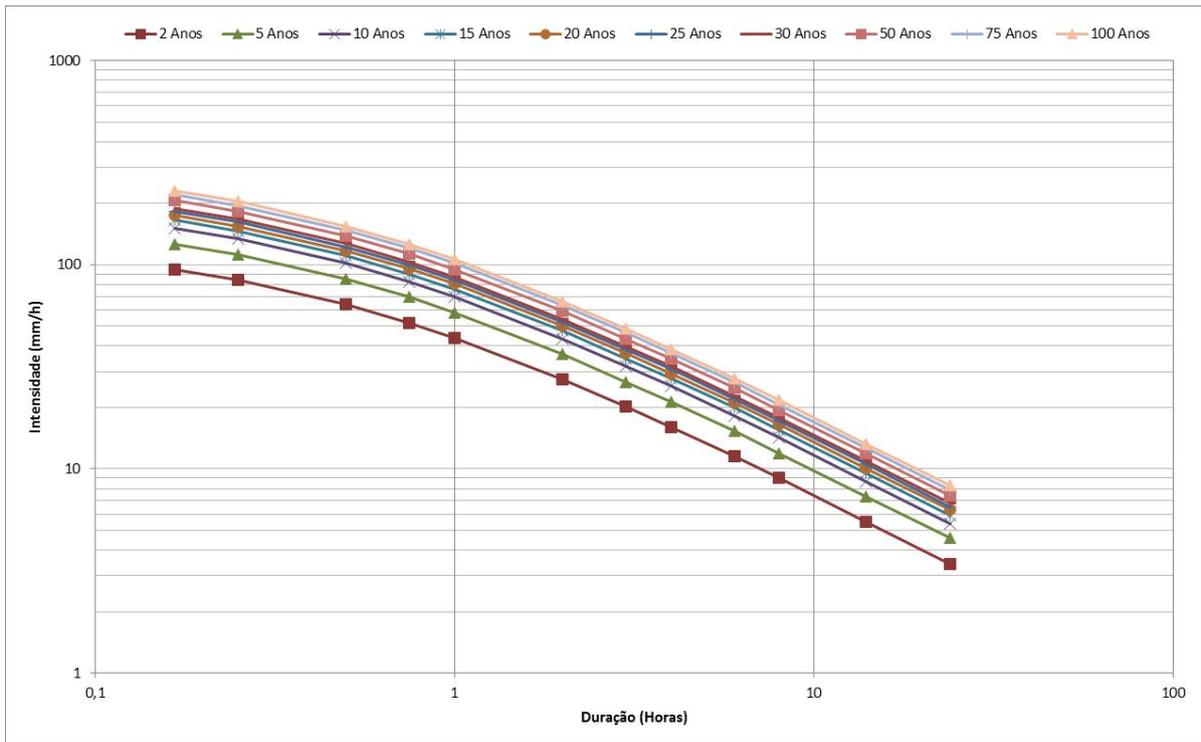


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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

$$i = \left\{ \left[(a \ln(T) + b) \cdot \ln\left(t + \left(\frac{\delta}{60}\right)\right) \right] + c \ln(T) + d \right\} / t \quad (01)$$

Onde:

i é a intensidade da chuva (mm/h)

T é o tempo de retorno (anos)

t é a duração da precipitação (horas)

a, b, c, d, δ são parâmetros da equação

No caso de Cabreúva, para durações de 10 minutos a 1 hora, os parâmetros da equação são os seguintes:

$$a = 6,9513 ; b = 14,4120 ; c = 15,3264 ; d = 31,8010 \text{ e } \delta = 5,0$$

$$i = \left\{ \left[(6,9513 \ln(T) + 14,4120) \cdot \ln\left(t + \left(\frac{5}{60}\right)\right) \right] + 15,3264 \ln(T) + 31,8010 \right\} / t \quad (02)$$

Para durações superiores a 1 hora até 24 horas, os parâmetros da equação são os seguintes:

$$a = 3,5858 ; b = 7,3895 ; c = 18,6164 ; d = 38,5942 \text{ e } \delta = -32$$

$$i = \left\{ \left[(3,5858 \ln(T) + 7,3895) \cdot \ln\left(t + \left(\frac{-32}{60}\right)\right) \right] + 18,6164 \ln(T) + 38,5942 \right\} / t \quad (03)$$

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	94,6	125,9	149,5	163,4	173,2	180,8	187,0	196,9	204,5	210,7	218,3	224,5	228,1
15 Minutos	85,2	113,4	134,7	147,2	156,0	162,9	168,5	177,3	184,2	189,8	196,7	202,3	205,5
20 Minutos	76,8	102,2	121,4	132,6	140,6	146,8	151,8	159,8	166,0	171,1	177,2	182,3	185,2
30 Minutos	64,1	85,3	101,4	110,8	117,4	122,6	126,8	133,5	138,7	142,9	148,1	152,3	154,7
45 Minutos	51,9	69,1	82,1	89,7	95,1	99,2	102,7	108,0	112,2	115,6	119,8	123,2	125,2
1 HORA	44,0	58,5	69,5	76,0	80,5	84,1	87,0	91,5	95,1	98,0	101,5	104,4	106,1
2 HORAS	27,6	36,8	43,7	47,8	50,7	52,9	54,7	57,6	59,8	61,6	63,9	65,7	66,7
3 HORAS	20,1	26,8	31,9	34,8	36,9	38,5	39,9	42,0	43,6	44,9	46,5	47,9	48,6
4 HORAS	15,9	21,2	25,2	27,6	29,2	30,5	31,6	33,2	34,5	35,6	36,9	37,9	38,5
5 HORAS	13,3	17,7	21,0	22,9	24,3	25,4	26,2	27,6	28,7	29,6	30,6	31,5	32,0
6 HORAS	11,4	15,2	18,0	19,7	20,9	21,8	22,5	23,7	24,6	25,4	26,3	27,1	27,5
7 HORAS	10,0	13,3	15,8	17,3	18,3	19,1	19,8	20,8	21,6	22,3	23,1	23,8	24,1
8 HORAS	8,9	11,9	14,1	15,4	16,4	17,1	17,7	18,6	19,3	19,9	20,6	21,2	21,5
12 HORAS	6,3	8,4	10,0	10,9	11,5	12,1	12,5	13,1	13,6	14,1	14,6	15,0	15,2
14 HORAS	5,5	7,3	8,7	9,5	10,1	10,6	10,9	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,3
20 HORAS	4,0	5,4	6,4	7,0	7,4	7,7	8,0	8,4	8,8	9,0	9,3	9,6	9,8
24 HORAS	3,4	4,6	5,5	6,0	6,3	6,6	6,8	7,2	7,5	7,7	8,0	8,2	8,3

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	15,8	21,0	24,9	27,2	28,9	30,1	31,2	32,8	34,1	35,1	36,4	37,4	38,0
15 Minutos	21,3	28,3	33,7	36,8	39,0	40,7	42,1	44,3	46,0	47,5	49,2	50,6	51,4
20 Minutos	25,6	34,1	40,5	44,2	46,9	48,9	50,6	53,3	55,3	57,0	59,1	60,8	61,7
30 Minutos	32,1	42,7	50,7	55,4	58,7	61,3	63,4	66,7	69,3	71,4	74,0	76,1	77,4
45 Minutos	38,9	51,8	61,5	67,2	71,3	74,4	77,0	81,0	84,2	86,7	89,9	92,4	93,9
1 HORA	44,0	58,5	69,5	76,0	80,5	84,1	87,0	91,5	95,1	98,0	101,5	104,4	106,1
2 HORAS	55,3	73,6	87,5	95,6	101,3	105,8	109,4	115,2	119,6	123,3	127,7	131,4	133,5
3 HORAS	60,4	80,4	95,6	104,4	110,7	115,6	119,6	125,9	130,8	134,7	139,6	143,6	145,9
4 HORAS	63,8	84,9	100,9	110,3	116,9	122,1	126,3	132,9	138,0	142,3	147,4	151,6	154,0
5 HORAS	66,3	88,3	104,9	114,6	121,5	126,9	131,2	138,1	143,5	147,8	153,2	157,6	160,1
6 HORAS	68,3	90,9	108,0	118,1	125,2	130,7	135,2	142,3	147,8	152,3	157,8	162,3	164,9
7 HORAS	69,9	93,1	110,7	120,9	128,2	133,9	138,5	145,8	151,4	156,0	161,7	166,3	168,9
8 HORAS	71,4	95,0	112,9	123,4	130,8	136,6	141,3	148,7	154,5	159,2	165,0	169,7	172,4
12 HORAS	75,6	100,7	119,6	130,7	138,6	144,7	149,7	157,6	163,7	168,7	174,8	179,8	182,6
14 HORAS	77,2	102,8	122,1	133,5	141,5	147,7	152,8	160,9	167,1	172,2	178,4	183,5	186,5
20 HORAS	80,8	107,6	127,9	139,8	148,2	154,7	160,1	168,5	175,0	180,3	186,9	192,2	195,3
24 HORAS	82,7	110,1	130,8	143,0	151,6	158,3	163,7	172,3	179,0	184,5	191,1	196,6	199,8

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Suponha que em um determinado dia, em Cabreúva, foi registrada uma Chuva de 43 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:

$$T = \exp \left[\frac{it - b \ln(t + (\delta/60)) - d}{a \ln(t + (\delta/60)) + c} \right] \quad (04)$$

A intensidade da chuva registrada é a altura da chuva dividida pela duração, ou seja, 43 mm dividido por 0,20 h é igual a 215 mm/h. Substituindo os valores na equação 04 temos:

$$T = \exp \left[\frac{215 \times 0,20 - 14,4120 \ln(0,20 + (5/60)) - 31,8010}{6,9513 \ln(0,20 + (5/60)) + 15,3264} \right] = 88 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 88 anos corresponde a uma probabilidade de 1,14% que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(i \geq 215 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{88} 100 = 1,14\%$$

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=350840&search=sao-paulo|cabreuva>. Acesso em dezembro de 2016.

MARTINEZ JUNIOR, F.; MAGNI, N. L. G. *Precipitações intensas no estado de São Paulo*. São Paulo: DAEE-USP, 2014. 283 p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B4t5iKkyDAByeG1zZlgzRE81b28/edit>. Acesso em novembro de 2016.

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

WIKIPEDIA, 2016. Ficheiro – São Paulo - Município de Cabreúva. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Cabreúva_\(São_Paulo\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Cabreúva_(São_Paulo)). Acesso em: dezembro de 2016.

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)
1964	1965	20/11/1964	64,6
1965	1966	07/03/1966	98,8
1966	1967	23/12/1966	54,3
1967	1968	13/01/1968	66,4
1968	1969	08/02/1969	49,5
1969	1970	10/03/1970	78,3
1970	1971	02/01/1971	53,8
1971	1972	23/01/1972	75,6
1972	1973	23/01/1973	76,2
1973	1974	14/03/1974	81,4
1974	1975	22/11/1974	141,7
1975	1976	30/11/1975	93,5
1976	1977	19/01/1977	69,7
1977	1978	20/12/1977	85,8
1978	1979	27/12/1978	108,5
1979	1980	16/12/1979	124,9
1980	1981	15/01/1981	67,7
1981	1982	06/02/1982	85,4
1982	1983	02/02/1983	95,7
1983	1984	22/10/1983	43,3
1984	1985	08/01/1985	73,0
1985	1986	22/01/1986	67,2
1986	1987	10/03/1987	88,1
1987	1988	30/05/1988	55,4
1988	1989	25/12/1988	81,5
1989	1990	03/01/1990	64,7
1990	1991	13/12/1990	128,1
1991	1992	16/12/1991	89,5
1992	1993	31/05/1993	74,0
1993	1994	09/01/1994	89,3
1994	1995	16/11/1994	91,5
1995	1996	05/02/1996	100,4
1997	1998	08/01/1998	58,0
1999	2000	29/08/2000	65,0
2000	2001	29/01/2001	59,6
2001	2002	25/03/2002	128,3
2002	2003	28/01/2003	57,6

ANEXO II

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Martinez e Magni (1999) para o município de Itú/SP.

Relação 24h/1dia: 1,13

Relação 14h/24h	Relação 8h/14h	Relação 6h/8h	Relação 4h/6h	Relação 3h/4h	Relação 2h/3h	Relação 1h/2h
0,94	0,93	0,96	0,93	0,94	0,91	0,80

Relação 45 min/60 min	Relação 30 min/45 min	Relação 15 min/30 min	Relação 10 min/15 min
0,89	0,82	0,66	0,75

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