

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: Apiaí

Estação Pluviométrica: Apiaí

Código ANA: 02448013

Código DAEE-SP: F5-019

 **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: Apiaí - SP

**Estação Pluviométrica: Apiaí
Códigos: 02448013 (ANA) e F5-019 (DAEE)**

**GOIÂNIA
2016**

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL

LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

CARTAS MUNICIPAIS DE SUSCETIBILIDADE
A MOVIMENTOS 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 de Goiânia

Copyright @ 2016 CPRM - Superintendência Regional de Goiânia
Rua 148, 485 – Setor Marista
Goiânia - GO - 74.170-110
Telefone: (62) 3240-1100
Fax: (62) 3240-1417
<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: Apiaí/SP. Estação Pluviométrica: Apiaí, Códigos 02448013 (ANA) e F5-019 (DAEE). Albert Teixeira Cardoso, Karine Pickbrenner e Eber José de Andrade Pinto – Goiânia: CPRM, 2016.

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

1. Hidrologia 2. Pluviometria 3. Equações IDF 4. I - Título II – CARDOSO, A. T.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A.

CDU : 556.51

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

Fernando Bezerra Coelho Filho

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Paulo Pedrosa

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E

TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Carlos Nogueira da Costa Júnior

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

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Carlos Nogueira da Costa Junior

Vice-Presidente

Manoel Barreto da Rocha Neto

Conselheiros

Ladice Peixoto

Eduardo Carvalho Nepomuceno Alencar

Telton Elber Correa

Janaina Gomes Pires da Silva

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Manoel Barreto da Rocha Neto

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Stênio Petrovich Pereira

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Roberto Ventura Santos

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Nelson Victor Le Cocq D'Oliveira

SUPERINTENDÊNCIA DE GOIÂNIA

Luiz Fernando Magalhães
Superintendente

Cíntia de Lima Vilas Boas
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Luciana Felício Pereira
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Sheila Soraya Alves Knust
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Marcelo Henrique da Silva Rosa
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

Marlon Colombo Hoelzel

Coordenadores Regionais do Projeto Atlas Pluviométrico

José Alexandre Moreira Farias-REFO

Karine Pickbrenner-Sureg/PA

Equipe Executora

Adriana Burin Weschenfelder - Sureg/PA

Albert Teixeira Cardoso – Sureg/GO

Caluan Rodrigues Capozzoli – Sureg/ SP

Catharina Ramos dos Prazeres Campos – Sureg/BE

Jean Ricardo da Silva do Nascimento - RETE

Luana Késsia Lucas Alves Martins – Sureg/BH

Osvalcélio Mercês Furtunato - Sureg/AS

Sistema de Informações Geográficas e Mapa

Ivete Souza do Nascimento- Sureg/BH

Apoio Técnico

Augusto Cezar Gessi Caneppele – Sureg/PA

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 Apiaí/SP onde foram utilizados os registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica Apiaí, códigos 02448013 (ANA) e F5-019 (DAEE).

1 – INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada no município de Apiaí/SP.

O município de Apiaí está localizado na região sul do estado de São Paulo, na sub-bacia do Rio Ribeirão do Iguapé. Apiaí faz fronteira com os municípios de Itaóca, Ribeira, Barra do Chapéu, Bom Sucesso de Itararé, Nova Campina, Ribeirão Branco, Guapiara e Iporanga. O município possui uma área de 974.332 km² (IBGE, 2010) e o distrito sede localiza-se a uma altitude aproximada de 800 metros do nível do mar. A população de Apiaí, segundo IBGE (2010), é de 25.191 habitantes.

A estação Apiaí, códigos 02448013 (ANA) e F5-019 (DAEE), está localizada na Latitude 24°31'00"S e Longitude 045°51'00"O. A estação pluviométrica encontra-se em atividade desde 1960, sendo operada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica- DAEE. A Figura 01 apresenta a localização do município e da estação.

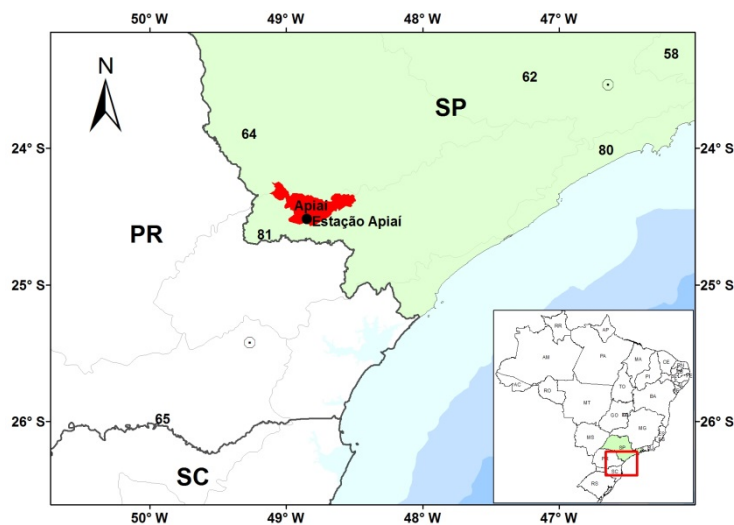


Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviométrica.

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 Apiaí, códigos 02448013(ANA) e F5-019 (DAEE), foi utilizada a série de precipitações diárias máximas por ano hidrológico apresentada no Anexo I. A distribuição de frequência ajustada aos dados diários foi a Gumbel, 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 de IDF estabelecidas por Martinez e Magni (1999) para o município de Itararé/SP. As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II. A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

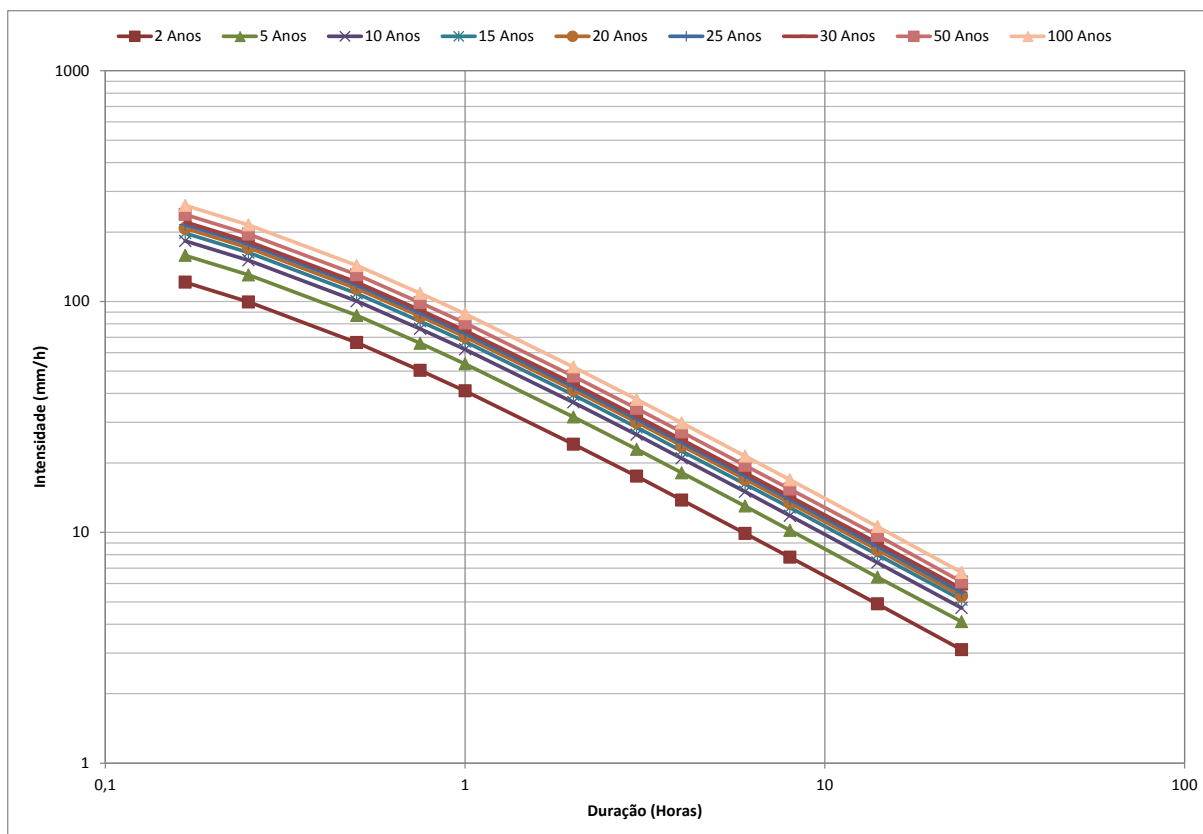


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-freqüência

As equações adotadas para representar a família de curvas da Figura 02 são do tipo:

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

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 são parâmetros da equação

No caso da estação de Apiaí, os parâmetros da equação são os seguintes:

$$5 \text{ min} \leq t \leq 1 \text{ h}$$

$$a = 3,3788; b = 9,7022; c = 11,9081; d = 34,2535; \delta = 0$$

$$i = \{[(3,3788 \ln(T) + 9,7022) \cdot \ln(t + (0 / 60))] + 11,9081 \ln(T) + 34,2535\} / t \quad (02)$$

$$1 \text{ h} < t \leq 24 \text{ h}$$

$$a = 3,1512; b = 9,0922; c = 11,5340; d = 33,2082; \delta = 7,6$$

$$i = \{[(3,1512 \ln(T) + 9,0922) \cdot \ln(t + (7,6 / 60))] + 11,5340 \ln(T) + 33,2082\} / t \quad (03)$$

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 (anos)											
	2	5	10	15	20	25	40	50	60	75	90	100
10 Minutos	125,6	157,7	182,1	196,3	206,4	214,3	230,8	238,6	245,0	252,9	259,3	263,0
15 Minutos	103,2	129,7	149,7	161,5	169,8	176,2	189,8	196,3	201,5	208,0	213,2	216,3
20 Minutos	87,8	110,4	127,4	137,4	144,4	149,9	161,5	167,0	171,5	176,9	181,4	184,0
30 Minutos	68,3	85,8	99,1	106,9	112,4	116,6	125,6	129,9	133,4	137,7	141,1	143,2
45 Minutos	52,1	65,4	75,5	81,4	85,6	88,9	95,7	99,0	101,7	104,9	107,6	109,1
1 Horas	42,5	53,5	61,7	66,5	70,0	72,6	78,2	80,9	83,1	85,7	87,9	89,1
2 Horas	24,9	31,2	36,1	38,9	40,9	42,4	45,7	47,2	48,5	50,1	51,3	52,1
3 Horas	18,0	22,6	26,1	28,2	29,6	30,8	33,1	34,2	35,2	36,3	37,2	37,7
4 Horas	14,3	18,0	20,7	22,4	23,5	24,4	26,3	27,2	27,9	28,8	29,5	29,9
5 Horas	11,9	15,0	17,3	18,7	19,6	20,4	21,9	22,7	23,3	24,0	24,6	25,0
6 Horas	10,3	12,9	14,9	16,1	16,9	17,5	18,9	19,5	20,1	20,7	21,2	21,5
7 Horas	9,0	11,4	13,1	14,2	14,9	15,4	16,6	17,2	17,7	18,2	18,7	19,0
8 Horas	8,1	10,2	11,8	12,7	13,3	13,8	14,9	15,4	15,8	16,3	16,7	17,0
12 Horas	5,8	7,3	8,4	9,0	9,5	9,9	10,6	11,0	11,3	11,6	11,9	12,1
14 Horas	5,1	6,4	7,4	7,9	8,3	8,7	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,6
20 Horas	3,8	4,7	5,4	5,9	6,2	6,4	6,9	7,1	7,3	7,6	7,7	7,9
24 Horas	3,2	4,0	4,7	5,0	5,3	5,5	5,9	6,1	6,3	6,5	6,6	6,7

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

Duração da Chuva	Tempo de Retorno (anos)											
	2	5	10	15	20	25	40	50	60	75	90	100
10 Minutos	20,9	26,3	30,3	32,7	34,4	35,7	38,5	39,8	40,8	42,1	43,2	43,8
15 Minutos	25,8	32,4	37,4	40,4	42,4	44,1	47,5	49,1	50,4	52,0	53,3	54,1
20 Minutos	29,3	36,8	42,5	45,8	48,1	50,0	53,8	55,7	57,2	59,0	60,5	61,3
30 Minutos	34,2	42,9	49,6	53,4	56,2	58,3	62,8	65,0	66,7	68,8	70,6	71,6
45 Minutos	39,0	49,1	56,6	61,1	64,2	66,7	71,8	74,2	76,2	78,7	80,7	81,8
1 Horas	42,5	53,5	61,7	66,5	70,0	72,6	78,2	80,9	83,1	85,7	87,9	89,1
2 Horas	49,7	62,5	72,1	77,7	81,7	84,8	91,4	94,5	97,0	100,1	102,7	104,1
3 Horas	54,1	67,9	78,4	84,5	88,9	92,3	99,4	102,7	105,5	108,9	111,6	113,2
4 Horas	57,2	71,8	82,9	89,4	94,0	97,6	105,1	108,7	111,6	115,2	118,1	119,8
5 Horas	59,6	74,9	86,5	93,3	98,1	101,8	109,6	113,3	116,4	120,1	123,1	124,9
6 Horas	61,6	77,4	89,4	96,4	101,4	105,2	113,3	117,2	120,3	124,1	127,3	129,1
7 Horas	63,3	79,6	91,9	99,1	104,2	108,1	116,4	120,4	123,6	127,6	130,8	132,7
8 Horas	64,8	81,4	94,0	101,4	106,6	110,6	119,2	123,2	126,5	130,6	133,9	135,8
12 Horas	69,3	87,1	100,6	108,4	114,0	118,3	127,5	131,8	135,3	139,6	143,2	145,2
14 Horas	71,1	89,3	103,1	111,1	116,8	121,3	130,6	135,1	138,7	143,1	146,7	148,8
20 Horas	75,1	94,3	108,8	117,4	123,4	128,1	137,9	142,6	146,5	151,1	155,0	157,2
24 Horas	77,1	96,9	111,8	120,6	126,8	131,6	141,7	146,5	150,4	155,3	159,2	161,5

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Suponha que em um determinado dia, em Apiaí, foi registrada uma chuva de 97 mm com duração de 2 horas, 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 à 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, 97 mm dividido por 2 h é igual a 48,5 mm/h. Substituindo os valores na equação 04 e considerando os coeficientes da equação 03, pois a duração da chuva foi de 2 horas, temos:

$$T = \exp \left[\frac{48,5 * 2 - 9,0922 \ln(2 + (7,6 / 60)) - 33,2082}{3,1512 \ln(2 + (7,6 / 60)) + 11,5340} \right] = 59,9 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 59,9 anos corresponde a uma probabilidade de que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer de 1,67%, ou

$$P = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{59,9} 100 \approx 1,7\%$$

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=350270>. Acesso em Junho de 2016.

MARTINEZ JUNIOR, F.; MAGNI, N. L. G. Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo. Convênio DAEE-USP. Edição Revisada. Out, 1999

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

ANEXO I

Série de Dados Utilizados – Altura de Chuva diária (mm)
Máximo por Ano Hidrológico (Janeiro/Dezembro)

Ano Inicial	Ano Final	Data	Precipitação Máximo Diária (mm)	Ano Inicial	Ano Final	Data	Precipitação Máximo Diária (mm)
1960	1961	26/12/1960	55,4	1987	1988	23/05/1988	59,1
1961	1962	03/03/1962	41,0	1988	1989	26/07/1989	73,9
1962	1963	25/01/1963	88,8	1989	1990	12/11/1989	40,5
1963	1964	27/06/1964	87,0	1990	1991	21/06/1991	56,3
1964	1965	09/12/1964	99,4	1991	1992	18/03/1992	44,4
1965	1966	08/12/1965	80,9	1992	1993	17/11/1992	72,7
1966	1967	06/03/1967	48,7	1993	1994	12/05/1994	63,9
1967	1968	16/01/1968	45,6	1994	1995	07/01/1995	107,2
1968	1969	28/02/1969	36,2	1995	1996	11/04/1996	113,6
1969	1970	23/12/1969	85,1	1996	1997	23/01/1997	69,1
1970	1971	23/02/1971	40,9	1997	1998	19/06/1998	104,8
1971	1972	04/08/1972	95,3	1998	1999	10/02/1999	53,3
1972	1973	02/12/1972	68,0	1999	2000	27/08/2000	65,2
1973	1974	14/03/1974	53,2	2000	2001	01/02/2001	40,2
1974	1975	17/07/1975	72,3	2001	2002	25/03/2002	93,5
1975	1976	28/05/1976	53,8	2002	2003	10/09/2003	72,7
1976	1977	02/01/1977	66,9	2003	2004	25/01/2004	81,0
1977	1978	05/09/1978	57,7	2004	2005	25/05/2005	88,0
1978	1979	05/11/1978	42,9	2005	2006	21/03/2006	138,7
1979	1980	24/01/1980	59,5	2006	2007	20/01/2007	63,7
1980	1981	30/11/1980	41,7	2007	2008	15/09/2008	60,3
1981	1982	08/07/1982	66,7	2008	2009	12/07/2009	115,3
1982	1983	17/01/1983	69,3	2009	2010	20/11/2009	53,5
1983	1984	30/03/1984	56,9	2010	2011	31/07/2011	84,1
1984	1985	14/12/1984	50,0	2011	2012	22/01/2012	79,7
1985	1986	21/01/1986	95,4	2012	2013	12/03/2013	66,0
1986	1987	15/06/1987	69,2	2013	2014	20/11/2013	84,1

ANEXO II

Relações entre alturas de chuvas de diferentes durações obtidas com as relações IDF estabelecidas por Martinez e Magni (1999) para o município de Itararé/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
0,92	0,91	0,95	0,93	0,95	0,92	0,85

Relação 45 min/1h	Relação 30 min/45 min	Relação 15 min/30 min	Relação 10 min/15 min
0,92	0,88	0,75	0,81

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 Goiânia

Rua 148, 485 - Setor Marista

Goiânia - GO - CEP: 74170-110

Tel.: 62 3240-1400 - Fax: 62 3240-1417

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