

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: Sumaré

Estação Pluviométrica: Sumaré

Código ANA: 02247214

Código DAEE-SP: D4-111

 **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: Sumaré

**Estação Pluviométrica: Sumaré
Código 02247214 (DAEE - D4-111)**

**BELÉM
2014**

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 Belém

Copyright @ 2014 CPRM - Superintendência Regional de Belém
Avenida Dr. Freitas, 3645 - Bairro do Marco
Belém - PA – 66095-110
Telefone: 0(xx)(91) 3182-1300
Fax: 0(xx)(91) 3182-1349
<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: Sumaré. Estação Pluviométrica: Sumaré, Código 02247214 (DAEE - D4-111). Andressa Macedo Silva de Azambuja e Eber José de Andrade Pinto – Belém: CPRM, 2014.

13p.; anexos (Série Atlas Pluviométrico do Brasil)

1. Hidrologia 2. Pluviometria 3. Equações IDF 4. I - Título II - AZAMBUJA, A.M.S. de e 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

Edison Lobão

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Márcio Pereira Zimmermann

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

Carlos Nogueira da Costa Junior

**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

Luiz Gonzaga Baião

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

Oswaldo Castanheira

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Manoel Barreto da Rocha Neto

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Thales de Queiroz Sampaio

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Roberto Ventura Santos

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Sumaré Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Eduardo Santa Helena

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELÉM

Manfredo Ximenes Ponte
Superintendente

João Batista Marcelo de Lima
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Lucia Travassos da Rosa Costa
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Tomaz de Aquino M Lobato
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Moacir Ribeiro Furtado
Gerente de Administração e Finanças

PROJETO ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Departamento de Gestão Territorial

Cássio Roberto da Silva

Divisão de Hidrologia Aplicada

Achiles Eduardo Guerra Castro Monteiro

Coordenação Executiva do DEHID – Atlas Pluviométrico

Eber José de Andrade Pinto

Coordenação do Projeto Cartas Municipais de Suscetibilidade

Sandra Fernandes da Silva

Coordenadores Regionais do Projeto Atlas Pluviométrico

Andressa Macêdo Silva de Azambuja - Sureg/BE

José Alexandre Moreira Farias - REFO

Karine Pickbrenner - Sureg/PA

Equipe Executora

Adriana Burin Weschenfelder - Sureg/PA

Jean Ricardo da Silva do Nascimento - RETE

Margarida Rgueira da Costa - Sureg/RE

Osvalcélio Mercês Furtunato - Sureg/SA

Vanesca Sartorelli Medeiros - Sureg/SP

Sistema de Informações Geográficas e Mapa

Ivete Souza de Almeida-Sureg/BH

Apoio Técnico

Amanda Elizalde Martins – Sureg/PA

Debora Gurgel - REFO

Eliane Cristina Godoy Moreira-Sureg/SP

Jennifer Laís Assano -Sureg/SP

João Paulo Vicente Pereira-Sureg/SP

Fabiana Ferreira Cordeiro-Sureg/SP

Luisa Collischonn – Sureg/PA

Murilo Raphael Dias Cardoso -Sureg/GO

Paulo Guilherme de Oliveira Sousa – RETE

Estagiários de Hidrologia

Caroline Centeno – Sureg/PA

Cassio Pereira – Sureg/PA

Cláudio Dálio Albuquerque Júnior-Sureg/MA

Diovana Daus Borges Fortes -Sureg/PA

Fernanda Ribeiro Gonçalves Sotero de Menezes -Sureg/BH

Fernando Lourenço de Souza Junior – Sureg/RE

Ivo Cleiton Costa Bonfim -REFO

João Paulo Lopes Chaves Miranda-Sureg/BH

José Érico Nascimento Barros -Sureg/RE

Liomar Santos da Hora-Sureg/SA

Lemia Ribeiro-Sureg/SA

Márcia Faermann -Sureg/PA

Mariana Carolina Lima de Oliveira-Sureg/BH

Mayara Luiza de Menezes Oliveira-Sureg/MA

Nayara de Lima Oliveira-Sureg/GO

Pedro da Silva Junqueira-Sureg/PA

Rosangela de Castro – Sureg/SP

Taciana dos Santos Lima–RETE

Thais Danielle Oliveira Gasparin – Sureg/SP

Vanessa Romero-Sureg/GO

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 Sumaré onde foram utilizados os registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica de Sumaré, código 02247214 e código DAEE D4-111.

1 - INTRODUÇÃO

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

O município de Sumaré está localizado no estado de São Paulo, na Região Metropolitana de Campinas, a 102 km de São Paulo, capital do estado. O município possui área de 153,502 km² e o distrito sede localiza-se a uma altitude aproximada de 589 m. Sua população, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 241.311 habitantes.

A estação de Sumaré, código 02247214, código DAEE D4-111, está localizada na Latitude 22°50'57,12"S e Longitude 47°15'W, a 4km do distrito sede. Os dados para definição da equação IDF foram obtidos no Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo, a partir do site do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. A Figura 01 apresenta a localização do município e da estação.

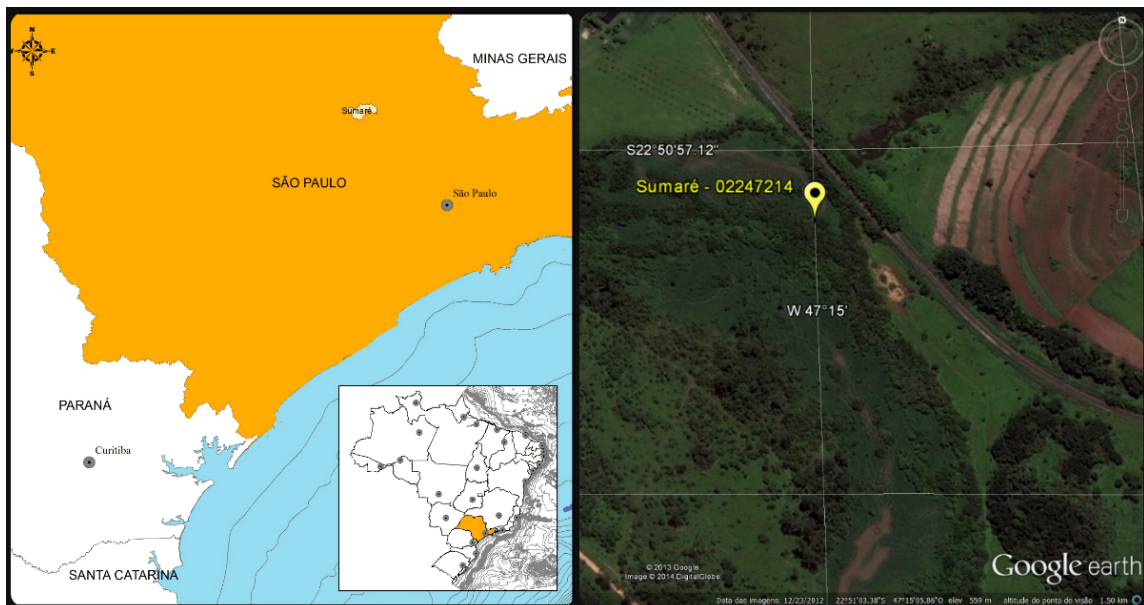


Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviométrica.
(Fonte: Google *apud* SNIRH, 2014)

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 Sumaré, código 02247214, 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 GEV, 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 Vieira (1981) *apud* Martinez Junior e Magni (2013), para a estação Campinas/IAC, localizada no município de Campinas, distante 20 km da estação de Sumaré. As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II.

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

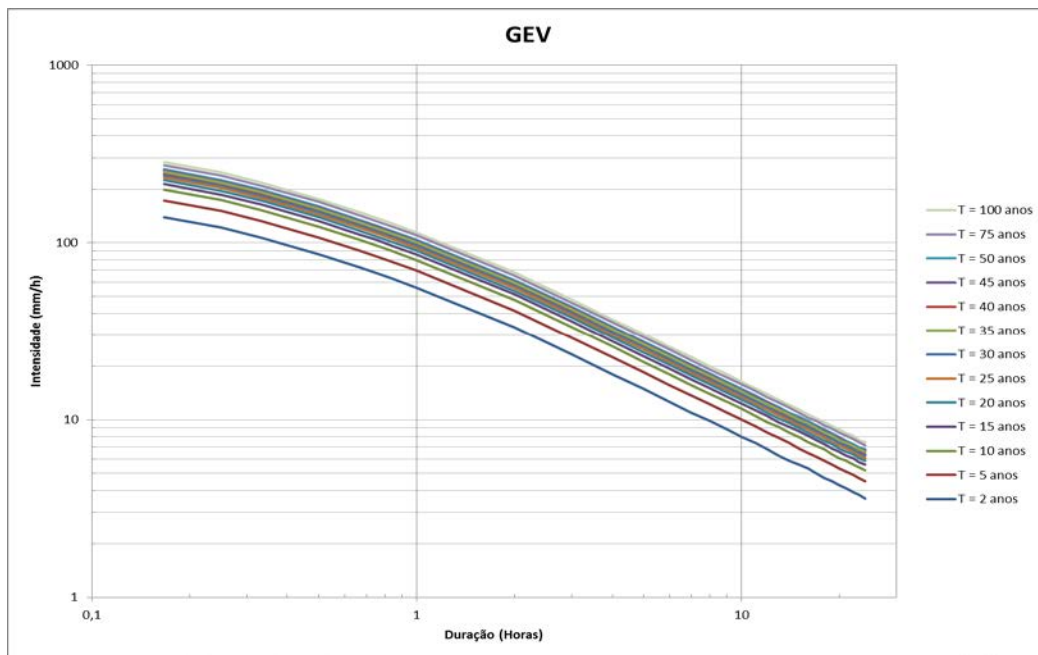


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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 Sumaré, para durações de 10 minutos a 1 hora, os parâmetros da equação são os seguintes:

$$a = 5,0989; b = 15,6183; c = 14,8477; d = 45,3913 \text{ e } \delta = 1$$

$$i = \left\{ \left[(5,0989 \ln(T) + 15,6183) \cdot \ln\left(t + \left(\frac{1}{60}\right)\right) \right] + 14,8477 \ln(T) + 45,3913 \right\} / t \quad (02)$$

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

$$a = 2,2472; b = 6,8769; c = 16,2080; d = 49,4542 \text{ e } \delta = 0$$

$$i = \left\{ \left[(2,2472 \ln(T) + 6,8769) \cdot \ln(t) \right] + 16,2080 \ln(T) + 49,4542 \right\} / t \quad (03)$$

As equações acima são válidas para 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, <i>T</i> (anos)											
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100
10 Minutos	139,1	173,2	199,0	214,1	224,8	233,1	239,9	250,5	258,8	265,6	273,9	284,6
15 Minutos	121,5	151,2	173,7	186,8	196,2	203,4	209,3	218,6	225,9	231,8	239,0	248,3
20 Minutos	106,7	132,8	152,6	164,1	172,3	178,7	183,9	192,1	198,4	203,6	210,0	218,2
30 Minutos	86,1	107,1	123,0	132,3	138,9	144,1	148,3	154,9	160,0	164,2	169,3	175,9
45 Minutos	67,5	83,9	96,4	103,7	108,9	112,9	116,2	121,4	125,4	128,6	132,7	137,8
1 Hora	56,0	69,7	80,0	86,1	90,4	93,7	96,4	100,7	104,1	106,8	110,1	114,4
2 Horas	33,3	41,4	47,6	51,2	53,7	55,7	57,3	59,9	61,9	63,5	65,5	68,0
3 Horas	23,3	29,0	33,3	35,9	37,7	39,0	40,2	42,0	43,4	44,5	45,9	47,7
4 Horas	18,1	22,5	25,9	27,8	29,2	30,3	31,2	32,6	33,6	34,5	35,6	37,0
5 Horas	14,9	18,5	21,2	22,8	24,0	24,9	25,6	26,7	27,6	28,3	29,2	30,4
6 Horas	12,6	15,7	18,1	19,4	20,4	21,2	21,8	22,7	23,5	24,1	24,9	25,8
7 Horas	11,0	13,7	15,7	16,9	17,8	18,4	19,0	19,8	20,5	21,0	21,7	22,5
8 Horas	9,8	12,2	14,0	15,0	15,8	16,4	16,8	17,6	18,2	18,7	19,2	20,0
12 Horas	6,8	8,5	9,7	10,5	11,0	11,4	11,7	12,2	12,6	13,0	13,4	13,9
14 Horas	5,9	7,4	8,5	9,1	9,6	9,9	10,2	10,7	11,0	11,3	11,7	12,1
20 Horas	4,3	5,3	6,1	6,6	6,9	7,2	7,4	7,7	8,0	8,2	8,5	8,8
24 Horas	3,6	4,5	5,2	5,6	5,9	6,1	6,3	6,6	6,8	7,0	7,2	7,5

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	100
10 Minutos	23,2	28,9	33,2	35,7	37,5	38,8	40,0	41,8	43,1	44,3	45,7	47,4
15 Minutos	30,4	37,8	43,4	46,7	49,0	50,8	52,3	54,7	56,5	57,9	59,8	62,1
20 Minutos	35,6	44,3	50,9	54,7	57,4	59,6	61,3	64,0	66,1	67,9	70,0	72,7
30 Minutos	43,0	53,6	61,5	66,2	69,5	72,0	74,1	77,4	80,0	82,1	84,6	87,9
45 Minutos	50,6	63,0	72,3	77,8	81,7	84,7	87,1	91,0	94,0	96,5	99,5	103,4
1 Hora	56,0	69,7	80,0	86,1	90,4	93,7	96,4	100,7	104,1	106,8	110,1	114,4
2 Horas	66,5	82,8	95,1	102,3	107,4	111,4	114,6	119,8	123,7	127,0	130,9	136,0
3 Horas	70,0	87,1	100,0	107,6	113,0	117,1	120,5	125,9	130,1	133,5	137,6	143,0
4 Horas	72,4	90,1	103,5	111,3	116,9	121,2	124,7	130,3	134,6	138,1	142,4	148,0
5 Horas	74,3	92,4	106,2	114,2	119,9	124,3	127,9	133,7	138,1	141,7	146,1	151,8
6 Horas	75,8	94,3	108,4	116,6	122,4	126,9	130,6	136,4	140,9	144,6	149,1	155,0
7 Horas	77,1	96,0	110,2	118,6	124,5	129,1	132,8	138,8	143,3	147,1	151,7	157,6
8 Horas	78,2	97,4	111,8	120,3	126,3	131,0	134,8	140,8	145,4	149,2	153,9	159,9
12 Horas	81,6	101,6	116,7	125,6	131,8	136,7	140,7	146,9	151,8	155,8	160,6	166,9
14 Horas	82,9	103,2	118,6	127,6	133,9	138,9	142,9	149,3	154,2	158,2	163,2	169,6
20 Horas	86,0	107,0	122,9	132,2	138,8	143,9	148,1	154,7	159,8	164,0	169,1	175,7
24 Horas	87,5	108,9	125,1	134,5	141,3	146,5	150,7	157,4	162,7	166,9	172,1	178,8

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Suponha que em um determinado dia, em Sumaré, foi registrada uma Chuva de 35 mm com duração de 10 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, 35 mm dividido por 0,17 h é igual a 210 mm/h. Substituindo os valores na equação 04 temos:

$$T = \exp \left[\frac{210 \cdot 0,17 - 15,6183 \ln(0,17 + (1/60)) - 45,3913}{5,0989 \ln(0,17 + (1/60)) + 14,8477} \right] = 13,4 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 13,4 anos corresponde a uma probabilidade de 7,4 % que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(i \geq 210 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{13,4} 100 = 7,4\%$$

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH). **Base de dados**. Disponível em: <<http://www2.snirh.gov.br/home/>>. Acesso em: mar. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades@. **Município de Sumaré**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/CRE>>. Acesso em: mar. 2014.

MARTINEZ JUNIOR, F.; MAGNI, N. L. G. *Precipitações intensas para Campinas: estação Campinas IAC* - São Paulo: DAEE; USP, 2013.

PFAFSTETTER, Otto. **Chuvas intensas no Brasil**: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas registradas com pluviógrafos em 98 postos meteorológicos. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982. 426 p.

PINTO, E. J. A. **Metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico**. Belo Horizonte: CPRM, mar. 2013.

GOOGLE EARTH. **Estação pluviométrica de Sumaré**. Disponível em: <<http://www.google.com/earth>>. Acesso em: mar. 2014.

Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (São Paulo). Sistema Integrado de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGHR). **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?qwe=qwe>>. Acesso em: mar. de 2014.

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)
1988	1989	26/10/1988	54,9
1989	1990	19/03/1990	72,8
1990	1991	16/01/1991	118,6
1991	1992	14/11/1991	86,9
1992	1993	31/05/1993	67,1
1993	1994	06/02/1994	100,6
1994	1995	22/12/1994	97,2
1995	1996	25/11/1995	73,4
1996	1997	13/12/1996	64,9
1997	1998	15/11/1997	60,4
1998	1999	06/01/1999	113,6
2001	2002	02/10/2001	86,2
2002	2003	06/03/2003	65,4
2003	2004	01/12/2003	67,9

ANEXO II

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Vieira (1981) *apud* Martinez Junior e Magni (1999) para a estação Campinas/IAC, localizada no município de Campinas/SP.

Relação 24h/1dia: 1,14

Relação 14h/24h	Relação 8h/14h	Relação 6h/8h	Relação 4h/6h	Relação 3h/4h	Relação 2h/3h
0,96	0,95	0,97	0,95	0,96	0,94

Relação 1h/2h	Relação 45 min/1h	Relação 30 min/45 min	Relação 15 min/30 min	Relação 10 min/15 min
0,85	0,91	0,85	0,70	0,77

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 Belém

Av. Dr. Freitas, 3.645 - Marco
Belém - PA - CEP: 66095-110
Tel.: 91 3182-1300 - Fax: 91 3276-4020

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