

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: Artur Nogueira

Estação Pluviográfica: Artur Nogueira

Código ANA: 02247100

Código DAEE: D4-099

 **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: Artur Nogueira - SP

**Estação Pluviométrica: Artur Nogueira
Códigos: 02247100 (ANA) e D4-099 (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: Artur Nogueira/SP. Estação Pluviométrica: Artur Nogueira, Códigos 02247100 (ANA) e D4-099 (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

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 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

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Administração e Finanças

Nelson Victor Le Cocq D'Oliveira

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SALVADOR

Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza
Superintendente

Miguel Anderson Santos Cidreira
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Cimara Francisco Monteiro
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 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 Artur Nogueira/SP. Na elaboração da IDF aplicou-se metodologia de desagregação, com registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica Artur Nogueira, códigos 02247100 (ANA) e D4-099 (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 Artur Nogueira/SP.

O município de Artur Nogueira está localizado no estado de São Paulo, na microrregião de Mogi Mirim (Paulínia) e mesorregião de Campinas, distante cerca de 150 km da capital do estado, fazendo fronteira com os municípios de Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Limeira e Mogi-Mirim. O município de Artur Nogueira/SP possui área de 178,026 km² (IBGE, 2010) e o distrito sede localiza-se a uma altitude aproximada de 588 metros. Segundo o IBGE, apresentava no ano de 2010 uma população de 44.177 habitantes.

A estação Artur Nogueira, códigos 02247100 (ANA) e D4-099 (DAEE), está localizada na Latitude 22°34'00"S e Longitude 47°10'00"W. Esta estação pluviométrica encontra-se em atividade desde 1970, 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 1970 a 2014. 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, 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 Artur Nogueira, códigos 02247100 (ANA) e D4-099 (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 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 IDF estabelecidas por Capozzoli *et al.* (2016) para o município de Americana. As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II.

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

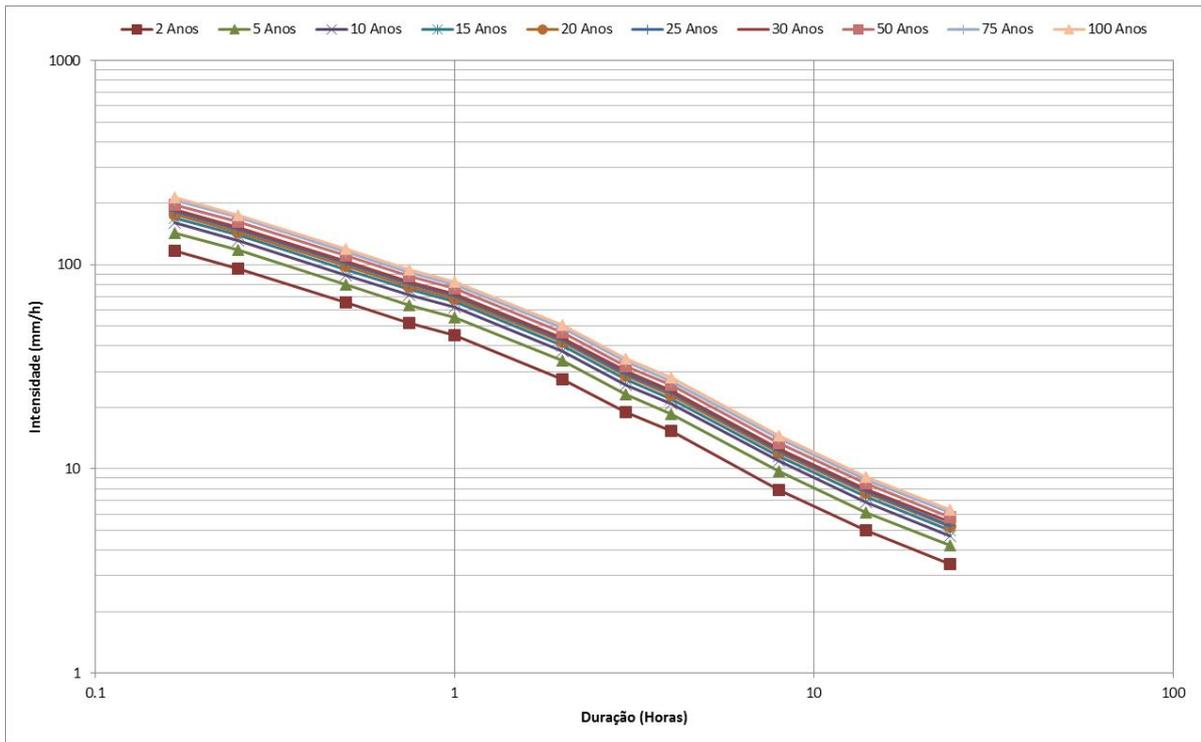


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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

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

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 Artur Nogueira os parâmetros da equação são os seguintes:

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

$$a = 1796,9; b = 0,1502; c = 14,9; d = 0,8763$$

$$i = \frac{1796,9T^{0,1502}}{(t+14,9)^{0,8763}} \quad (02)$$

As equações acima são válidas para tempos de retorno de até 100 anos e durações de 10 minutos até 24 horas. 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	119,2	136,8	151,8	161,3	168,4	174,2	179,0	186,9	193,3	198,7	205,4	211,1	214,5
15 Minutos	101,5	116,5	129,3	137,4	143,5	148,4	152,5	159,2	164,7	169,2	175,0	179,9	182,7
20 Minutos	88,7	101,7	112,9	120,0	125,3	129,6	133,2	139,1	143,8	147,8	152,8	157,1	159,6
30 Minutos	71,1	81,6	90,5	96,2	100,5	103,9	106,8	111,5	115,3	118,5	122,5	125,9	128,0
45 Minutos	55,2	63,4	70,3	74,8	78,1	80,7	83,0	86,6	89,6	92,1	95,2	97,8	99,4
1 HORA	45,4	52,1	57,8	61,5	64,2	66,4	68,2	71,2	73,6	75,7	78,3	80,4	81,7
2 HORAS	27,1	31,1	34,5	36,7	38,3	39,6	40,7	42,5	44,0	45,2	46,7	48,0	48,8
3 HORAS	19,6	22,5	25,0	26,6	27,8	28,7	29,5	30,8	31,9	32,7	33,9	34,8	35,3
4 HORAS	15,5	17,8	19,8	21,0	21,9	22,7	23,3	24,3	25,2	25,9	26,8	27,5	27,9
5 HORAS	12,9	14,8	16,4	17,5	18,2	18,9	19,4	20,2	20,9	21,5	22,2	22,9	23,2
6 HORAS	11,1	12,7	14,1	15,0	15,6	16,2	16,6	17,4	18,0	18,5	19,1	19,6	19,9
7 HORAS	9,7	11,2	12,4	13,2	13,7	14,2	14,6	15,2	15,8	16,2	16,8	17,2	17,5
8 HORAS	8,7	10,0	11,1	11,7	12,3	12,7	13,0	13,6	14,1	14,5	15,0	15,4	15,6
12 HORAS	6,1	7,0	7,8	8,3	8,7	9,0	9,2	9,6	10,0	10,2	10,6	10,9	11,0
14 HORAS	5,4	6,2	6,8	7,3	7,6	7,9	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,5	9,7
20 HORAS	4,0	4,5	5,0	5,3	5,6	5,8	5,9	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0	7,1
24 HORAS	3,4	3,9	4,3	4,6	4,8	4,9	5,1	5,3	5,5	5,6	5,8	6,0	6,1

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	19,9	22,8	25,3	26,9	28,1	29,0	29,8	31,2	32,2	33,1	34,2	35,2	35,8
15 Minutos	25,4	29,1	32,3	34,4	35,9	37,1	38,1	39,8	41,2	42,3	43,7	45,0	45,7
20 Minutos	29,6	33,9	37,6	40,0	41,8	43,2	44,4	46,4	47,9	49,3	50,9	52,4	53,2
30 Minutos	35,6	40,8	45,3	48,1	50,2	52,0	53,4	55,8	57,7	59,3	61,3	63,0	64,0
45 Minutos	41,4	47,5	52,8	56,1	58,5	60,5	62,2	65,0	67,2	69,0	71,4	73,4	74,5
1 HORA	45,4	52,1	57,8	61,5	64,2	66,4	68,2	71,2	73,6	75,7	78,3	80,4	81,7
2 HORAS	54,2	62,2	69,1	73,4	76,6	79,2	81,4	85,0	87,9	90,4	93,5	96,1	97,6
3 HORAS	58,9	67,6	75,0	79,8	83,3	86,1	88,5	92,4	95,6	98,2	101,6	104,4	106,0
4 HORAS	62,1	71,3	79,1	84,0	87,8	90,8	93,3	97,4	100,7	103,5	107,0	110,0	111,8
5 HORAS	64,5	74,0	82,1	87,3	91,2	94,3	96,9	101,2	104,6	107,5	111,2	114,3	116,1
6 HORAS	66,4	76,2	84,6	89,9	93,9	97,1	99,8	104,2	107,7	110,7	114,5	117,7	119,6
7 HORAS	68,0	78,1	86,7	92,1	96,2	99,4	102,2	106,7	110,4	113,4	117,3	120,5	122,5
8 HORAS	69,4	79,7	88,4	94,0	98,1	101,5	104,3	108,9	112,6	115,7	119,7	123,0	125,0
12 HORAS	73,7	84,5	93,8	99,7	104,1	107,6	110,6	115,5	119,5	122,8	127,0	130,5	132,6
14 HORAS	75,3	86,4	95,9	101,9	106,4	110,0	113,1	118,0	122,1	125,5	129,7	133,3	135,5
20 HORAS	79,0	90,7	100,6	107,0	111,7	115,5	118,7	123,9	128,2	131,7	136,2	140,0	142,2
24 HORAS	81,0	92,9	103,1	109,6	114,4	118,3	121,6	127,0	131,3	135,0	139,6	143,4	145,7

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Suponha que em um determinado dia, em Artur Nogueira, foi registrada uma Chuva de 39 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, 39 mm dividido por 0,2 h é igual a 195 mm/h, Substituindo os valores na equação 03 temos:

$$T = \left[\frac{195(12 + 14,9)^{0,8763}}{1796,9} \right]^{1/0,1502} = 83 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 83 anos corresponde a uma probabilidade de que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer de 1,20%, ou

$$P(i \geq 195 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{83} 100 = 1,20\%$$

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPOZZOLI, C. R.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. *Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência*: Município Americana, Estação Pluviométrica e Pluviográfica Usina Ester, Códigos 02247031 (ANA) e D4-052R (DAEE). São Paulo: CPRM, 2016. 20p. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=350380&search=sao-paulo|artur-nogueira>. Acesso em fevereiro de 2017.

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

WIKIPEDIA, 2017. Ficheiro – São Paulo - Município de Artur Nogueira. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Artur_Nogueira. Acesso em: fevereiro 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)
1970	1971	01/12/1970	65,5	1992	1993	26/11/1992	70,7
1971	1972	23/01/1972	61,0	1993	1994	20/03/1994	96,8
1972	1973	09/03/1973	56,3	1994	1995	13/01/1995	75,0
1973	1974	03/04/1974	64,3	1995	1996	17/04/1996	66,1
1974	1975	31/01/1975	78,5	1996	1997	25/05/1997	56,9
1975	1976	06/06/1976	87,4	1997	1998	14/12/1997	75,2
1976	1977	14/03/1977	52,3	1998	1999	15/01/1999	114,6
1977	1978	22/12/1977	59,0	1999	2000	01/01/2000	95,9
1978	1979	25/03/1979	56,7	2000	2001	18/12/2000	66,5
1979	1980	05/04/1980	55,2	2001	2002	02/10/2001	105,8
1980	1981	09/03/1981	63,6	2002	2003	22/01/2003	54,6
1981	1982	02/01/1982	73,4	2003	2004	01/12/2003	61,9
1982	1983	06/03/1983	98,8	2004	2005	25/05/2005	111,0
1983	1984	22/01/1984	70,2	2005	2006	30/03/2006	74,5
1984	1985	16/03/1985	54,4	2006	2007	05/12/2006	60,7
1985	1986	05/03/1986	72,3	2007	2008	08/02/2008	66,0
1986	1987	12/05/1987	86,9	2008	2009	09/09/2009	93,3
1987	1988	19/03/1988	115,5	2009	2010	26/01/2010	82,7
1988	1989	02/01/1989	89,7	2010	2011	01/02/2011	81,5
1989	1990	19/03/1990	96,9	2011	2012	16/11/2011	69,8
1990	1991	16/12/1990	74,7	2012	2013	12/03/2013	89,3
1991	1992	22/01/1992	57,5	2013	2014	06/12/2013	79,8

ANEXO II

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Capozzoli *et al.* (2016) para o município de Americana/SP.

Relação 24h/1dia: 1,13

Relação 14h/24h	Relação 8h/24h	Relação 4h/24h	Relação 3h/24h	Relação 2h/24h	Relação 1h/24h
0,85	0,77	0,74	0,69	0,67	0,55

Relação 45 min/1h	Relação 30 min/1h	Relação 15 min/1h	Relação 10 min/1h
0,86	0,72	0,53	0,43

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