

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E
RESPOSTA A DESASTRES

INFORMAÇÕES DE ALERTA DE
CHEIAS E INUNDAÇÕES

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

Equações Intensidade-Duração-Frequência

Estado: Bahia

Município: Salvador

Estação Pluviométrica: Salvador - Ondina

Código ANA: 01338007

Código INMET: 83229

 SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM



2015

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

**PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E RESPOSTA A
DESASTRES**

INFORMAÇÕES DE ALERTA DE CHEIAS E INUNDAÇÕES

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

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

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

Município: Salvador - BA

**Estação Pluviométrica: Salvador - Ondina
Códigos: 01338007 (ANA); 83229 (INMET)**

**Osvalcélcio Mercês Furtunato
Karine Pickbrenner
Eber José de Andrade Pinto**

**SALVADOR
2015**

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E RESPOSTA A DESASTRES

INFORMAÇÕES DE ALERTA DE CHEIAS E INUNDAÇÕES

CARTAS 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 © 2015 CPRM - Superintendência Regional de Salvador
Avenida Ulysses Guimarães, 2862 - Centro Administrativo da Bahia
Salvador - BA – 41.213-000
Telefone: (71) 2101-7300
Fax: (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: Salvador/BA. Estação Pluviométrica: Salvador - Ondina, Códigos 01338007 (ANA); 83229 (INMET). Osvalcílio Mercês Furtunato; Karine Pickbrenner; Eber José de Andrade Pinto. - Salvador, BA: CPRM, 2015.

12p.; 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

Carlos Eduardo de Souza Braga

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

Demetrius Ferreira e Cruz

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

Janaina Gomes Pires da Silva

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

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Eduardo Santa Helena

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SALVADOR

Teobaldo Rodrigues de Oliveira Junior
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

Renato dos Santos Andrade
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

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/SA

Sistema de Informações Geográficas e Mapa

Ivete Souza do Nascimento - Sureg/BH

Apoio Técnico

Betania 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/PA

APRESENTAÇÃO

O projeto Atlas Pluviométrico é uma ação dentro do programa de de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres 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 Salvador/BA onde foram utilizados os registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica de Salvador - Ondina, códigos 01338007 (ANA); 83229 (INMET).

1 - INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada no município de Salvador/BA.

O município de Salvador, capital do Estado da Bahia, está localizado na microrregião Salvador e mesorregião Metropolitana de Salvador, distante cerca de 1.531 km de Brasília, fazendo fronteira com os municípios de Lauro de Freitas, Simões Filho, Candeias, Madre de Deus, Salinas da Margarida, Saubara, Itaparica, Vera Cruz e São Francisco do Conde. O município de Salvador/BA possui área de 692,819 km² (IBGE, 2010) e o distrito sede localiza-se a uma altitude aproximada de 8,3 metros. Apresenta uma população de 2.675.656 habitantes (IBGE, 2010).

A estação Salvador - Ondina, códigos 01338007 (ANA); 83229 (INMET), está localizada na Latitude 13°01'00"S e Longitude 38°53'00"W. Esta estação pluviométrica continua em atividade, sendo operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados para definição da equação IDF foram obtidos a partir dos dados diários de precipitação coletados em pluviômetro convencional. A Figura 01 apresenta a localização do município.



Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviométrica. (Fontes: Wikipédia e Google, 2015)

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 Salvador - Ondina, códigos 01338007 (ANA); 83229 (INMET), 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 Pfafstetter (1982) para o município de Salvador. As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II.

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

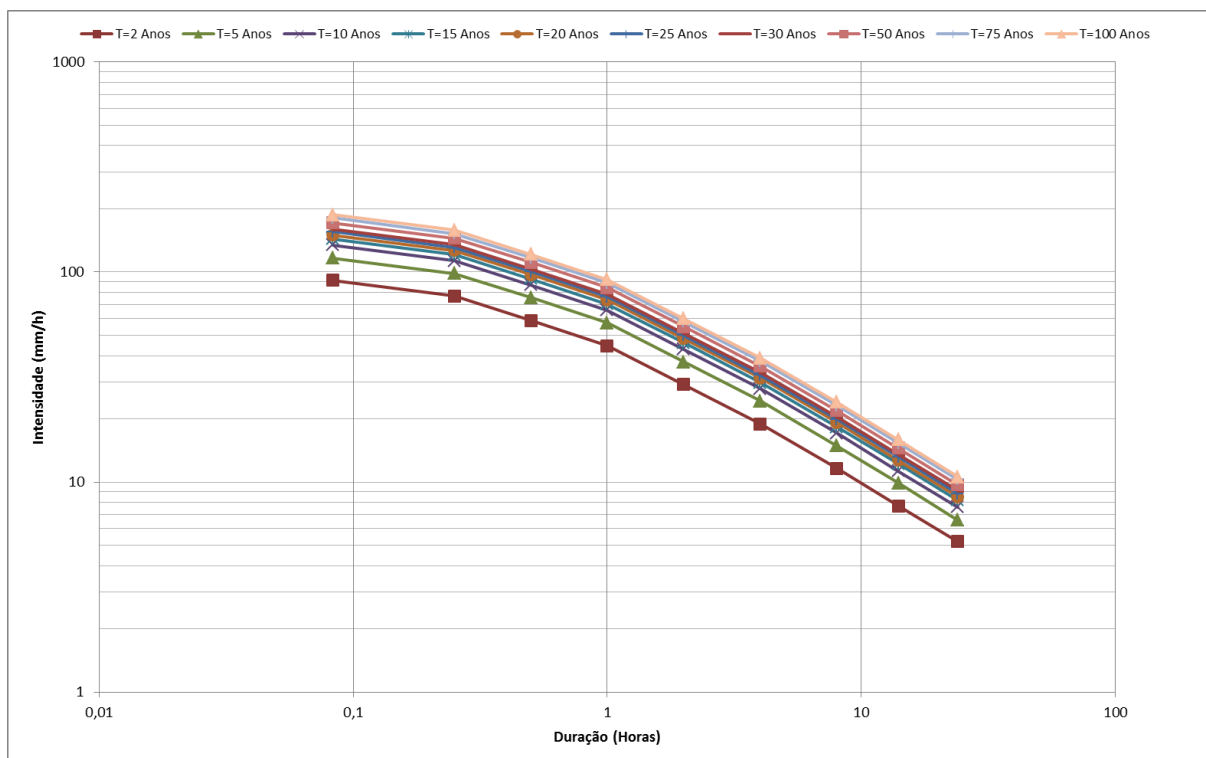


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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

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

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, δ são parâmetros da equação

No caso de Salvador, para durações de 5 minutos a 1 hora, os parâmetros da equação são os seguintes:

$$a = 7,5823 ; b = 24,201 ; c = 9,9834 ; d = 31,9 \text{ e } \delta = 16$$

$$i = \{[(7,5823 \ln(T) + 24,201) \cdot \ln(t + (16/60))] + 9,9834 \ln(T) + 31,9\} / t \quad (02)$$

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

$$a = 7,6088 ; b = 24,2654 ; c = 8,4021 ; d = 26,8675 \text{ e } \delta = 33,5$$

$$i = \{[(7,6088 \ln(T) + 24,2654) \cdot \ln(t + (33,5/60))] + 8,4021 \ln(T) + 26,8675\} / t \quad (03)$$

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	40	50	60	75	90	100
5 Minutos	94,7	117,0	133,8	143,7	150,7	156,1	167,5	172,9	177,3	182,7	187,2	189,7
10 Minutos	85,1	105,1	120,3	129,2	135,4	140,3	150,6	155,5	159,5	164,3	168,3	170,6
15 Minutos	77,5	95,7	109,5	117,6	123,3	127,7	137,1	141,5	145,2	149,6	153,2	155,3
20 Minutos	71,3	88,1	100,8	108,3	113,5	117,6	126,2	130,3	133,7	137,8	141,1	143,0
30 Minutos	62,0	76,6	87,6	94,1	98,7	102,2	109,7	113,3	116,2	119,7	122,7	124,3
45 Minutos	52,4	64,8	74,1	79,6	83,4	86,5	92,8	95,8	98,3	101,3	103,7	105,1
1 HORA	45,8	56,6	64,7	69,5	72,9	75,5	81,1	83,7	85,8	88,5	90,6	91,9
2 HORAS	30,2	37,3	42,7	45,9	48,1	49,9	53,5	55,2	56,7	58,4	59,8	60,6
3 HORAS	23,4	28,9	33,1	35,5	37,3	38,6	41,4	42,8	43,9	45,2	46,3	46,9
4 HORAS	19,4	23,9	27,4	29,4	30,9	32,0	34,3	35,4	36,3	37,4	38,4	38,9
5 HORAS	16,7	20,6	23,6	25,3	26,6	27,5	29,5	30,5	31,3	32,2	33,0	33,5
6 HORAS	14,7	18,2	20,8	22,3	23,4	24,3	26,0	26,9	27,6	28,4	29,1	29,5
7 HORAS	13,2	16,3	18,7	20,1	21,0	21,8	23,4	24,1	24,8	25,5	26,1	26,5
8 HORAS	12,0	14,8	17,0	18,2	19,1	19,8	21,3	22,0	22,5	23,2	23,8	24,1
12 HORAS	9,0	11,1	12,7	13,6	14,3	14,8	15,9	16,4	16,8	17,3	17,7	18,0
14 HORAS	8,0	9,9	11,3	12,1	12,7	13,2	14,1	14,6	15,0	15,4	15,8	16,0
20 HORAS	6,1	7,5	8,6	9,3	9,7	10,1	10,8	11,2	11,4	11,8	12,1	12,2
24 HORAS	5,3	6,6	7,5	8,1	8,4	8,7	9,4	9,7	9,9	10,2	10,5	10,6

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, <i>T</i> (anos)											
	2	5	10	15	20	25	40	50	60	75	90	100
5 Minutos	7,9	9,7	11,2	12,0	12,6	13,0	14,0	14,4	14,8	15,2	15,6	15,8
10 Minutos	14,2	17,5	20,0	21,5	22,6	23,4	25,1	25,9	26,6	27,4	28,1	28,4
15 Minutos	19,4	23,9	27,4	29,4	30,8	31,9	34,3	35,4	36,3	37,4	38,3	38,8
20 Minutos	23,8	29,4	33,6	36,1	37,8	39,2	42,1	43,4	44,6	45,9	47,0	47,7
30 Minutos	31,0	38,3	43,8	47,0	49,3	51,1	54,9	56,6	58,1	59,9	61,3	62,2
45 Minutos	39,3	48,6	55,6	59,7	62,6	64,8	69,6	71,8	73,7	75,9	77,8	78,9
1 HORA	45,8	56,6	64,7	69,5	72,9	75,5	81,1	83,7	85,8	88,5	90,6	91,9
2 HORAS	60,4	74,7	85,5	91,8	96,2	99,7	107,0	110,5	113,3	116,8	119,6	121,3
3 HORAS	70,2	86,7	99,3	106,6	111,8	115,8	124,3	128,3	131,6	135,6	138,9	140,8
4 HORAS	77,5	95,8	109,6	117,7	123,4	127,9	137,2	141,7	145,3	149,8	153,4	155,5
5 HORAS	83,4	103,0	117,9	126,6	132,8	137,5	147,6	152,4	156,3	161,1	165,0	167,3
6 HORAS	88,2	109,1	124,8	134,0	140,5	145,6	156,3	161,4	165,5	170,6	174,7	177,1
7 HORAS	92,4	114,2	130,7	140,4	147,2	152,5	163,7	169,0	173,4	178,7	183,0	185,5
8 HORAS	96,1	118,8	135,9	146,0	153,1	158,6	170,2	175,7	180,2	185,8	190,3	192,9
12 HORAS	107,4	132,8	151,9	163,2	171,1	177,3	190,3	196,5	201,5	207,7	212,7	215,6
14 HORAS	111,8	138,2	158,1	169,8	178,1	184,5	198,0	204,4	209,7	216,1	221,4	224,4
20 HORAS	122,0	150,8	172,5	185,3	194,3	201,3	216,1	223,1	228,8	235,8	241,5	244,9
24 HORAS	127,2	157,3	180,0	193,3	202,7	210,0	225,4	232,7	238,7	246,0	251,9	255,4

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Suponha que em um determinado dia, em Salvador, foi registrada uma Chuva de 38 mm com duração de 15 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, 38 mm dividido por 0,25 h é igual a 152 mm/h. Substituindo os valores na equação 04 temos:

$$T = \exp \left[\frac{152 \times 0,25 - 24,201 \ln(0,25 + (16/60)) - 31,9}{7,5823 \ln(0,25 + (16/60)) + 9,9834} \right] = 84,5 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 84,5 anos corresponde a uma probabilidade de 1,18% que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(i \geq 152 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{84,5} 100 = 1,18\%$$

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Acesso em junho de 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=292740&search=bahia|salvador>. Acesso em junho de 2015.

PFAFSTETTER, O. *Chuvas Intensas no Brasil*. 2ª ed. DNOS, 1982.

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

WIKIPEDIA, 2014. Ficheiro – Bahia - Município de Salvador. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Salvador_\(Bahia\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Salvador_(Bahia)). Acesso em: junho de 2015.

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)
1963	1964	23/03/1964	87,5	1992	1993	30/11/1992	87,3
1964	1965	16/10/1964	141,6	1993	1994	29/06/1994	114,0
1965	1966	28/05/1966	107,9	1994	1995	22/05/1995	95,3
1966	1967	10/04/1967	73,8	1995	1996	21/04/1996	232,5
1967	1968	08/05/1968	123,5	1996	1997	15/02/1997	51,2
1968	1969	02/04/1969	111,2	1997	1998	02/06/1998	141,0
1969	1970	26/05/1970	161,1	1998	1999	25/03/1999	180,2
1972	1973	16/05/1973	127,4	1999	2000	19/06/2000	75,8
1973	1974	09/02/1974	144,8	2000	2001	18/07/2001	66,2
1974	1975	06/04/1975	109,4	2001	2002	18/07/2002	108,6
1975	1976	04/05/1976	79,3	2002	2003	05/05/2003	112,2
1976	1977	22/06/1977	134,6	2003	2004	18/01/2004	89,3
1977	1978	26/12/1977	89,2	2004	2005	30/03/2005	144,8
1978	1979	10/04/1979	114,2	2005	2006	21/04/2006	110,6
1979	1980	06/02/1980	159,0	2006	2007	21/10/2006	82,4
1983	1984	03/04/1984	133,4	2007	2008	29/02/2008	130,8
1985	1986	30/04/1986	113,2	2008	2009	21/04/2009	123,0
1986	1987	27/05/1987	99,8	2009	2010	09/04/2010	118,0
1987	1988	12/01/1988	130,8	2010	2011	29/04/2011	97,6
1989	1990	14/07/1990	97,8	2011	2012	21/05/2012	186,4
1990	1991	01/01/1991	124,0	2012	2013	27/05/2013	96,6
1991	1992	08/02/1992	51,8	2013	2014	29/11/2013	117,7

ANEXO II

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Pfafstetter (1982) para o município de Salvador/BA.

Relação 24h/1dia: 1,13

Relação 14h/24h	Relação 8h/24h	Relação 4h/24h	Relação 2h/24h	Relação 1h/24h
0,87	0,75	0,61	0,47	0,36

Relação 30 min/1h	Relação 15 min/1h	Relação 5 min/1h
0,66	0,43	0,17

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

O projeto Atlas Pluviométrico é uma ação dentro do programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres 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 2101-7383

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
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Tel: 21 2295-5997 - Fax: 21 2295-5897
E-mail: seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br

