



EQUAÇÃO DE CHUVAS: CASOS PARINTINS, BARREIRINHA, BOA VISTA DO RAMOS, MAUÉS E NHAMUNDÁ – AM.

Guilherme F. Vieiralves – gui__vieiralves@hotmail.com

Arthur E. Torres – arttorres2004@hotmail.com

Elias S. Assayag – elias_assayag@yahoo.com.br

Universidade Federal do Amazonas - Faculdade de Tecnologia – Curso de Engenharia Civil
Av. Gen. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 – Campus Universitário
69.077-00 – Manaus - Amazonas

***Resumo:** Este trabalho apresenta o estudo da relação intensidade – duração – frequência para precipitações intensas prováveis, na forma de equação de chuva (curvas IDF's) para os municípios de Parintins, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués e Nhamundá, todos no Estado do Amazonas. Esses cinco municípios constituem o Polo Baixo Amazonas que, por sua vez, é uma das áreas de atuação do Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas, desenvolvido na Universidade Federal do Amazonas como uma ação de extensão do Departamento de Hidráulica e Saneamento, com apoio do PROEXT – MEC/SESu (PROEXT 2011 – Edital N°. 04). Os dados de precipitação foram obtidos na base de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas, HidroWeb. As equações foram calculadas e como resultados são apresentadas as cinco equações de chuva, uma para cada município supracitado. O objetivo da atividade foi alcançado com sucesso e as equações estão disponíveis para serem utilizadas em outros estudos, tais como planos municipais de saneamento, planos diretores, projetos e obras de drenagem, entre outros.*

***Palavras-chave:** Equação de Chuva, Hidrologia, Relação duração - intensidade - frequência, Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas.*

1. INTRODUÇÃO

A precipitação permite a circulação de grandes volumes de água através da atmosfera, por isso, essa importante fase do ciclo hidrológico é fundamental para o equilíbrio do meio ambiente, devendo ser estudada quanto a sua ocorrência, distribuição espacial e temporal, principalmente nos casos extremos, onde se verifica a escassez e o excesso.

Uma ocorrência com alta intensidade pode ter consequências graves, tais como: erosão acentuada do solo, inundações e alagamentos, rompimentos de barragens e diques, desmoronamento de taludes, rompimento de galerias de águas pluviais e colapso de obras hidráulicas.

Para Souza *et al.* (2011), atualmente a melhor solução para a caracterização e estimativa da precipitação intensa ainda é a utilização de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), as quais consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que prevêm a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal.

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



Desde a segunda metade do século XX a determinação da precipitação intensa provável tem sido estudada no Brasil. Existe uma boa literatura disponível, inclusive com propostas de diferentes metodologias. Em geral essas metodologias utilizam dados de pluviógrafos para determinação das curvas IDF com os respectivos parâmetros calibrados para cada local. Usualmente as curvas propostas são da seguinte forma:

$$i = \frac{K Tr^m}{(t + t_0)^n} \quad (1)$$

Onde: i = intensidade [mm/min] ou [mm/h]; Tr = Período de recorrência ou período de retorno [anos]; t = duração [min] ou [horas]; K , m , t_0 e n = Parâmetros próprios do local.

Pedrosa, desde de 1957, propõe o processo da linearização e dos mínimos quadrados para determinação dos parâmetros das curvas IDF. Garcez e Alvarez (1988) indicam o processo para obtenção das equações das curvas IDF por meio da análise estatística de longas séries de observações pluviográficas locais, indicando como mais usuais as séries das máximas anuais.

Nos dias atuais, a utilização das ferramentas de estatística e de otimização das planilhas eletrônicas facilita muito a obtenção dos parâmetros das curvas IDFs.

Souza (2007), analisou os dados anuais de chuvas máximas diárias de 30 estações pluviométricas situadas na região norte do estado do Maranhão. Coletou um quantidade de dados superior a 20 anos de observações e que seguiam a distribuição de Gumbel, a qual foi utilizado para a elaboração das equações.

Para estudos da precipitação no Estado do Pará, Moraes *et al* (2005) indica a distribuição Normal (distribuição de Gauss) como a que apresenta os melhores ajuste para os dados. Coimbra (1982), recomenda a utilização da distribuição Normal para as regiões de varzeas na Amazônia. O mesmo Coimbra (1982), com base nos estudos do DNOS, apresenta as razões constantes entre precipitações máximas anuais de um dia (dados de pluviômetro) e precipitações de 24 horas e outras durações (dados de pluviógrafos) para a Amazônia.

Villela e Mattos (1975), discutem as chuvas intensas e apresentam as equações para a cidade de São Paulo, por Sampaio Wilkem com dados de 1935-1960 (25 anos) e por Antônio Garcia Occhipinti e Paulo Marques Santos com 37 anos de dados (1928-1964); para a cidade de Curitiba, proposta por Pedro Viriato Parigot de Souza, considerando 31 anos de dados (1921-1951); para o Rio de Janeiro obtida por Ulysses M.A. de Alcântara e Aginaldo Rocha Lima num período de 33 anos (1922-1945; 1949-1955; 1958-1959); e por Adir José de Freitas e Ana Amélia Carvalho de Souza, para Belo Horizonte, em um período de 31 anos (1938-1969).

Quando o foco é a região norte do Brasil, se verifica que existe um grande déficit de conhecimento e informações hidrológicas referentes aos pequenos e médios municípios da Amazônia. No Estado do Amazonas isso não é diferente. Para o interior do Estado do Amazonas, na literatura disponível, foram encontrados apenas os ábacos para as capitais, propostos por Otto Pfafstetter em "Chuvas Intensas no Brasil", publicado em primeira edição em 1957, junto com os ábacos de outras 95 cidade brasileiras.

Ao planejar as ações do programa de Extensão em Saneamento no Amazonas (ESA), entre outras atividades, se evidenciou que não são conhecidas as equações de chuva para muitos dos 35 municípios onde o programa ESA atua. Foi então que se decidiu investir no cálculo dessas equações, iniciando pelo Polo Baixo Amazonas, que é formado pelos municípios da fronteira leste do Estado: Parintins, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués e Nhamundá (Figura 1)

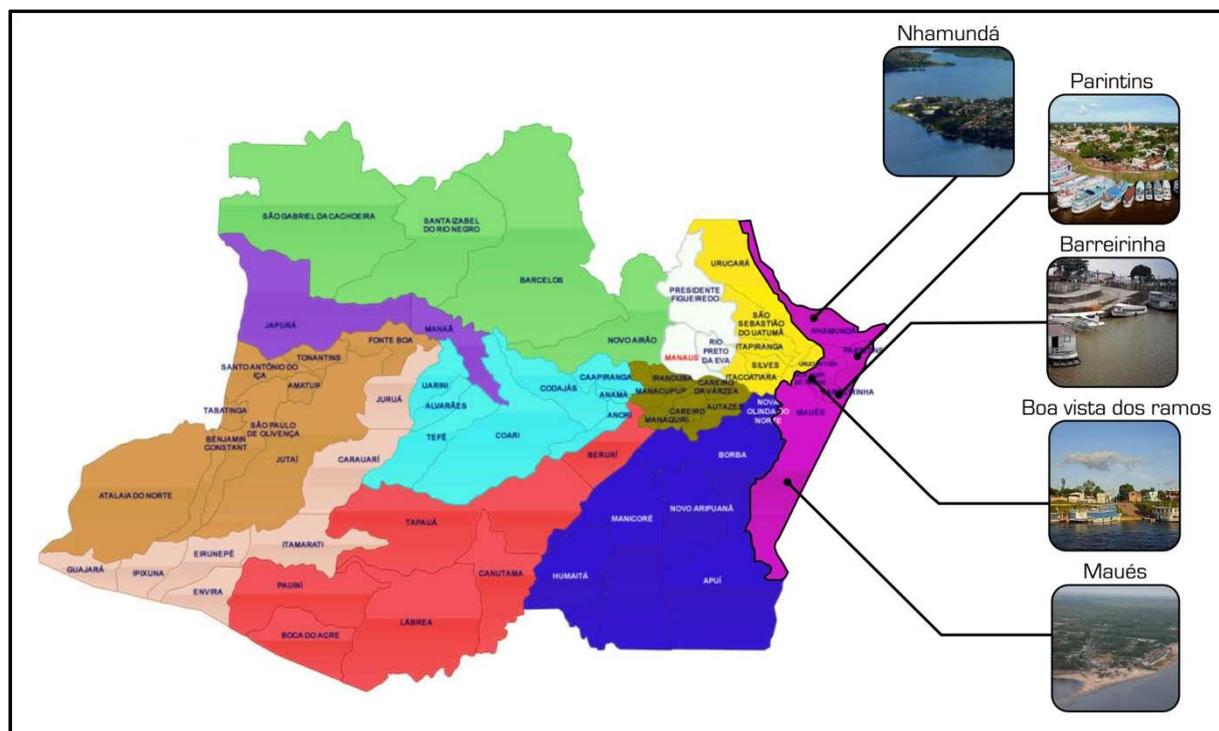


Figura 1 – Pólo Baixo Amazonas: Parintins, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués e Nhamunda (Adaptação, fonte: www.tce.am.gov.br/wp-content/uploads/mapa_am.jpg, 2012)

A população do Pólo Baixo Amazonas é de 221.078 habitantes (Censo 2010), distribuídos numa área de 68.386 Km², e IDHM médio de 0,6656 (Tabela 1) e IDHM médio ponderado de 0,678, conforme detalhado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Características dos municípios do Polo Baixo Amazonas

Município	População (IBGE 2010)	Área (Km ²)	IDHM (PNUD 2000)
Barreirinha	27.356	5.751	0,645
Boa Vista do Ramos	29.332	2.587	0,642
Maués	49.889	39.990	0,689
Nhamundá	18.278	14.106	0,656
Parintins	96.223	5.952	0,696
Total	221.078	68.386	

2. OBJETIVO

No sentido geral, o objetivo deste trabalho foi suprir a falta da equação de chuva no Polo Baixo Amazonas, uma das áreas de atuação do programa de Extensão em Saneamento no Amazonas. Ao mesmo tempo, contribuir para formação profissional de alunos do curso de graduação em engenharia civil qualificando-os na área de hidrologia.



2.1. Metas

Obter a equação de chuva para as regiões urbanas dos municípios: Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués, Nhamundá e Parintins.

3. METODOLOGIA

As alturas das precipitações máximas anuais de um dia (dados de pluviômetro) para cada um dos municípios do Polo Baixo Amazonas foram levantadas junto aos registros do banco de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas, HidroWeb, disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Para cada município foi construída a série anual de observações pluviométricas máximas (série parcial). Para verificar o ajuste dos dados à distribuição Normal, a série foi submetida ao teste de Kolmogorov Smirnov (KS), com $\alpha=5\%$. Uma vez que o teste forneceu $D_{max} \leq D_{lim}$ admitiu-se que a série de observações se ajusta à Distribuição de Probabilidade de Gaus (distribuição Normal). Aplicando a distribuição Normal foram obtidas as alturas máximas prováveis de 1 dia (h) para os períodos de retorno (Tr) de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Utilizando as razões constantes entre precipitações máximas anuais de um dia (dados de pluviômetro) e precipitações de 24 horas e outras durações (dados de pluviógrafos), propostas por Antônio Coimbra em “Drenagem de Várzeas da Amazônia Ocidental”, foram estimadas as alturas máximas prováveis (h) para as durações (t) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e ainda para 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas.

Com as alturas máximas prováveis (h) para as durações (t) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, foram calculadas as intensidades máximas prováveis (i), para as mesmas durações (t) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, dadas por:

$$i [mm/min] = h [mm] / duração [min] \quad (2)$$

Para o cálculo dos parâmetros K, m, to e n foi utilizado a ferramenta Solver da planilha Excell, sendo empregado os seguintes parâmetros:

- Tempo Máximo = 100 segundos
- Interação = 100
- Precisão = 0,000001
- Tolerância = 5%
- Convergência = 0,0001

Com os resultados obtidos, foram formuladas as curvas IDF para a região urbana de cada município da área do estudo.

4. RESULTADOS

4.1. Séries de Máximas Anuais dos Municípios

As series parciais de máximas anuais, para a região urbana dos cinco municípios estudados, são mostradas na Tabela 2. Essas séries parciais foram utilizadas nos cálculos das curvas IDFs.



Tabela 2 – Séries de alturas máximas anuais (h [mm]).

Barreirinha Estação: 257001 2°47'32" S 57°3'52" W Período: 1982 a 2011 h (mm)	Boa Vista do Ramos Estação: 257002 2°58'13" S 57°35'24" W Período: 1989 a 2011 h (mm)	Maués Estação: 357001 3°24'22" S 57°42'56" W Período: 1980 a 2011 h (mm)	Nhamundá Estação: 256002 2°11'23" S 56°42'38" W Período: 1982 a 2011 h (mm)	Parintins Estação: 256000 2°37'58,8" S 56°43'58,8" W Período: 1961 a 1998 h (mm)
209,0	200,0	156,8	145,3	160,1
148,3	174,3	115,1	133,3	126,0
146,6	128,1	111,5	119,7	124,3
143,5	114,2	105,1	118,4	122,0
141,6	108,1	103,0	116,2	117,0
140,1	100,5	101,2	113,6	110,5
123,6	97,3	101,0	105,8	110,0
118,8	96,9	100,0	105,2	110,0
99,7	96,2	100,0	101,8	109,0
98,1	94,1	97,0	101,1	108,1
95,9	92,9	92,1	100,9	107,0
95,8	82,8	91,0	100,3	104,6
95,3	82,2	85,5	100,0	100,0
95,1	81,7	84,6	98,6	98,7
93,8	73,8	81,7	96,3	95,2
91,8	73,4	81,6	96,2	91,4
87,2	69,5	78,0	96,2	90,6
86,8	66,9	74,0	96,1	89,8
85,6	65,7	72,2	95,5	87,6
83,7	65,1	70,4	95,4	87,4
83,3	63,8	64,8	92,9	85,1
76,0	55,4	62,1	92,5	85,0
75,8	53,4	57,8	92,1	84,0
75,6	-	57,7	89,9	80,6
74,5	-	51,8	87,8	80,0
73,8	-	51,7	86,4	78,5
73,6	-	50,9	65,3	75,2
63,5	-	43,0	53,8	75,0
28,0	-	32,9	40,0	74,1
28,0	-	25,0	25,4	72,5
-	-	21,4	-	71,6
-	-	10,0	-	71,4
-	-	-	-	71,2
-	-	-	-	70,3

4.2. Resultado do Teste de Kolmogorov Smirnov (KS)

Ao serem submetidas ao teste KS todas as cinco séries mostraram um ajuste à distribuição Normal aceitável, conforme mostrado na Tabela 3.



Tabela 3 – Parametros e resultados do teste KS.

	Barreirinha	Boa Vista do Ramos	Maués	Nhamundá	Parintins
N	30	23	32	30	34
A	5%	5%	5%	5%	5%
D _{máximo}	0,1788	0,1542	0,0716	0,0239	0,0957
D _{limite}	0,2483	0,2835	0,2404	0,2483	0,2332
Resultado	$D_{\max} \leq D_{\lim}$				

4.3. Estimativas das intensidades máximas prováveis.

Uma vez admitido o ajuste das cinco séries à distribuição Normal, foi então calculada a altura máxima provável para 1 dia, em mm, para os mesmos períodos de retorno propostos na metodologia. Os resultados são mostrados na Tabela 4. Em seguida foram estimadas as alturas máximas prováveis (h) para as durações (t) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e ainda para 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, que são as Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 4 – Alturas máximas prováveis de 1 dia - h[mm]

Tr (anos)	Barreirinha	Boa Vista do Ramos	Maués	Nhamundá	Parintins
2	97,74667	92,88261	75,96563	95,4000	94,8176
5	128,6679	122,7799	102,2293	115,7627	112,037
10	144,831	138,4077	115,9577	126,4066	121,0378
20	158,1787	151,3135	127,2949	135,1966	128,4708
50	173,2016	165,8388	140,0549	145,0896	136,8367
100	183,2169	175,5225	148,5617	151,6851	142,4140

Tabela 5 – Alturas máximas prováveis - h[mm], para Parintins AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	11,4223	13,49665	14,58095	15,47638	16,48418	17,15606
10	18,1413	21,43586	23,15798	24,58013	26,18076	27,24786
15	23,5165	27,78723	30,0196	31,86313	33,93802	35,3213
20	27,212	32,15379	34,73697	36,8702	39,27114	40,87178
30	33,595	39,69604	42,88514	45,51876	48,48289	50,45899
60	45,3987	53,6433	57,9529	61,51184	65,51742	68,18783
360	77,8263	91,95994	99,34783	105,4489	112,3156	116,8934
480	84,3119	99,62326	107,6268	114,2363	121,6752	126,6345
600	88,6355	104,7322	113,1461	120,0945	127,915	133,1286
720	91,8783	108,5638	117,2856	124,4883	132,5948	137,9992
1440	108,092	127,7221	137,9831	146,4568	155,9939	162,352



Tabela 6 – Alturas máximas prováveis - h[mm], para Barreirinha AM

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	11,77516	15,50012	17,44722	19,05517	20,86492	22,07142
10	18,70172	24,61784	27,71029	30,2641	33,1384	35,05461
15	24,24297	31,91201	35,92075	39,23124	42,95718	45,44116
20	28,05258	36,92675	41,56544	45,39615	49,7076	52,58192
30	34,63282	45,58858	51,31536	56,04463	61,3674	64,91595
60	46,8011	61,60619	69,34508	75,73598	82,92892	87,72425
360	80,23046	105,6106	118,8773	129,8331	142,1639	150,3844
480	86,91634	114,4115	128,7837	140,6525	154,0109	162,9165
600	91,37358	120,2788	135,388	147,8655	161,9088	171,2712
720	94,71652	124,6792	140,3412	153,2752	167,8323	177,5372
1440	111,4312	146,6814	165,1073	180,3238	197,4498	208,8673

Tabela 7 – Alturas máximas prováveis - h[mm], para Boa Vista do Ramos AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	11,1892	14,79081	16,67344	18,22814	19,97796	21,14451
10	17,77109	23,49129	26,48134	28,95058	31,72969	33,58245
15	23,0366	30,45167	34,32767	37,52853	41,13108	43,53281
20	26,65663	35,23694	39,72201	43,42587	47,59454	50,37368
30	32,90942	43,50239	49,03952	53,61218	58,75869	62,18973
60	44,47219	58,78701	66,26962	72,44889	79,40364	84,04017
360	76,23805	100,7777	113,6051	124,1981	136,1205	144,0689
480	82,59122	109,1759	123,0722	134,5479	147,4639	156,0746
600	86,82666	114,7746	129,3836	141,4478	155,0262	164,0784
720	90,00325	118,9737	134,1171	146,6228	160,6978	170,0813
1440	105,8862	139,9691	157,7848	172,4974	189,0563	200,0956

Tabela 8 – Alturas máximas prováveis - h[mm], para Maúes AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	9,151281	12,31516	13,96897	15,33472	16,87187	17,89664
10	14,53439	19,55937	22,18602	24,35515	26,7965	28,42408
15	18,84087	25,35474	28,75965	31,57149	34,7362	36,84603
20	21,80158	29,33906	33,27903	36,53272	40,19475	42,63612
30	26,91553	36,22106	41,08522	45,10213	49,62315	52,63718
60	36,37234	48,94737	55,52057	60,94882	67,05831	71,13133
360	62,35259	83,90978	95,17811	104,4837	114,9571	121,9394
480	67,54863	90,90227	103,1096	113,1907	124,5369	132,101
600	71,01267	95,56392	108,3973	118,9953	130,9234	138,8754
720	73,61069	99,06016	112,363	123,3488	135,7132	143,9563
1440	86,60081	116,5414	132,1918	145,1162	159,6626	169,3603



Tabela 9 – Alturas máximas prováveis - h[mm], para Nhamundá AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	11,49246	13,94548	15,22771	16,2866	17,47838	18,2729
10	18,25274	22,1487	24,18519	25,86695	27,75978	29,02167
15	23,66096	28,71128	31,35117	33,53124	35,9849	37,62068
20	27,37911	33,22305	36,27778	38,80043	41,63967	43,53251
30	33,80136	41,01611	44,78738	47,90177	51,407	53,74383
60	45,67752	55,42718	60,52349	64,73212	69,46892	72,6268
360	78,30432	95,01801	103,7546	110,9693	119,0896	124,5031
480	84,82968	102,9362	112,4008	120,2168	129,0137	134,8783
600	89,17992	108,215	118,1649	126,3818	135,6298	141,7952
720	92,4426	112,174	122,488	131,0055	140,5919	146,9828
1440	108,756	131,9695	144,1036	154,1241	165,4022	172,921

Por sua vez, aplicando a Equação 2, as alturas máximas prováveis foram convertidas em intensidades máximas prováveis, com os mesmos períodos de retorno e mesmas durações. As intensidades máximas prováveis, em mm/min. Para cada caso, as intensidades máximas prováveis são mostradas nas Tabelas 10, 11, 12, 13 e 14.

Tabela 10 – Intensidades máximas prováveis - i[mm/min], para Parintins AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	11,4223	13,49665	14,58095	15,47638	16,48418	17,15606
10	18,1413	21,43586	23,15798	24,58013	26,18076	27,24786
15	23,5165	27,78723	30,0196	31,86313	33,93802	35,3213
20	27,212	32,15379	34,73697	36,8702	39,27114	40,87178
30	33,595	39,69604	42,88514	45,51876	48,48289	50,45899
60	45,3987	53,6433	57,9529	61,51184	65,51742	68,18783
360	77,8263	91,95994	99,34783	105,4489	112,3156	116,8934
480	84,3119	99,62326	107,6268	114,2363	121,6752	126,6345
600	88,6355	104,7322	113,1461	120,0945	127,915	133,1286
720	91,8783	108,5638	117,2856	124,4883	132,5948	137,9992
1440	108,092	127,7221	137,9831	146,4568	155,9939	162,352

Tabela 11 – Intensidades máximas prováveis - i[mm/min], para Barreirinha AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	11,77516	15,50012	17,44722	19,05517	20,86492	22,07142
10	18,70172	24,61784	27,71029	30,2641	33,1384	35,05461
15	24,24297	31,91201	35,92075	39,23124	42,95718	45,44116
20	28,05258	36,92675	41,56544	45,39615	49,7076	52,58192
30	34,63282	45,58858	51,31536	56,04463	61,3674	64,91595
60	46,8011	61,60619	69,34508	75,73598	82,92892	87,72425

Continua



Tabela 11 – Intensidades máximas prováveis - i [mm/min], para Barreirinha AM.

continuação

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
360	80,23046	105,6106	118,8773	129,8331	142,1639	150,3844
480	86,91634	114,4115	128,7837	140,6525	154,0109	162,9165
600	91,37358	120,2788	135,388	147,8655	161,9088	171,2712
720	94,71652	124,6792	140,3412	153,2752	167,8323	177,5372
1440	111,4312	146,6814	165,1073	180,3238	197,4498	208,8673

Tabela 12 – Intensidades máximas prováveis - i [mm/min], para Boa Vista do Ramos AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	2,237841	2,958163	3,334687	3,645628	3,995591	4,228901
10	1,777109	2,349129	2,648134	2,895058	3,172969	3,358245
15	1,535773	2,030112	2,288511	2,501902	2,742072	2,902187
20	1,332832	1,761847	1,986101	2,171293	2,379727	2,518684
30	1,096981	1,45008	1,634651	1,787073	1,958623	2,072991
60	0,741203	0,979784	1,104494	1,207482	1,323394	1,40067
360	0,211772	0,279938	0,31557	0,344995	0,378113	0,400191
480	0,172065	0,22745	0,2564	0,280308	0,307216	0,325155
600	0,144711	0,191291	0,215639	0,235746	0,258377	0,273464
720	0,125005	0,165241	0,186274	0,203643	0,223191	0,236224
1440	0,073532	0,097201	0,109573	0,11979	0,131289	0,138955

Tabela 13 – Intensidades máximas prováveis - i [mm/min], para Maúes AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	9,151281	12,31516	13,96897	15,33472	16,87187	17,89664
10	14,53439	19,55937	22,18602	24,35515	26,7965	28,42408
15	18,84087	25,35474	28,75965	31,57149	34,7362	36,84603
20	21,80158	29,33906	33,27903	36,53272	40,19475	42,63612
30	26,91553	36,22106	41,08522	45,10213	49,62315	52,63718
60	36,37234	48,94737	55,52057	60,94882	67,05831	71,13133
360	62,35259	83,90978	95,17811	104,4837	114,9571	121,9394
480	67,54863	90,90227	103,1096	113,1907	124,5369	132,101
600	71,01267	95,56392	108,3973	118,9953	130,9234	138,8754
720	73,61069	99,06016	112,363	123,3488	135,7132	143,9563
1440	86,60081	116,5414	132,1918	145,1162	159,6626	169,3603



Tabela 14 – Intensidades máximas prováveis - i [mm/min], para Nhamundá AM.

Duração (min)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	11,49246	13,94548	15,22771	16,2866	17,47838	18,2729
10	18,25274	22,1487	24,18519	25,86695	27,75978	29,02167
15	23,66096	28,71128	31,35117	33,53124	35,9849	37,62068
20	27,37911	33,22305	36,27778	38,80043	41,63967	43,53251
30	33,80136	41,01611	44,78738	47,90177	51,407	53,74383
60	45,67752	55,42718	60,52349	64,73212	69,46892	72,6268
360	78,30432	95,01801	103,7546	110,9693	119,0896	124,5031
480	84,82968	102,9362	112,4008	120,2168	129,0137	134,8783
600	89,17992	108,215	118,1649	126,3818	135,6298	141,7952
720	92,4426	112,174	122,488	131,0055	140,5919	146,9828
1440	108,756	131,9695	144,1036	154,1241	165,4022	172,921

4.4. Estimativa dos parâmetros das curvas IDFs

A partir dos valores estimados para as intensidades máximas prováveis para cada caso estudado, com o emprego da ferramenta Solver da planilha eletrônica Microsoft Office Excell, foram estimados os parâmetros K , m , n e t_0 , conforme mostrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Parâmetros das curvas IDFs.

Parâmetros	Barreirinha	Boa Vista do Ramos	Maués	Nhamundá	Parintins
K	16,8473749	16,037499	15,266104	17,517116	15,9160086
m	0,13906295	0,140613	0,1012422	0,1406128	0,0943519
n	0,7241958	0,724282	0,7242403	0,7243174	0,7242473
t_0 (min)	9,78214941	9,785963	9,7839921	9,7864034	9,7838923

4.5. Formulação da Equações – curvas IDFs

Por fim, são então formuladas as equações de chuva, que são apresentadas abaixo, com e i [mm/min], Tr [anos] e t [min].

$$\text{Barreirinha} \quad i = \frac{16,847374980905 \times Tr^{0,139062955550022}}{(t + 9,78214941595841)^{0,724195842077542}}$$

$$\text{Boa Vista do Ramos:} \quad i = \frac{16,0374997795652 \times Tr^{0,140612862975645}}{(t + 9,78596346239469)^{0,72428193077362}}$$

$$\text{Maués:} \quad i = \frac{15,2661047636701 \times Tr^{0,101242226705767}}{(t + 9,78399214628087)^{0,724240356163099}}$$



$$\text{Nhamundá: } i = \frac{17,5171166802617 \times \text{Tr}^{0,0630468403710396}}{(t+ 9,78640347619442)^{0,724317491464034}}$$

$$\text{Parintins: } i = \frac{15,916008634088 \times \text{Tr}^{0,0943519621896148}}{(t+ 9,78389238039296)^{0,72424731698567}}$$

5. CONCLUSÕES

A metodologia empregada levou a determinação da curva intensidade – duração – frequência (IDF) possibilitando a estimativa da precipitação de máxima intensidade provável para as cidades de Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués, Nhamundá e Parintins, por meio das equações de chuva calculadas para cada caso.

Cada uma dessas equações representa uma aproximação para determinação das alturas de precipitações intensas. Ao empregá-las é necessário considerar a influência dos desvios causados pelas transformações dos valores medidos em um dia (dados de pluviômetro) para valores estimados com a duração de 24 horas e depois para outras durações.

As equações propostas para os cinco municípios do Polo Baixo Amazonas são de interesse de estudantes e profissionais de Engenharia, Geografia, Agronomia e outras áreas afins. Podem ser utilizadas em atividades acadêmicas de ensino, pesquisa, extensão, prestação de serviços, e também por agências de fomento e/ou ambientais para desenvolvimento de estudos e projetos.

Com o crescente crescimento populacional e adensamento dos aglomerados urbanos no interior da Amazônia, cada dia fica mais importante estudar e conhecer o comportamento provável das precipitações intensas desses municípios, principalmente daqueles onde serão implantadas atividades modificadoras do meio ambiente ou obras de engenharia como urbanização, serviços de saneamento e drenagem urbana.

A participação de alunos do curso de graduação em engenharia civil apresentou um excelente resultado pois, entre outras coisas, possibilitou a ampliação dos conhecimentos dos estudantes ao mesmo tempo que despertou neles o interesse nas atividades de pesquisa e extensão no nível da graduação.

Agradecimentos

Aqui se faz o agradecimento ao Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas, desenvolvido no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Amazonas com apoio da Pró Reitoria de Extensão da Universidade Federal do Amazonas e do PROEXT – MEC/SESu (PROEXT 2011 – Edital N°. 04).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COIMBRA, Antônio R. S. R. **Drenagem de várzeas da Amazônia Ocidental: Hidrologia**. Brasília: Universidade de Brasília, [1982]. p.14-22.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. p. 88-92.



PEDROSA, Homero Xavier de Andrade. **Hidráulica aplicada:** hidrologia. Rio de Janeiro: Científica, 1957. p.15-23.

PFAFSTETTER, Otto. **Chuvas Intensas no Brasil**. 2. Ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982. p.186-189.

VILLELA, Swami M.; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc-Graw-Hill, 1975. p.56-61.

SOUSA, S.B. **Equações de chuva para 30 localidades maranhenses**. *I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste*, Cuiabá, 2007.

SOUZA, V. A. S. *et al.* **Revista Pesquisa & Criação** - Volume 10, Número 2, Julho/Dezembro de 2011: 139-151.

MORAES, B.C; COSTA, J.M.N; COSTA, A.C.L; COSTA, M.H. **Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará**. *ACTA AMAZONICA*, Belém, v.35, n. 2, p. 207-214, 2005.

RELATIONSHIP INTENSITY – DURATION – FREQUENCY: CASES BARREIRINHA, BOA VISTA DO RAMOS, MAUÉS, NHAMUNDÁ E PARINTINS – AM

Abstract: *This work presents the study of the relationship intensity - duration - frequency to heavy precipitation in the form of IDF curves for the Parintins, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués and Nhamundá cities, all in the state of Amazonas. These five cities are the Lower Amazon Pole which, in turn, is one of five areas of the Sanitation Extension Programme of Amazonas, developed by Federal University of Amazonas as an action of the of Hydraulic and Sanitation Department, with support the PROEXT - MEC / SESu (PROEXT 2011 – Public Call N°. 04). The precipitation data were obtained on the basis of hydrological data of the National Water Agency, HIDROWEB. The equations were calculated and the results are presented on five equations of rain, one for each city. The objective was successfully achieved and the equations are available for use in other studies, such as municipal sanitation plans, master plans, projects and works drainage, among others.*

Keywords: *Equation Rain, Hydrology, Relationship duration - intensity - frequency, Sanitation Extension Programme of Amazonas.*