

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

CHUVAS INTENSAS NO MUNICÍPIO DE OLHO D'ÁGUA DO CASADO – ALAGOAS

Pedro H. O. Toledo¹; Thiago de G. A. Tavares¹; Cleuda C. Freire²; Marllus G. F. P. Neves²; Christopher F. Souza²; Cledeilson P. Santos³.

RESUMO – Devido à importância do conhecimento das características das chuvas intensas tanto para projeto de engenharia quanto para o desenvolvimento da economia local, faz-se necessário o estudo das características das precipitações máximas. Devido à ausência de estações pluviográficas no Brasil, é corriqueira a utilização de metodologias que permitam expressar a relação intensidade-duração-frequência de chuvas críticas. Para tal, objetivou-se utilizar o método das Relações de Duração, a partir dos dados pluviométricos da estação de Olho D'água do Casado. Como calibração, aplicou-se o modelo estatístico desenvolvido por Ven Te Chow, a fim de, relacionar com a intensidade, e a duração das precipitações, valores de frequência, e, desta forma obter-se a curva IDF. A análise dos dados mostram uma tendência das máximas alturas de chuva observadas situarem-se entre 2 e 10 anos de tempo de recorrência.

ABSTRACT - Due to the importance of knowledge of the characteristics of the heavy rains for both engineering design and development of local economy, it's necessary to study the characteristics of maximum precipitation. Due to the absence of pluviograph stations in Brazil, it's commonplace to use methodologies that allow expressing the intensity-duration-frequency rainfall criticism. To this end, the objective was to use the method of Length Relations, from the rainfall data from station's Olho D'água do Casado. As calibration was applied to the statistical model developed by Ven Te Chow, in order to relate the intensity and duration of precipitation, frequency values, and thus obtain the IDF curve. The analysis of data show a trend of the maximum heights of precipitation observed situated between 2 and 10 years of time to recurrence.

Palavras-Chave – precipitação intensa, curva i.d.f, semi-árido.

- 1) Aluno do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas – CTEC/UFAL. E-mail: eng.phot@gmail.com; thiago_araujo9@hotmail.com
- 2) Professor (a) do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. E-mail:cleudafreire@bol.com.br; marllus@ctec.ufal.br; christopher@ctec.ufal.br.
- 3) Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – CTEC/UFAL. E-mail: cledeilson-ifs@hotmail.com

1- INTRODUÇÃO

O semi-árido brasileiro caracteriza uma grande parte do Nordeste Brasileiro (NEB), sendo responsável por quase 90% de seu território, onde o Estado de Alagoas apresenta 37,25%, segundo Ministério da Integração Nacional – 2005, da sua extensão representada pelo semi-árido. As adversidades ambientais interferem diretamente no dinamismo econômico, com indicadores sociais abaixo da média regional e nacional e pela degradação ambiental que incide sobre seus frágeis ecossistemas.

Tais adversidades ambientais são geridas pela grande irregularidade na precipitação onde podem provocar enchentes como também secas. Segundo Molion e Bernado, 2002, a variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o NEB, tanto nas escalas espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico.

A limitação de dados hidrológicos no município de estudo é um agrave para a gestão e manejo dos recursos hídricos inviabilizando uma gestão eficiente (Pinto, 2004). Segundo Pinto *et al.* (1996) citado por Mello *et al.* (2003), no meio rural, normalmente as obras hidráulicas estão inseridas em bacias hidrográficas de pequeno porte e pouco habitadas. Sendo que as precipitações são consideradas com duração inferior a 120 minutos, e a probabilidade de ocorrência do evento, expressa pelo tempo de retorno, geralmente inferior a 20 anos.

Para regiões onde há tais limitações é possível realizar estimativas de precipitações máximas através de métodos estatísticos, que ao longo dos estudos já realizados vem se consolidando devido aos bons resultados adquiridos. (e.g Machado *et al.* 2011; Mello *et al.* 2003)

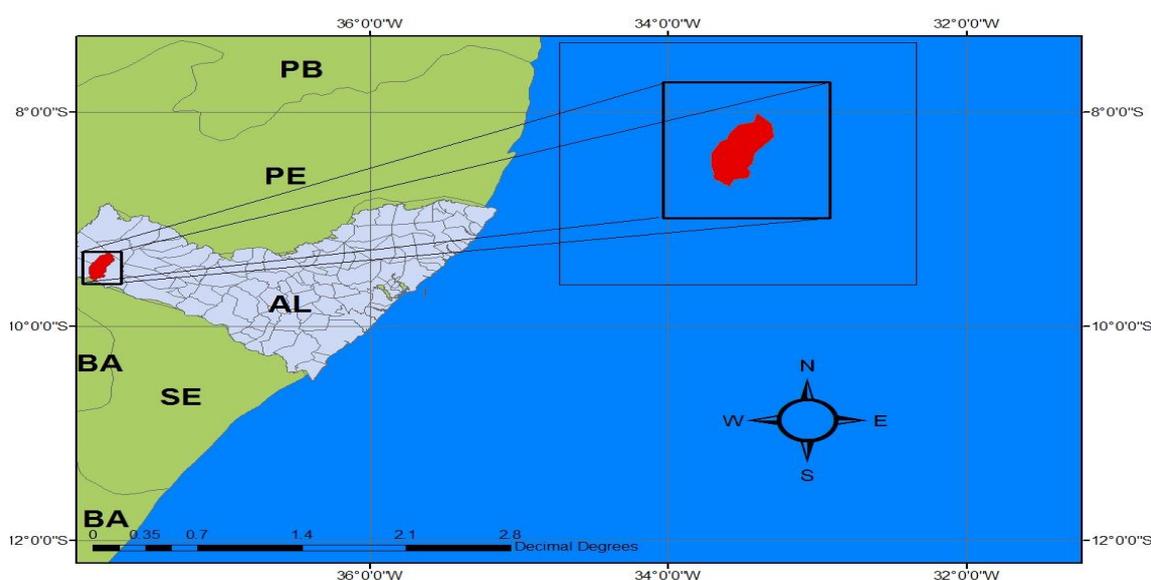
Propôs-se, então, com este trabalho, a estimativa das precipitações máximas relacionadas com suas durações e tempos de retorno, no município de Olho D'água do Casado. Assim uma curva intensidade – duração – frequência (i.d.f) para a região de estudo foi criada, para um efetivo gerenciamento dos recursos hídricos, a fim de promover uma melhoria na qualidade de vida da população, dando-lhes suporte para um melhor planejamento sobre o monitoramento do período chuvoso.

2- METODOLOGIA

O local de estudo é o município de Olho D'água do Casado que está localizado na região oeste do estado de alagoas (Figura 1), a uma altitude aproximada de 230 m e coordenadas geográficas 9°30'03'' S e 37°49'56'' O. O clima da região é do tipo Tropical Semi-Árido, com chuvas de verão, contendo uma precipitação média anual de 431,8 mm, de acordo com a CPRM, 2005.

Foram analisados os dados pluviométricos disponíveis de um posto de monitoramento (00937017) localizado no próprio município, e inserido na região hidrográfica de Talhada. A série histórica analisada inicia-se no ano de 1963 com término em 2000 e obtidas através do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Preliminarmente, foram separadas as chuvas máximas de “um dia” para cada mês da série histórica, a partir destas, obteve-se uma nova série de dados contendo para cada ano sua respectiva chuva máxima diária. Em seguida, foi realizada a desagregação das chuvas máximas diárias de cada ano em chuvas de 24, 12, 10, 8, 6, 1 hora e 30, 25, 20, 15, 10, 5 minutos aplicando o Método das Relações das Durações (CETESB, 1979 apud Tucci, 2001). Com o método estatístico de Ven Te Chow (Pedrazzi, 2003) relacionou-se precipitação com o tempo de recorrência. Desta forma, foi determinada a curva e equações de chuva intensa. Em outra análise das precipitações utilizou-se o *software* MATLAB, onde se produziu tempos de recorrência para cada altura de chuva utilizando as funções probabilísticas Gev e Gama.

Figura 1 – Região de estudo com destaque para o município de Olho D'água do Casado



2.1 Séries de máximas anuais

As séries de máximas anuais foram obtidas a partir da análise dos dados disponíveis no posto pluviométrico (00937017) do município de Olho D'água do Casado, onde se realizou uma análise de consistência eliminando anos da série histórica que apresentaram muitas falhas nos dados e com repetições de máximas supostamente estranhas. O resultado pode ser visualizado na tabela 1.

Tabela 1 – Dados de máximas precipitações diárias anuais (ANA).

ANOS

	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1984	1986	1987	1988	1989
(mm)	75.2	52.4	36.2	51.3	58.2	26.3	60.2	22.3	25.6	25.2	75.2	30.2	54.2	53	50.6	119	25.2	25.2	50.4	50.2

2.2 Desagregações das chuvas máximas

A desagregação das chuvas máximas diárias em 24, 12, 6, 1 hora e 30, 25, 20, 15, 10 e 5 minutos foi através do Método das Relações das Durações. De acordo com Tucci, 2001, este método é baseado nas seguintes premissas: a) existe a tendência das curvas de probabilidade, correspondentes às diversas durações, de se manterem equidistantes e que; b) para locais diferentes há grande similaridade nas relações entre intensidades médias máximas de diferentes estações. Pode-se verificar que as chuvas de 24 horas e que a de 1 dia guardam uma relação quase constante e independente do tempo de recorrência, cujo valor é da ordem de 1,10, relativamente próximo com o valor de 1,13 adotado pelo U.S Weather Bureau (Oliveira, 2011 apud Tucci, 2009).

A tabela 2 mostra os valores correspondentes às relações entre durações utilizadas.

Tabela 2 – Relação entre durações. (Tucci, 2001 apud CETESB, 1979).

	R
24h/1dia	1,10
12h/24h	0,85
10h/24h	0,82
8h/24h	0,78
6h/24h	0,72
1h/24h	0,42
30 min/1h	0,74
25 min/30min	0,91
20 min/30min	0,81
15 min/30min	0,70
10 min/30min	0,54
5 min/30min	0,34

2.2 Ajuste Estatístico

O método de Ven Te Chow foi aplicado neste trabalho com a finalidade de gerar precipitações máximas para os tempos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Para tal, tiveram-se como base as intensidades de chuvas com suas respectivas durações obtidas com o método das Relações de Durações. Na fórmula geral de Ven Te Chow, a variável de interesse (precipitação máxima) é expressa em função da média, do desvio padrão e do fator de frequência K_T , conforme mostrado a seguir (Equação 1):

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_X \quad (1)$$

Onde,

- i) X_T - variável de interesse para o período de retorno T;
- ii) \bar{X} - média amostral;
- iii) S_x - desvio padrão;
- iv) K_T - fator de frequência, tabelado conforme a Distribuição de Probabilidades em função do período de retorno T .

Para o devido trabalho, utilizou-se a seguinte fórmulação apresentado baixo para o fator frequência:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0,577 + \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2)$$

Onde, T é o tempo de retorno para o qual se deseja obter o valor da frequência.

Na tabela 4 são apresentados os respectivos valores de K.

Tabela 3 – Valores utilizados para o fator de frequência.

Tr	K
2	-0,149
5	0,735
10	1,32
25	2,06
50	2,608
100	3,152

2.4 INTENSIDADES DE CHUVAS

A partir dos dados do ajuste estatístico, se tornou possível encontrar a intensidade de chuva, razão da precipitação por uma duração, como mostra a equação 3:

$$i = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (3)$$

Onde, P é a precipitação e t é o tempo referente a tal valor precipitado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de precipitações máximas repartidas para cada duração disposta na tabela 2 é disposto na tabela 4. Observando a mesma é possível notar que os valores vão decrescendo à medida que a duração diminui.

Tabela 4 – Valores da Desagregação das precipitações diárias (mm)

Relações			ANO																			
			1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1984	1986	1987	1988	1989
Duração	Precipitação diária		75,2	52,4	36,2	51,3	58,2	26,3	60,2	22,3	25,6	25,2	75,2	30,2	54,2	53	50,6	119,2	25,2	25,2	50,4	50,2
24 horas	24h/1dia	1.10	82,72	57,64	39,82	56,43	64,02	28,93	66,22	24,53	28,16	27,72	82,72	33,22	59,62	58,3	55,66	131,12	27,72	27,72	55,44	55,22
12 horas	12h/24h	0.85	70,31	48,99	33,85	47,97	54,42	24,59	56,29	20,85	23,94	23,56	70,31	28,24	50,68	49,56	47,31	111,45	23,56	23,56	47,12	46,94
10 horas	10h/24h	0.82	67,83	47,26	32,65	46,27	52,50	23,72	54,30	20,11	23,09	22,73	67,83	27,24	48,89	47,81	45,64	107,52	22,73	22,73	45,46	45,28
8 horas	8h/24h	0.78	64,52	44,96	31,06	44,02	49,94	22,57	51,65	19,13	21,96	21,62	64,52	25,91	46,50	45,47	43,41	102,27	21,62	21,62	43,24	43,07
6 horas	6h/24h	0.72	59,56	41,50	28,67	40,63	46,09	20,83	47,68	17,66	20,28	19,96	59,56	23,92	42,93	41,98	40,08	94,41	19,96	19,96	39,92	39,76
1 hora	1h/24h	0.42	34,74	24,21	16,72	23,70	26,89	12,15	27,81	10,30	11,83	11,64	34,74	13,95	25,04	24,49	23,38	55,07	11,64	11,64	23,28	23,19
30 min	30 min/1h	0.74	25,71	17,91	12,38	17,54	19,90	8,99	20,58	7,62	8,75	8,62	25,71	10,32	18,53	18,12	17,30	40,75	8,62	8,62	17,23	17,16
25 min	25 min/30min	0.91	23,40	16,30	11,26	15,96	18,11	8,18	18,73	6,94	7,96	7,84	23,40	9,40	16,86	16,49	15,74	37,08	7,84	7,84	15,68	15,62
20 min	20 min/30min	0.81	20,82	14,51	10,02	14,21	16,12	7,28	16,67	6,18	7,09	6,98	20,82	8,36	15,01	14,68	14,01	33,01	6,98	6,98	13,96	13,90
15 min	15 min/30min	0.70	18,00	12,54	8,66	12,28	13,93	6,29	14,41	5,34	6,13	6,03	18,00	7,23	12,97	12,68	12,11	28,53	6,03	6,03	12,06	12,01
10 min	10 min/30min	0.54	13,88	9,67	6,68	9,47	10,74	4,86	11,11	4,12	4,73	4,65	13,88	5,58	10,01	9,78	9,34	22,01	4,65	4,65	9,30	9,27
5 min	5 min/30min	0.34	8,74	6,09	4,21	5,96	6,77	3,06	7,00	2,59	2,98	2,93	8,74	3,51	6,30	6,16	5,88	13,86	2,93	2,93	5,86	5,84

O resultado da aplicação do método estatístico de Chow é mostrado na tabela 5, onde se observa precipitações de cada duração ligada a um tempo de retorno.

Tabela 5. Resultado da aplicação do método de Ven Te Chow

Precipitações para cada tempo de retorno ($X_{tr}=X_m+K*\sigma_x$)

Tr	K	24h	12h	10h	8h	6h	1h	30min	25min	20min	15min	10min	5min
2	0,7	49,283	41,890	40,412	38,440	35,483	20,699	15,317	13,938	12,407	10,722	8,271	5,208
5	0,9	72,207	61,376	59,210	56,321	51,989	30,327	22,442	20,422	18,178	15,709	12,119	7,630
10	1,6	87,377	74,271	71,649	68,154	62,912	36,698	27,157	24,713	21,997	19,010	14,665	9,233
25	2,4	106,567	90,582	87,385	83,123	76,729	44,758	33,121	30,140	26,828	23,185	17,885	11,261
50	3,1	120,778	102,662	99,038	94,207	86,960	50,727	37,538	34,160	30,406	26,277	20,270	12,763
100	3,7	134,886	114,653	110,606	105,211	97,118	56,652	41,922	38,149	33,957	29,346	22,638	14,254

A tabela 6 mostra a relação de intensidade (mm/hora), duração (min.) e frequência (anos) das precipitações para o município de Olho D'água do Casado.

Tabela 6 – Valores de Intensidade (mm/hora)

Durações(min)	Tempo de Retorno (anos)					
	2	5	10	25	50	100
1440	2,053	3,009	3,641	4,440	5,032	5,620
720	3,491	5,115	6,189	7,549	8,555	9,554
600	4,041	5,921	7,165	8,739	9,904	11,061
480	4,805	7,040	8,519	10,390	11,776	13,151
360	5,914	8,665	10,485	12,788	14,493	16,186
60	20,699	30,327	36,698	44,758	50,727	56,652
30	30,634	44,884	54,314	66,242	75,076	83,845
25	33,452	49,013	59,311	72,337	81,983	91,559
20	37,220	54,534	65,991	80,484	91,217	101,872
15	42,888	62,837	76,039	92,739	105,106	117,383
10	49,627	72,712	87,988	107,313	121,623	135,829
5	62,493	91,563	110,800	135,134	153,155	171,044

Nas figuras 2 e 3 são apresentados os comportamentos dos dados descritos na tabela 5, onde para melhor visualização e entendimento foram separados em dois agrupamentos: de 5 a 60 minutos e 360 a 1440 minutos.

Figura 2 – Curvas de Intensidade-Duração-Frequência

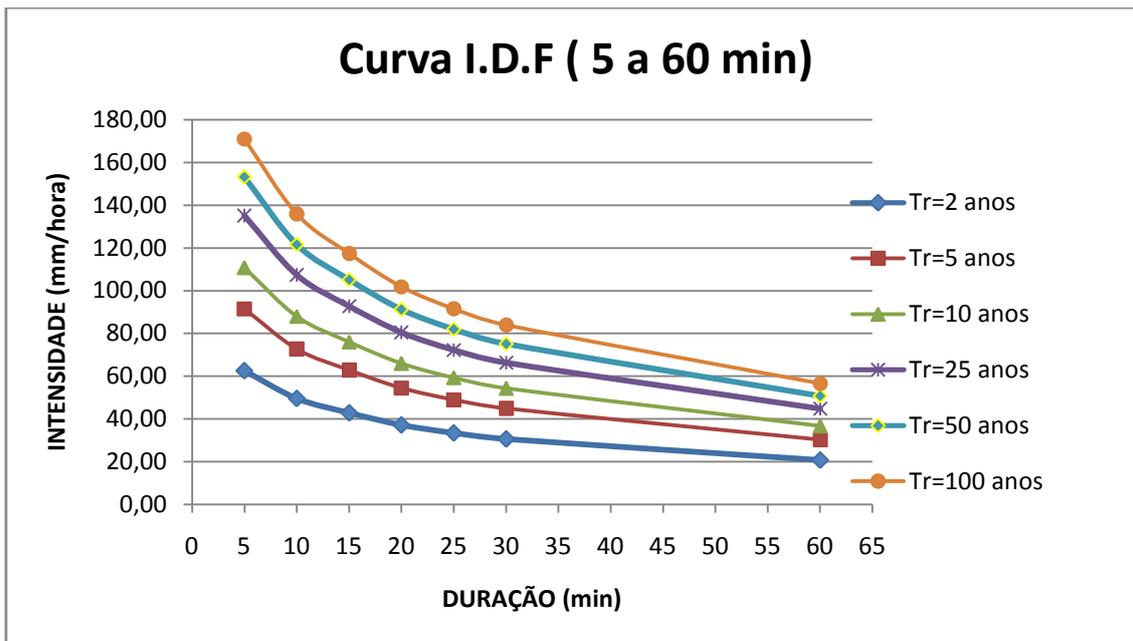
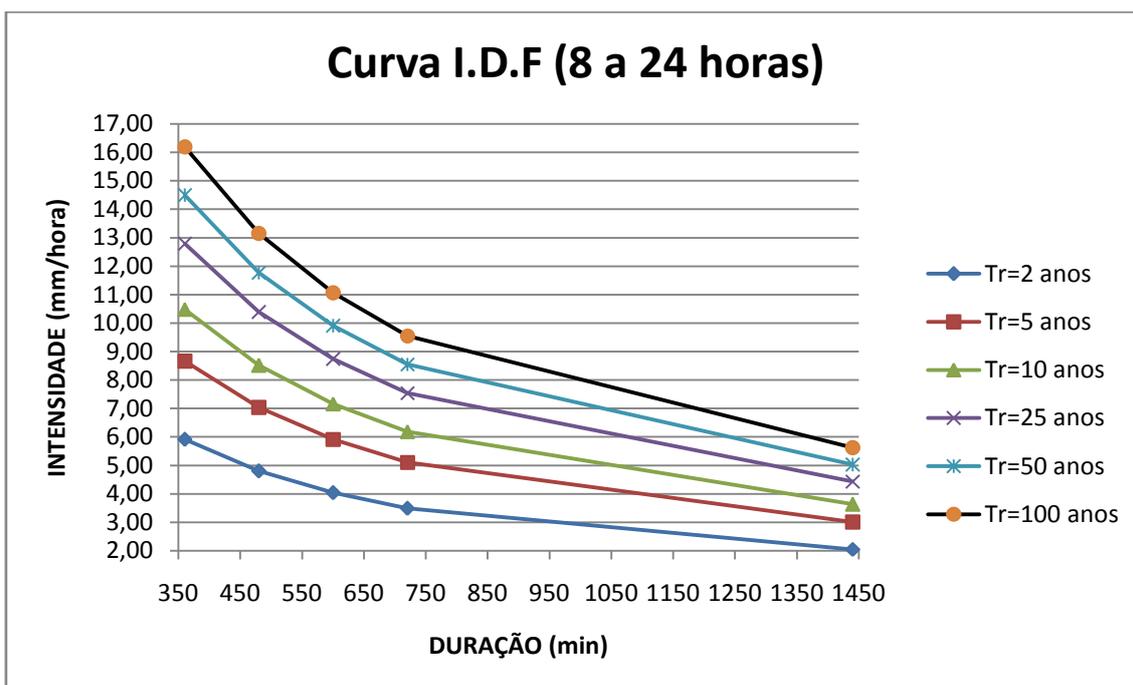


Figura 3 – Curvas de Intensidade-Duração-Frequência



Analisando as figuras 2 e 3, observa-se que o comportamento das curvas é muito semelhante, um efeito já esperado, devido a outros estudos já elaborados por diversos autores para outras regiões. Buscou-se realizar para todas as curvas um ajuste que melhor se adequasse, tendo a função logarítmica apresentando um melhor resultado. É bastante provável que haja irregularidades ao se analisar intensidades de precipitação nas durações entre 12 e 24 horas, devido ao método utilizado na desagregação das

chuvas. Contudo, tais disparidades demandariam outros estudos e pesquisas que não cabem no devido trabalho.

A tabela 7 e 8 mostram as equações logarítmicas e de potência, respectivamente, que melhor se ajustam na determinação da intensidade máxima de chuvas, em função da frequência e da duração das chuvas, em minutos. Para todas as amostras de durações obteve-se um bom ajuste com os valores do coeficiente de determinação (R^2) acima de 99%.

Tabela 7 – Equações de ajuste logarítmico para durações entre 5 e 60 minutos

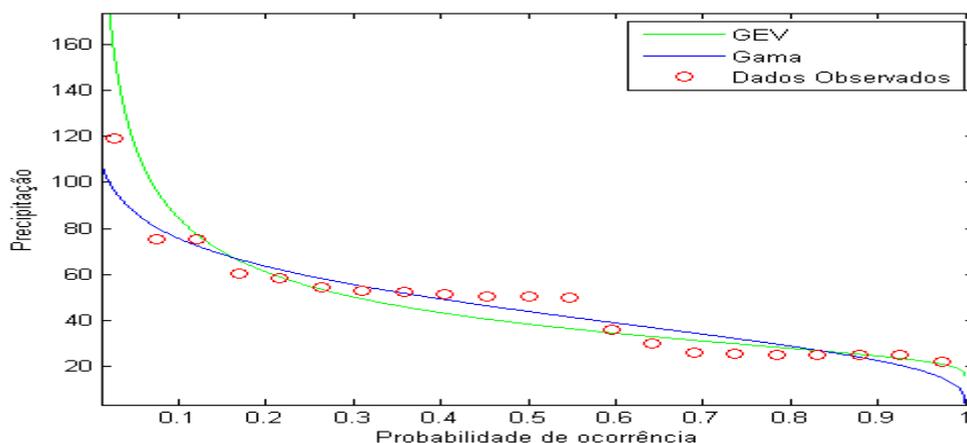
TEMPO DE RETORNO (ANOS)						
DURAÇÃO	2	5	10	25	50	100
5 - 60 min.	$y = -17\ln(x) + 88,95$ $R^2 = 0,996$	$y = -24,9\ln(x) + 130,3$ $R^2 = 0,996$	$y = -0,54\ln(x) + 2,867$ $R^2 = 0,996$	$y = -0,67\ln(x) + 3,512$ $R^2 = 0,996$	$y = -0,76\ln(x) + 3,989$ $r^2 = 0,996$	$y = -0,85\ln(x) + 4,463$ $R^2 = 0,996$

Tabela 8 – Equações de ajuste potencial para durações entre 360 e 1440 minutos

TEMPO DE RETORNO (ANOS)						
DURAÇÃO	2	5	10	25	50	100
360 - 1440 min.	$y = 542,2 x^{-0,76}$ $R^2 = 0,999$	$y = 794 x^{-0,76}$ $R^2 = 0,999$	$y = 961,3 x^{-0,76}$ $R^2 = 0,999$	$y = 1172 x^{-0,76}$ $R^2 = 0,999$	$y = 1328 x^{-0,76}$ $R^2 = 0,999$	$y = 1484 x^{-0,76}$ $R^2 = 0,999$

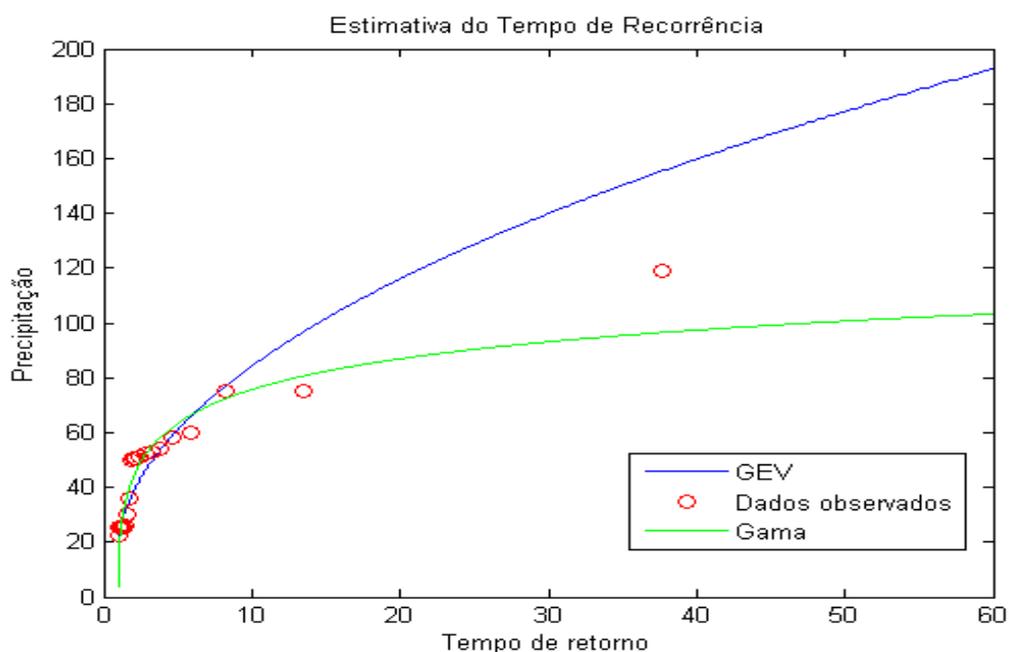
A fim de analisar qual a relação das precipitações máximas diárias anuais com suas frequência de ocorrência, foram realizados testes com dois tipos de modelos estatísticos. Como dado de entrada nos dois modelos utilizou-se as alturas de chuva que sofreram o método da Relação de Duração. Para tal, utilizaram-se as funções probabilísticas Gev e Gama no *software* MATLAB, onde o resultado dessas estimativas é demonstrado na figura 4. A aderência do modelo se deu através do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Figura 4 – Resultado dos testes de probabilidades



Como já era de se esperar as chuvas de menores alturas pluviométricas têm maior probabilidade de ocorrerem ao longo do tempo, fato demonstrado em diversas literaturas. De posse do resultado dos testes de probabilidade estimou-se o tempo de retorno referente a cada precipitação apresentado na figura 5.

Figura 5 – Estimativa dos tempos de retorno através dos modelos probabilísticos Gev e Gama.



O resultado apresentado na figura 5 torna evidente que o tempo de retorno para a uma quantidade bastante significativa das precipitações da série histórica variam entre 2 e 10 anos. Este fato enfatiza a problemática das chuvas no semi-árido, onde baixas alturas pluviométricas juntamente com os longos dias de estiagem acarretam prejuízos no desenvolvimento econômico e social da região que apresenta umas das áreas mais degradam do país (Silva, 2006).

O presente trabalho tem sua validação através da consolidação do método da Relação das Durações desenvolvido pela CETESB, 1980. Aonde o mesmo, vem ao longo do tempo utilizado em larga escala por diversos estudos em que se faz necessário o conhecimento das chuvas intensas, valendo salientar os ótimos resultados. (e.g Moruzzi e Oliveira, 2009; Santos *et al.* 2009; Damé *et al.* 2010).

Deste modo, o atual estudo mostra-se relevante no que diz respeito a chuvas intensas, sobretudo devido à falta de pesquisas hidrológicas na região. Deve ser salientado que o período de dados utilizados é curto e que a série não é atual, assim,

produzindo grandes incertezas quanto maior for o período de retorno, sugerindo a necessidade da realização de estudos futuros com séries maiores, mais atuais e utilizando postos pluviométricos próximos para melhorar a caracterização da região de estudo e do semi-árido alagoano.

4 CONCLUSÃO

As equações ajustadas de chuvas intensas apresentaram bom ajuste, com coeficientes acima de 99% para todas as durações. Sendo estes resultados satisfatórios, principalmente para bacias hidrográficas de pequeno porte, onde as durações de projeto são abaixo de 120 minutos.

Os dados da série histórica analisada recorrem em um período máximo de 10 anos, permitindo assim, a utilização da tabela 6 em projetos hidroagrícola de forma mais segura.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>, acessado em 2012.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil : “*Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Olho D’ Água do Casado estado de Alagoas*”. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S.; ROSSKOFF, J.L.C. (2010) “*Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola. v.14, n.1, p.46–54.

MACHADO, M.A.M.; Silva, E.D.B. (2011). “*Estimativa de chuvas intensas para o oeste de Minas Gerais e o entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Furnas*”. Conexão Ciência v.6, n.2.

MARUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C. (2009). “*Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: Métodos e aplicação*”. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.13, p.59-68.

MELLO, C.R. *et al.* (2003). “*Modelos Matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.121-128, Campina Grande.

- MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. (2002). “*Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro*”. Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, n.1,1- 10.
- OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; PEREIRA, S., MORAIS, N. R. (2011). “*Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil*”. Ambi-Agua, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290.
- PINTO, E.B. (2004). “*Educação Ambiental em Área Semi-árida da Bahia: uma contribuição para gestão*”. Dissertação de Mestrado, UFPE. Recife.
- PONTES, P.R.M.; SOUZA, V.C.B.; NEVES, M.G.F.P. (2008) “*Análise de chuvas intensas na cidade de Maceió*”. in Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.
- SANTOS, G.G.; FIQUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. (2009). “*Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, (Suplemento), p.899–905.
- SILVA, R.M.A. (2006). “*Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmas e sustentabilidade do desenvolvimento*”. Tese de Doutorado, UnB.