

POSSÍVEIS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CURVAS INTENSIDADE DURAÇÃO FREQUÊNCIA

Andre Schardong¹, Slobodan P. Simonovic²

RESUMO--. Neste artigo é apresentado o possível impacto que mudanças climáticas podem provocar em curvas intensidade duração frequência (IDF) que geralmente são utilizadas para determinar tormentas (ietogramas) de projeto. A metodologia consiste em extrair fatores de alteração dos modelos de circulação global (GCM) e aplicar em dados históricos observados para gerar cenários futuros. Um modelo estocástico é utilizado para geração das séries de precipitação que representarão os cenários futuros. A metodologia é aplicada para uma estação pluviográfica localizada na cidade São Paulo-SP. A análise foi realizada utilizando apenas um modelo GCM para dois diferentes cenários de emissão de poluentes e dois períodos futuros (2046 – 2065 and 2081-2100). Resultados indicam uma tendência de incremento nas precipitação extremas de 4% a 26% em comparação com à IDF ajustada aos dados históricos observados.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, curvas intensidade duração frequência, modelos de circulação global.

POSSIBLE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON INTENSITY DURANTION FREQUENCY CURVES

RESUMO--. This paper presents and study of possible impacts of climate change on intensity duration frequency curves (IDF) which are usually used for Project design. Global circulation models (GCMs) are used to extract change factors to create future future scenarios from historical observed data. A stochastic weather generator is used to create series of precipitation from the modified historical data that will represent the future. For case study, a station in São Paulo city in Brazil is selected. Only one GCM is used to represent the future with two different emission scenarios and two different time-periods (2046 – 2065 and 2081-2100). Results shown the possible increase in extreme precipitation in a range of 4% to 26% compared to IDF adjusted to historical data.

¹ Postdoctoral Fellow, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, N6A 5B9; E-mail: aschardo@uwo.ca

² Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, N6A 5B9; E-mail: simonovic@uwo.ca

1 INTRODUÇÃO

A influência das mudanças climáticas sobre as atividades humanas é de fato de grande preocupação de pesquisadores nesta área. Historicamente, clima limitou e influenciou o desenvolvimento da humanidade principalmente em termos de recursos disponíveis para manutenção da vida, como água, produção agrícola, entre outros fatores.

De acordo com o quarto relatório de avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) – IPCC-AR4 (IPCC, 2007) desde meados do século XX, importantes alterações na precipitação e na temperatura média do planeta vem ocorrendo, e são fortemente atribuídas à emissão de gases com de efeito estufa dióxido de carbono, metano, óxido de nitrogênio). No Brasil este efeito pode ser observado por impactos significativos sobre o uso de terras e do rendimento das culturas, e aumento da frequência e intensidade de inundações e secas. A agricultura no Brasil é uma atividade econômica importante e estudos com base em Modelos de Circulação Global (GCMs) e os modelos de produção projetam diminuição dos rendimentos para as diversas culturas (por exemplo, café, milho, trigo, cevada, uvas).

Mudanças projetadas de temperatura e precipitação pelo IPCC para grandes sub-regiões da América do Sul (IPCC 2007) indicam que a região de São Paulo pode sofrer com grande aumento de temperatura (até 1,2 °C na década de 2020, 4 °C em 2050 e em 2080 7,5 °C) e extremamente ampla gama de mudanças na precipitação de -10 a +6%, -20 a +10% e - 40 a +12% em 2020, 2050 e 2080, respectivamente.

Vários pesquisadores vêm estudando e o efeito que mudanças de clima podem provocar em curvas Intensidade Duração Frequência (IDFs) com base no resultado de modelos de circulação global. Curvas IDF são frequentemente utilizadas para determinação de tormentas de projeto e consequente dimensionamento de estruturas. Prodanovic e Simonovic (2007) determinaram curvas IDF para condições climática atuais e futuras para a cidade de London (Ontario – Canada) usando um algoritmo estocástico K-NN (“k”-ésimo vizinho mais próximo) para a geração das séries sintéticas dos cenários futuros. Para o cenário mais úmido os autores determinaram acréscimo de até 30% na precipitação para alguns períodos de retorno e duração da chuva. Peck e Simonovic (2009) e Solaiman e Simonovic (2011) utilizaram o mesmo algoritmo com metodologias similares para determinação e construção das curvas IDF.

Os cenários futuros são gerados em função de estimativas a partir dos resultados de modelos de circulação global (GCMs) ou modelos de circulação acoplados atmosfera-oceano (AOGCMs). Diferentes modelos e resultados estão disponíveis na literatura e são produzidos por diferentes centros de pesquisa. Estes modelos de circulação global simulados para o IPCC AR4 são baseados em diferentes cenários de emissões de gases de efeito estufa. Cenários comumente utilizados para análises de resultados dos GCMs são os extremos, seja de alta emissão de gases como o SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) A2 ou baixa emissão como o SRES B2, bem como cenários intermediários, em geral o SRES A1B (Nakicenovic et al. 2000). As estimativas de emissão para os diferentes cenários são apresentados de forma gráfica na Figura 1

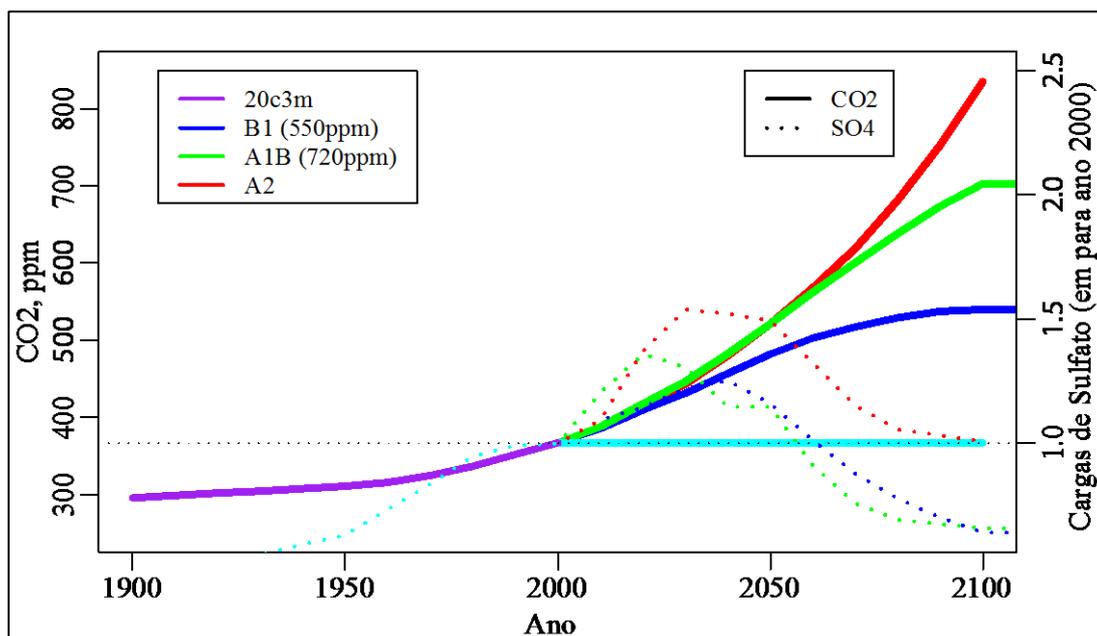


Figura 1 – Cenários de Emissão do IPCC AR4 – fonte: Nakicenovic et al. 2000

Infelizmente os AOGCM possuem resolução e escala muito grande para serem aplicados diretamente em escala das bacias hidrográficas. A resolução espacial destes modelos varia, sendo geralmente compostos por grids de pontos nos quais séries temporais estão associadas. A resolução das séries temporais também é variada podendo ser mensal ou diária (Solaiman e Simonovic, 2011).

Para a utilização das saídas dos modelos AOGCM em escala local é necessário realizar algum tipo de transformação. Várias técnicas existem e são discutidas em Salathé Jr et al (2007), Piani et al. (2010) e Gaur (2013). Estas técnicas podem ser bastante simplificadas utilizando valores médios mensais ou mais apuradas nas quais valores diários são utilizados. Para a comparação podem ser utilizados, por exemplo, curvas de frequência acumulada para melhorar a aderência dos AOGCM aos dados observados. Além disso técnicas de correção de viés dos AOGCM são muitas vezes aplicadas. Estas técnicas consistem essencialmente em comparar dados históricos com dados gerados por AOGCM, no mesmo período dos dados históricos disponível.

Modelos estocásticos geradores de clima geram séries climáticas para auxiliar na elaboração de políticas de manejo de recursos hídricos. A premissa básica é de que as séries produzidas mantém as mesmas características estatísticas da séries observados. Estes modelos são em sua essência geradores de números aleatórios para produzir as séries sintéticas. Isto permite que a variabilidade natural esteja presente e seja avaliada em séries climáticas geradas a partir da combinação de dados observados com os possíveis efeitos provocadas nas mesmas por mudanças no clima.

2 METODOLOGIA

Neste estudo a metodologia aplicada para verificação de possíveis alterações em curvas Intensidade-Duração-Frequência desvio à possíveis alterações climáticas e compostas pelos seguintes passos:

- 1) seleção da posto para obtenção dos dados;
- 2) análise e verificação e preenchimento da série disponível;

- 3) geração da série sintética utilizando modelo gerador de dados climáticos;
- 4) ajuste de curva IDF para a série observada e gerada para comparação;
- 5) seleção do modelo GCM e cenários de emissão;
- 6) geração das séries futuras com modelo gerador de clima a partir da série histórica om a transformação para a condição imposta pelos cenários analisados.

2.1 Ajuste das Curvas IDF

Para ajuste das curvas IDF foi utilizada a Eq. 1, proposta por Junior e Magni (1999), especialmente por que permitirá a comparação com as equações ajustadas no estudo de caso aqui utilizado. Os parâmetros da

$$i(t, T) = A \cdot (t + B)^C + D \cdot (t + E)^F \cdot \left[G + H \cdot \ln \ln \frac{T}{T - 1} \right] \quad \text{q. 1} \quad E$$

Onde $i(t, T)$ é a intensidade em mm/h, t a duração da chuva em minutos, T o período de retorno e A, B, C, D, E, F, G, H são parâmetros de ajuste da equação.

O ajuste das curvas IDF foi realizado usando ajustando-se inicialmente uma distribuição de probabilidades de Gumbel para cada duração (10, 20, 30 e 60 min, 1, 2, 6, 12, 18 e 24 horas). Como indicador de qualidade de ajuste, foi utilizada a soma dos mínimos quadrados. O ajuste das curvas foi realizado para os seguintes condições:

- - dados históricos observados;
- - série gerada pelo modelo de clima a partir da série histórica sem transformação;
- - séries geradas pelo modelo gerador de clima para cenários futuros a partir da série histórica com a transformação para a condição imposta pelos cenários analisados.

2.2 Modelo Gerador de clima

Geradores de clima estocásticos geram dados climáticos para auxiliar na elaboração de políticas de manejo de recursos hídricos. A premissa básica é de que as séries produzidas mantém as mesmas características estatísticas da séries observados. Neste estudo o modelo de gerador de clima utilizado é o proposto por Srivastav e Simonovic (2013). Este modelo basicamente utilizada análise por componentes principais associado ao método de máximo entropia (ou MEB). O modelo gera séries de igual tamanho e com mesmas características (média e desvio padrão) da série observada, mantendo também a distribuição temporal e correlação espacial entre estações e séries históricas de dados.

2.3 Seleção os modelos climáticos e cenários de emissão

Para geração de cenários futuros com base nos cenários de emissão de gases de efeito estufa se faz necessária a seleção de um dos várias modelos gerados para a fase três do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP3) para o IPCC AR4. Muitos autores sugerem a seleção dos modelos climáticos com base no desempenho destes segundo critérios de aderência aos dados históricos observados Silveira et al. (2009), Lazaro (2011) e Gaur (2013). Índices de aderência são propostos e que em essência medem o descolamento do resultado do modelo ao observado. Para

efeitos práticos neste estudo será avaliado apenas um dos modelos com dois cenários de emissão. Entretanto o modelo foi selecionado com base nos resultados publicados em Silveira et al.. (2009) e Lazaro (2011). Para os modelo GCM selecionado são selecionados ainda dois cenários de emissão de poluentes.

2.4 Geração de séries futuras

Para a geração de séries futuras são utilizadas funções de transferência, na qual as simulações do período histórico e cenários futuros do GCM são comparadas. Os dados diários de precipitação do GCM são utilizados para cálculo de curva de frequência acumulada (CFA) de ambos os períodos, histórico e futuro. Para este estudo as CFA foram dívidas em 500 intervalos. Os valores para cada intervalo são cálculos e a relação entre eles é aplicado à série histórica para gerar a série futura. Este procedimento é similar aos utilizados por Piani et al. (2010) e Gaur (2013). Pode-se notar que para cada mês que o número de favores de transformação é da mesma magnitude do número de intervalos usados nas curvas de frequência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para aplicação da metodologia e análise dos resultados uma única estação pluviográfica foi selecionada na cidade de São Paulo. A estação com código E3-035 (IAG USP) possui coordenadas. Latitude 23°39'S e Longitude 46°38'W.

Para o modelo de circulação global – GCM foi selecionado um dos modelos do *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis – CCCma*. O modelo utilizado foi o *cccma.cgcm3.1.run2 (CCCMA.CGCM3 1-T47)*, que segundo Silveira et al. (2009) e Lazaro (2011) apresenta a melhor aderência aos dados observados para a bacia do Prata (na qual está localizado o posto em análise) em relação a outros modelos. Foram selecionados dois cenários, um de alta emissão do IPCC AR4 SRES A2 e um de baixa SRES B1.

Inicialmente uma análise dos dados foi realizada para determinar a sua extensão e qualidade. Foi selecionado o período de 1961 até o 1997 por possuir melhor qualidade de dados consolidados e por coincidir com o período da simulação histórica do modelo GCM selecionado. Para construção de curvas IDF são selecionados os eventos mais críticos para cada ano da série para as diferentes durações analisadas.

Para verificar a eficácia do modelo gerador climático, 20 réplicas da série histórica foram geradas e as médias da duração de 24horas de cada mês são comparadas, conforme Figura 2, onde são apresentados os “box-plot” para as séries geradas e a média para o dados observados. Nota-se que o modelo consegue claramente reproduzir as médias da série histórica. O mesmo ocorre com o desvio padrão e a relação temporal das séries sintéticas geradas.

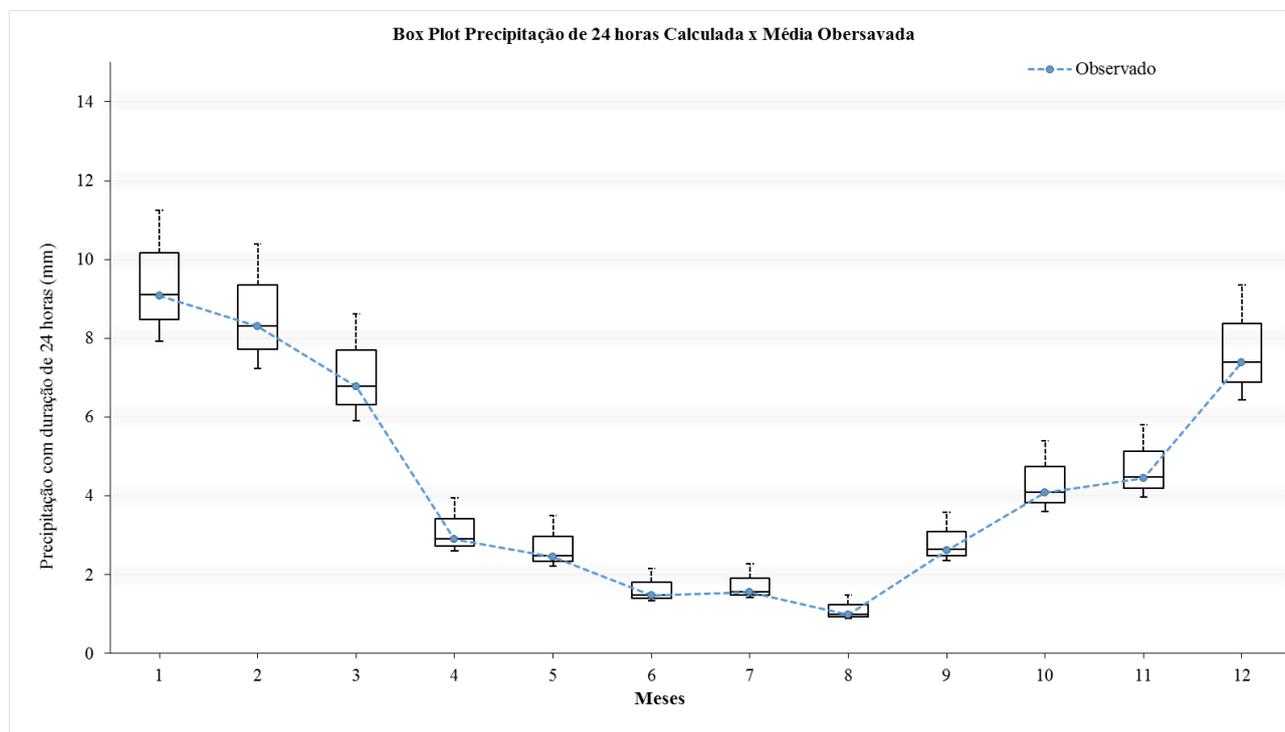


Figura 2 – Comparação de Precipitação média de 24 horas para cada mês do ano, para verificação de desempenho do modelo gerador de clima

Da mesma forma, foram geradas séries para os cenários futuros, sendo que dois períodos são considerados: de 2046 a 2065 (simplesmente denominado de 50s) e de 2081 a 2100 (denominado de 80s). Desta forma são geradas séries para um total de 4 cenários futuros: SREA A2 50s, SRES A2 80s, SRES B1 50s e SRES B1 80s. Tomando-se como base a série histórica e aplicando os fatores correspondentes à cada cenário futuro, novamente 20 séries são geradas para cada duração de precipitação “sub-diária”. Os parâmetros das curvas IDFs ajustadas para os cenários futuros são apresentados na Tabela 1, juntamente com os parâmetros ajustados para os dados históricos, histórico gerado e a equação proposta por Junior e Magni (1999). Nota-se que os parâmetros ajustados neste estudo possuem escalas bastante diferentes. Um dos fatores que podem contribuir para este fato é a extensão da série histórica utilizada. Neste estudo foi utilizada a série histórica do ano de 1961 à 1997 por possuir melhor consistência e coincide com os dados das simulações históricas do modelo GCM utilizados. Nota-se entretanto que a média das precipitações máximas anuais do período 1961 à 1997 é 88,20 mm, maior do que os 64,7mm do período de 1933 a 1997 para duração de 24 horas. O mesmo ocorre, evidentemente, para as outras durações. Este fato explica a diferença no ajuste da curva IDF apresentado neste estudo e a apresentada por Junior e Magni (1999) e pode indicar alteração no regime de precipitação intensas ao longo dos anos. O desvio padrão permanece praticamente inalterado nos dois períodos analisados.

Tabela 1 – Parâmetros das IDFs ajustadas (conforme Eq. 1)

Cenário	Coeficientes da Equação Eq. 1							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Histórico Observado	76,61	15,09	-0,82	9,42	12,31	-0,79	-4,81	-0,55
Histórico Gerado	74,62	12,96	-0,81	8,96	9,93	-0,78	-5,01	-0,50
Junior e Magni (1999)	39,30	20,00	-0,92	10,18	20,00	-0,88	-0,47	-0,84

Cenário	Coeficientes da Equação Eq. 1							
	A	B	C	D	E	F	G	H
SRES A2 - 50s	83,14	7,67	-0,74	7,80	4,91	-0,71	-7,14	-0,44
SRES A2 - 80s	75,65	6,45	-0,75	7,65	2,60	-0,71	-5,84	-0,48
SRES B1 - 50s	76,32	8,93	-0,73	6,74	6,20	-0,70	-7,45	-0,47
SRES B2 - 80s	81,27	14,79	-0,80	9,11	10,78	-0,75	-4,64	-0,60

Uma comparação gráfica da precipitação acumulada para período de retorno de 100 anos é apresentada para os cenários futuros do SRES A2 (Figura 3) e para o SRES B1 (Figura 4). Nota-se claramente que existe uma tendência de aumento da precipitação para ambos os cenários futuros. Considerando todos os senários e períodos de retorno o valor do aumento de precipitação observada ficou entre 4% a 26% em comparação à IDF gerada para o período histórico observado. É interessante observar que o cenário B1 80s (teoricamente desejável por ser de menor emissão de poluentes) gera valores ligeiramente maiores de precipitação para $T = 100$ anos em relação ao cenário de maior emissão, SRES A2.

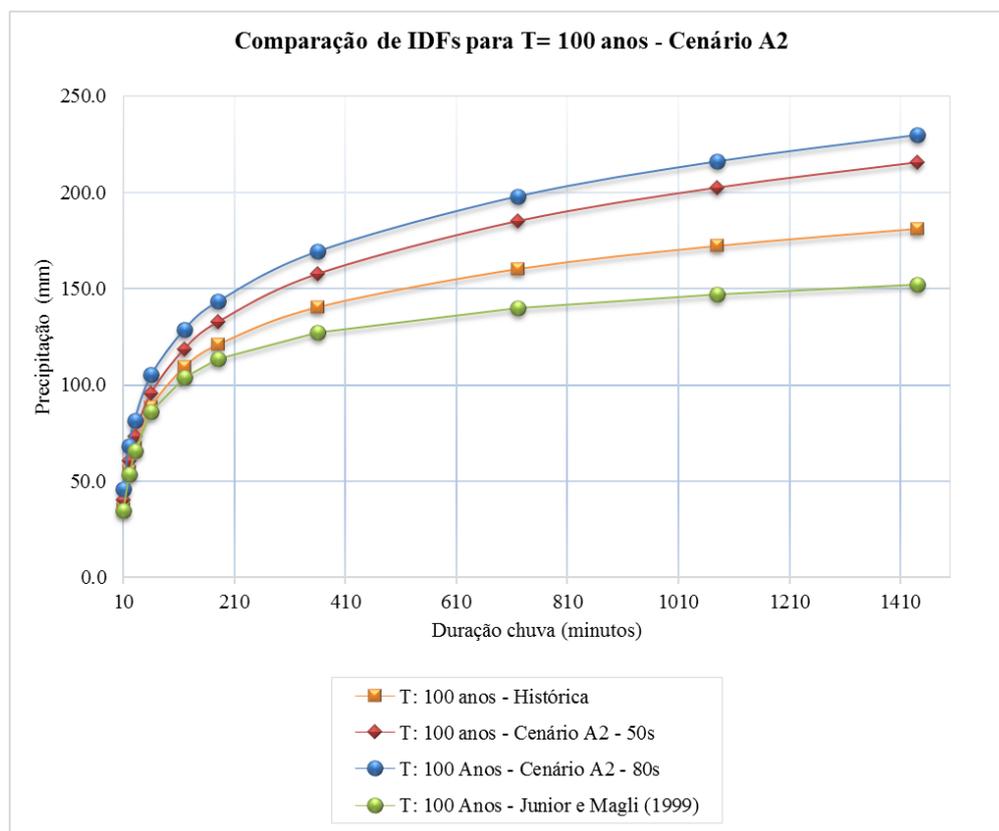


Figura 3 – Comparação de curvas de Precipitação acumulada para T: 100 anos – Cenário A2

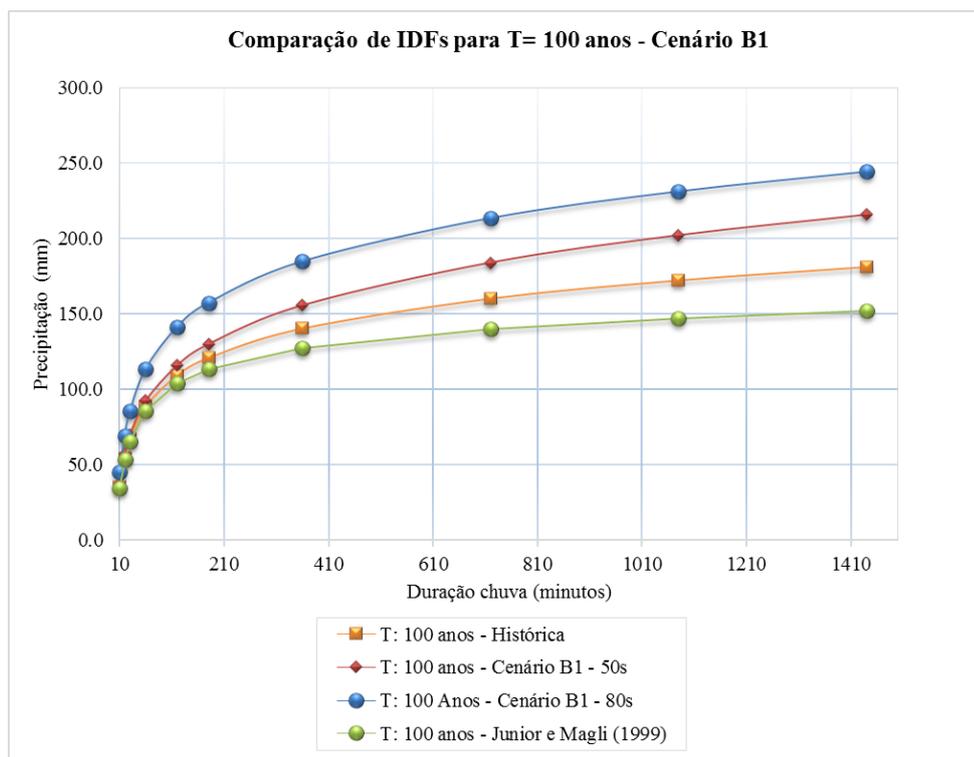


Figura 4 – Comparação de curvas de precipitação acumulada para T: 100 anos – Cenário B1

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo é apresentado o possível impacto de mudanças climáticas em curvas IDF que geralmente são utilizadas para determinar tormentas (ietogramas) de projeto. A metodologia consiste em avaliar os resultados de modelos de circulação global (GCM) para cenários futuros, comparando-os com simulações históricas e/ou dados observados. Um gerador de clima é utilizado para geração das séries sintéticas dos cenários futuros baseados nas mudanças aplicadas em dados históricos observados.

Foram utilizados dois cenários, um de alta emissão de poluentes SRES A2 e um de baixa SRES B1 para o modelo cccma.cgcm3.1.run2 (CCCMA.CGCM3 1-T47) e dois períodos futuros de análise (2046 a 2065 e 2081 à 2100). Nota-se um aumento de 4% a 26% na precipitação considerando todos os cenários e período de retornos com relação à IDF ajustada ao período histórico selecionado (1961 a 1997). Este resultado não está em linha com a variação média esperada, segundo relatório do IPCC (2007) para a região da cidade de São Paulo. Entretanto, a análise é realizada para extremos e os resultados apresentados podem de fato ser factíveis.

É importante salientar que esta pesquisa é uma investigação preliminar e é fundamental que outros modelos sejam testados para verificar a tendência de aumento da precipitação extrema para os cenários futuros propostos no IPCC AR4. A aplicação de diferentes modelos certamente fornecerá diferentes resultados, bem como possibilitará a confirmação da tendência aqui apresentada. Além disso, novos resultados para os modelos de circulação global da fase 5 (cinco) do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* para o IPCC's AR5 previsto para Setembro de 2013.

Para o ajuste da curva IDF neste estudo foi utilizada a série de dados do ano 1961 à 1997. A média das precipitações máximas anuais deste período é superior à média considerando-se o

período mais extenso (1933 a 1997) o que pode indicar uma tendência de aumento no regime de precipitação extrema.

5 REFERÊNCIAS

Gaur, A. (2013) Climate Change Impact on Flood Hazard in The Grand River Basin, Ontario, Canada. Dissertação Mestrado. The University of Western Ontario, Canada – 141 pp.

Junior, F. M. e Magni, N. L. G. (1999) Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo, Governo Do Estado De São Paulo - Secretaria De Recursos Hídricos, Saneamento E Obras - Departamento De Águas E Energia Elétrica -Centro Tecnológico De Hidráulica E Recursos Hídricos.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Nakicenovic N. e Swart R. (Eds.) (2000) IPCC Special Report on Emission Scenarios. Cambridge University Press, UK. pp 570

Piani, C., Weedon, G. P., Best, M., Gomes, S. M., Viterbo, P., Hagemann, S., & Haerter, J. O. (2010). Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology*, 395(3-4), 199–215. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.024.

Prodanovic, P. e S. P. Simonovic (2007). "Development of rainfall intensity duration frequency curves for the City of London under the changing climate." Water Resources Research Report no. 058, Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering

Salathé Jr. E. P., Mote P W, Wiley M W, (2007) Considerations for selecting downscaling methods for integrated assessments of climate change impacts. *Int. J. of Climatology*, 27, 1611-1621.

Simonovic, S. P. e Peck A. (2009). Updated rainfall intensity duration frequency curves for the City of London under the changing climate. Water Resources Research Report no. 065, Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering, London, Ontario, Canada, 64 pages. ISBN: (print) 978-0-7714-2819-7; (online) 978-0-7714-2820-3.

Solaiman, T. A. e Simonovic, S. P. (2011). Development of Probability Based Intensity-Duration-Frequency Curves under Climate Change. Water Resources Research Report no. 072, Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering, London, Ontario, Canada, 89 pp. ISBN: (print) 978-0-7714-2893-7; (online) 978-0-7714-2900-2.

Srivastav R. e Simonovic, S. P. (2013) Maximum Entropy Bootstrap based Multi-site, Multivariate Weather Generator, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (em revisão).