



**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS**



**PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO**

PROJETO BRA/06/032

ENQUADRAMENTO PNUD: R.1 P1.17

Carta de Acordo nº 25759/2014 (RC) – SAE – FCPC

Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas

Infraestruturas Urbana

Produto 1 IU

Responsável: Wilson Cabral de Sousa Junior

Brasília, 13 de novembro de 2014

## Sumário

1. Introdução .....	1
2. Objetivo Geral .....	1
3. Objetivos específicos .....	2
4. Referencial teórico .....	2
4.1. Modelos climáticos e hidrologia: vieses e correção.....	2
4.1.1. Correção de viés por transformação de potência.....	3
4.1.2. Correção de viés por ajuste à distribuição gama .....	5
4.2. Modelagem hidrológica .....	6
5. Metodologia.....	8
Infraestrutura urbana .....	9
6. Análise de adaptação .....	10
7. Cronograma, produtos e relatórios .....	11
8. Referências bibliográficas .....	12

## **1. Introdução**

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, na sigla em inglês) aponta que a mudança do clima impõe uma grande ameaça ao desenvolvimento sustentável, por afetar de forma direta e indireta grande parte da população, sua saúde, os recursos hídricos, a infraestrutura urbana e rural, as zonas costeiras, as florestas e a biodiversidade, bem como os setores econômicos – como agricultura, pesca, produção florestal, geração de energia, indústrias – além das cadeias destes setores. Ainda, o IPCC aponta impactos de grande magnitude sobre a América do Sul, em especial sobre recursos hídricos e setores econômicos relacionados, impondo ao governo brasileiro a necessidade de formular, planejar e implantar medidas de adaptação, com vistas a gerenciar riscos climáticos e responder de forma tempestiva aos prováveis impactos decorrente da mudança global do clima. Desta forma, torna-se fundamental a elaboração de subsídios ao planejamento nacional de longo prazo que incorpore a mudança do clima.

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações estão sendo realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de importância para o planejamento estratégico brasileiro, tendo como eixos temáticos: a infraestrutura urbana, a infraestrutura costeira, o setor energético, a disponibilidade hídrica, a agricultura e os transportes cotejados com a dimensão climática.

Este relatório apresenta a metodologia e etapas do estudo sobre as infraestruturas urbana diante de cenários de mudanças climáticas obtidos a partir de dados gerados pelos modelos climáticos regionais contratados pela SAE/PR junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

## **2. Objetivo Geral**

Neste contexto, o estudo evidenciado por este relatório, objetiva, de modo geral,

desenvolver uma avaliação dos prováveis impactos de diferentes cenários climáticos para o Brasil sobre a infraestrutura urbana considerando um horizonte de 30 anos (2010-2040).

### **3. Objetivos específicos**

De modo específico, objetiva-se:

- avaliar os prováveis impactos de distintos cenários de mudanças do clima na infraestrutura urbana de drenagem por meio de indicadores de desempenho das respectivas infraestruturas nos municípios, a serem definidos, mediante critérios de disponibilidade de informação e que estejam elencados no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (2012-2014);
- identificar, hierarquizar e apontar estratégias de adaptação considerando os cenários de mudanças climáticas para a infraestrutura urbana de drenagem definidas, por meio de métodos de apoio à decisão que considerem critérios sociais, econômicos e ambientais para aqueles municípios, dentre os identificados anteriormente, cuja base de dados pré-existente permita a análise.

### **4. Referencial teórico**

#### **4.1. Modelos climáticos e hidrologia: vieses e correção**

O clima na Terra é influenciado basicamente pelo aumento das concentrações dos gases do efeito estufa, alterações na carga e composição de aerossóis e mudanças na superfície terrestre (Hageman *et al.*, 2011). O desenvolvimento de cenários climáticos através de modelos climáticos é fundamental para a compreensão dos potenciais impactos devidos às alterações no clima. A avaliação da vulnerabilidade e o desenvolvimento de estratégias de adaptação para uma determinada região só são possíveis a partir de projeções do clima futuro.

Entretanto, as simulações dos modelos climáticos apresentam, com frequência, um viés decorrente de erros sistemáticos. Os erros dos Modelos Climáticos Regionais (MCRs) advêm dos erros transferidos pelos Modelos Climáticos Globais (MCGs), da

insuficiente resolução das propriedades de superfície e erros devidos às parametrizações. (Fowler *et al.*, 2007; Fowler e Ekström, 2009; Themeßl *et al.*, 2011).

Foram desenvolvidos alguns métodos para reduzir o viés das simulações dos Modelos Climáticos Regionais (MCRs) (Teutschbein e Seibert, 2012; Piani *et al.*, 2010; Themeßl *et al.*, 2011). Teutschbein e Seibert (2012) apresentaram uma revisão dessas técnicas, apontando diferentes métodos de correção do viés de dados diários de precipitação de modelos regionais.

Themeßl *et al.* (2011) compararam diversos métodos de correção de erros aplicados à precipitação diária simulada por modelos climáticos regionais sobre os Alpes. O método baseado no mapeamento de quantis mostrou a melhor performance na redução do viés.

Previsões de precipitação confiáveis, com os erros sistemáticos minimizados, implicam diretamente na disponibilidade hídrica e no risco de inundações. Projeções de séries de precipitação permitem mensurar os impactos nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, aspecto essencial no planejamento da infraestrutura de uma região, sendo que esses impactos influenciam diretamente a agricultura, a geração de energia hidrelétrica, o abastecimento de água, e populações e áreas mais vulneráveis a ocorrência de eventos extremos.

Com o intuito de atingir o objetivo principal deste trabalho que é o de investigar a vulnerabilidade das infraestruturas de drenagem urbana frente às mudanças climáticas e propor medidas de adaptação, a metodologia proposta descortina-se basicamente em três etapas. A primeira etapa, mais robusta do ponto de vista de tempo e de esforço computacional, consiste na construção de uma base de dados e correção do viés das previsões climáticas de precipitação. Propõe-se neste trabalho o emprego das técnicas de transformação de potência e por ajuste à distribuição estatística gama para a correção dos dados simulados de precipitação.

#### **4.1.1. Correção de viés por transformação de potência**

A Transformação de Potência é um método não linear de correção na forma exponencial  $X^b$  usado para ajustar as estatísticas de variância de séries temporais de

precipitação. A metodologia descrita a seguir foi baseada no método apresentado por Teutschbein e Seibert (2012), Leander e Buishand (2007); Leander *et al.*, (2008).

O parâmetro  $b$  é estimado igualando o coeficiente de variação (CV) das simulações de precipitação corrigidas  $X^b$  e o CV dos valores observados, ambos correspondentes ao período de calibração. Esse parâmetro é encontrado para cada mês, sendo estimado através de uma abordagem de distribuição livre, utilizando uma janela de 90 dias onde o mês de interesse é o centro desse intervalo. Por exemplo, para estimar o parâmetro  $b$  do mês de fevereiro, utilizam-se os valores diários de janeiro, fevereiro e março. Portanto a equação utilizada para encontrar o parâmetro  $b$  para o mês  $m$  é:

$$f(b_m) = CV_m(X_{obs,cal}(d)) - CV_m(X_{sim,cal}^{b_m}(d)) \quad (1)$$

Em que os índices *obs,cal* e *sim,cal* significam respectivamente valores observados e valores simulados do período de calibração. A variável  $d$  está relacionada a valores diários da precipitação  $X$ , em mm.

O CV é a razão entre o desvio padrão (mm) e a média (mm), conforme mostra a Equação 2.

$$cv(X(d)) = \frac{\sigma(X(d))}{\mu(X(d))} \quad (2)$$

Finalmente, os valores de precipitação corrigidos, em mm, são obtidos através da Equação 3.

$$X_{sim,m}^*(d) = X_{sim,val}^{b_m}(d) \cdot \frac{\mu_m(X_{obs,cal}(d))}{\mu_m(X_{sim,val}^{b_m}(d))} \quad (3)$$

A correção feita para os valores futuros (2011 a 2040) é a mesma obtida através dos valores do período de controle (1961 a 1990) juntamente com dados observados. Portanto, para as simulações para os anos de 2011 a 2040 aplica-se a Equação 4. O índice *cen* representa os valores dos cenários climáticos, e o índice \* significa valores corrigidos.

$$X_{cen,m}^*(d) = X_{cen}^{b_m}(d) \cdot \frac{\mu_m(X_{obs,cal}(d))}{\mu_m(X_{sim,cal}^{b_m}(d))} \quad (4)$$

#### 4.1.2. Correção de viés por ajuste à distribuição gama

A distribuição gama é considerada como sendo confiável para a distribuição de eventos de precipitação (Piani *et al.*, 2010). Assume-se que as distribuições de intensidades de precipitação simuladas e observadas são muito próximas à distribuição gama. A distribuição apresenta as características de uma distribuição gama, que são a assimetria positiva e o limite físico à esquerda, nesse caso o limite é zero.

A distribuição gama, que é uma distribuição de frequência de dois parâmetros é dada pela Equação 5.

$$f(x; \alpha; \beta) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (5)$$

Em que  $x$  é a precipitação diária normalizada, em mm,  $\alpha$  é o parâmetro de forma,  $\beta$  é o parâmetro de escala e  $\Gamma(\alpha)$  é a Função Gama avaliada em  $\alpha$ , definida pela Equação 6.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{\alpha-1} du \quad (6)$$

A função de distribuição acumulada  $F$  é dada por:

$$F(x; \alpha; \beta) = \int_0^x f(u; \alpha; \beta) du = \frac{\gamma(\alpha; \frac{x}{\beta})}{\Gamma(\alpha)}, \quad (7)$$

Essa é a função gama incompleta que é definida pela Equação 8 (Press, 1992).

$$P\left(\alpha; \frac{x}{\beta}\right) = \frac{\gamma(\alpha; \frac{x}{\beta})}{\Gamma(\alpha)} = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} e^{-u} u^{\alpha-1} du \quad (8)$$

Com as previsões corrigidas de precipitação, é possível estabelecer equações que relacionam intensidade-duração-frequência (*idf*) que contemplem os cenários de mudanças climáticas. Essas equações são utilizadas no dimensionamento do sistema de drenagem, fornecendo aos modelos hidrológicos as informações sobre as precipitações críticas (intensidades), as quais serão transformadas em escoamento superficial e, portanto, podem aportar informações para o desenvolvimento de uma

carteira de parâmetros que permita a adaptação futura de tais sistemas de drenagem urbana.

#### 4.2. Modelagem hidrológica

De posse das precipitações corrigidas e das equações *idf* futuras, para a segunda etapa propõe-se, para fins de avaliação do comportamento de determinados sistemas de drenagem identificados, a modelagem das microbacias urbanas para avaliação dos impactos nos sistemas de drenagem. Não serão analisados os componentes da microdrenagem, como sarjetas, bocas-de-lobo ou galerias, mas sim os sistemas de macrodrenagem, especificamente os canais, excluídas as bacias de detenção.

Para a determinação do escoamento superficial a partir das precipitações corrigidas, dadas na forma das *idf* futuras, propõe-se a utilização do Método Curva-Número (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS), atualmente *National Resource Conservation Service* (NRCS), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Este método é recomendado para bacias com áreas superiores a 2 Km<sup>2</sup>, sendo um dos métodos de maior utilização, que se aplica especialmente quando não se dispõem de dados hidrológicos.

A partir da análise de mais de 3 mil tipos de solos e coberturas, foi estabelecida uma fórmula empírica que relaciona a capacidade de armazenamento da bacia com um parâmetro denominado Curva Número (CN), como mostrado na (12 (HEC-22)).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254, \quad (12)$$

onde, *S* é a capacidade de armazenamento da bacia, em *mm* e *CN* o parâmetro curva número.

Valores de CN são função do tipo do solo, da cobertura (uso e ocupação do solo) e da umidade do solo. O parâmetro CN é menor ou igual a 100. Quando este é 100, a capacidade de armazenamento da bacia é nula.



Para a determinação do parâmetro **CN**, os solos são inicialmente classificados em função do grupo hidrológico (A, B, C ou D). Os solos do grupo A são muito permeáveis, como areias e cascalhos profundos. Já os solos do grupo D são bastante impermeáveis, como os argilosos e rochosos, ou com nível elevado de lençol freático. A Tabela 4.1 apresenta a classificação dos grupos hidrológicos dos solos e suas capacidades de infiltração.

Tabela 4.1 - Grupos hidrológicos dos solos do SCS e suas capacidades de infiltração.

<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Descrição do Solo</b>	<b>Capacidade de Infiltração (cm/h)</b>
A	Areias e cascalhos profundos (h>1.50 m), muito permeáveis. Possuem alta taxa de infiltração mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%.	1,20 – 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos (h<1.50 m) e permeáveis. Teor de argila 10%-20%.	0,80 – 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas subsuperficiais que impedem o fluxo descendente de água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%).	0,40 – 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis.	0,15 – 0,00

Fonte: Canholi (2005).

Além da classificação por tipo de solo, o valor de CN pode ser determinado de acordo com a cobertura e ocupação da bacia. Esses valores de CN podem ser encontrados em tabelas encontradas na literatura (TUCCI *et al.*, 1995; CANHOLI, 2005).

Quando a bacia de contribuição é composta por diferentes tipos de cobertura, o valor de CN para a bacia é resultado de uma média ponderada pelas áreas. O valor de CN pode ainda ser corrigido para as condições de umidade do solo, sendo maior para as

condições próximas à saturação, reduzindo a capacidade de armazenamento, ou menor para condições do solo seco.

Tendo-se a capacidade de armazenamento da bacia, pode-se determinar a precipitação excedente ( $P_e$ ), dada pela Equação 13 (HEC-22). A precipitação excedente é a parcela da precipitação que gera o escoamento superficial.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (13)$$

onde  $P_e$  é precipitação excedente, em *mm*;  $P$  é a precipitação acumulada durante o evento, em *mm*;  $I_a$  é a estimativa das perdas iniciais, em *mm*; e  $S$  é a capacidade de armazenamento da bacia, em *mm*.

A Equação 13 é válida quando  $P > I_a$ . Caso contrário, a precipitação excedente é nula, ou seja, toda a precipitação até aquele instante infiltrou no solo, evaporou ou ficou retida no terreno ou vegetação e o escoamento superficial ainda não foi gerado.

As perdas iniciais ocorrem principalmente por conta da interceptação pela vegetação, pela infiltração, pela evaporação e pela possibilidade da água precipitada ficar retida em depressões do terreno. O valor das perdas iniciais é estimado em  $I_a = 0,2S$  (COLLISCHONN, 2013).

## 5. Metodologia

O trabalho proposto é dividido em infraestrutura urbana e infraestrutura costeira.

Para as infraestruturas urbanas, o escopo do trabalho envolve algumas bacias críticas, de acordo com o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais 2012-2014. Dentre as localidades constantes neste Plano, foram inicialmente selecionadas as regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza, Salvador e Recife, como objeto de prospecção preliminar. Estas localidades serão analisadas em termos da pré-existência e disponibilidade de dados e informações de interesse do estudo, para definição do escopo final.

## Infraestrutura urbana

A partir dos dados de projeções climáticas devidamente pré-processados, em termos de correção de viés, o modelo hidrológico será desenvolvido considerando o escopo do trabalho. Para cada região em estudo, a função de distribuição acumulada será ajustada excluindo-se os dias secos, considerando como secos os dias com precipitação menor que 1 mm, que é a precisão dos pluviômetros. Seguindo o método descrito por Piani *et al.* (2010), para cada ponto de grade, os histogramas de ambas as distribuições, simuladas e observadas serão ajustadas com os dois parâmetros da distribuição. O ajuste pode ser feito através dos métodos da máxima verossimilhança e dos momentos (Thom, 1958). Neste trabalho será usado o método dos momentos, pois é simples e alcança bons ajustes quando aplicado em trabalhos semelhantes ao proposto. Através do método dos momentos é possível encontrar os dois parâmetros a partir da média e variância de cada série (Equações 14 e 15).

$$\mu(x) = \alpha \cdot \beta \quad (14)$$

$$s^2(x) = \alpha \cdot \beta^2 \quad (15)$$

Em que  $\mu(x)$  é a média da série,  $S(x)$  é a variância,  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros estimados.

A correção e ajuste serão feitos para cada mês. Por exemplo, a distribuição para janeiro será ajustada a partir da média e variância dos dados diários do mês de janeiro dos anos de 1961 a 1980 (2/3). Então, as simulações do período de validação (1981 a 1990) serão corrigidas a partir desses valores (1/3). A função de transferência (Equação 16), que é a função que corrige as simulações de eventos de precipitação, será obtida igualando a distribuição estatística de valores de precipitação simuladas para o período de validação à distribuição dos valores observados para o período de calibração (1961 a 1980), como mostrado na Figura 1, juntamente com o tratamento dos dias secos. Após os ajustes será verificado, a partir dos cenários climáticos, o comportamento dos eventos de precipitação (2011-2040).

$$X_{sim,val}^* = F_1^{-1}(F_2(X_{sim,val}; \alpha_{sim,val}; \beta_{sim,val}); \alpha_{obs,cal}; \beta_{obs,cal}) \quad (16)$$

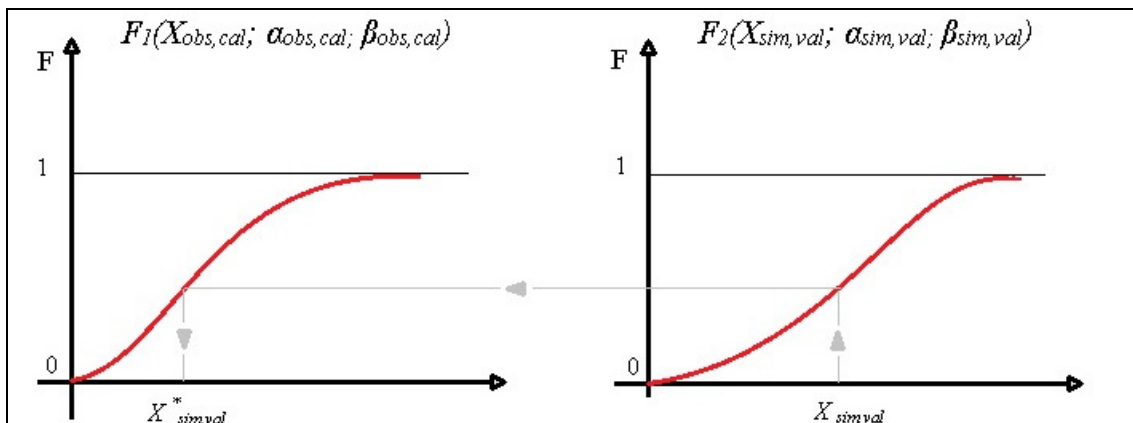


Figura 1 – Esquema da função de transferência para aplicação da correção do viés por ajuste a distribuição gama. [ $X^*_{sim,val}$  é a precipitação corrigida].

Para se determinar a vazão de pico de acordo com o Método SCS será utilizada a teoria do hidrograma sintético. Estudos feitos pelo *Soil Conservation Service*, a partir de um grande número de bacias e hidrogramas, indicaram que os hidrogramas podem ser aproximados com base no tempo de concentração e na área das bacias, tendo esse hidrograma a forma triangular.

O hidrograma resultante para cada bacia, do qual é extraída a vazão de pico que implica no dimensionamento e verificação dos sistemas de drenagem, pode ser dado pela soma de vários hidrogramas triangulares unitários, que são funções de resposta (escoamento superficial) de um pulso unitário (precipitação excedente) de um sistema hidrológico considerado linear. Para isso, são válidos os princípios da superposição e da proporcionalidade.

No que concerne à calibração/validação do modelo hidrológico, tal procedimento será realizado quando houver dados de vazão em série histórica disponível. Para as localidades onde não seja possível obter tais dados, serão verificadas as variações nas vazões resultantes a partir das mudanças climáticas observadas nas previsões de precipitação.

## 6. Análise de adaptação

Para a análise de adaptação aos cenários de 2040, há duas frentes de trabalho: i) o levantamento de mecanismos para adaptação, os quais são dependentes e relacionados aos impactos apresentados; e ii) a avaliação da resposta institucional para

adaptação, e definição de papéis e responsabilidades, além do levantamento das fragilidades para a adoção de medidas e mecanismos adaptativos. A primeira frente pode envolver medidas estruturantes e estruturais, porém a definição destas medidas só será empreendida após conhecimento dos impactos apresentados diante dos cenários em estudo. Já a capacidade de resposta institucional pode ser estudada e avaliada concomitantemente ao desenvolvimento dos estudos.

Considerando a produção científica e as experiências práticas de aplicação de metodologias para mapeamento da capacidade institucional de adaptação às mudanças climáticas, será utilizada a opção teórico-metodológica do diagnóstico e análise institucional (institutional analysis). Esta se dá por meio de framework que permite identificar legislação incidente, instrumentos e mecanismos de ordenamento territorial, organizações, regras e lógicas que permeiam as instituições e fatores contextuais, visando:

Caracterizar os processos através dos quais a ciência e outras formas de conhecimento informam e são aplicados na gestão costeira, enfatizando os papéis e responsabilidades intra e inter governos, comunidade, meio produtivo e organizações econômicas;

Viabilizar a formulação de modelos explicativos das posturas específicas nas situações de negociação para tomadas de decisão sobre adaptação em diferentes escalas espaciais e temporais.

Os diagramas, ferramentas e metodologia analítica associados permitirão tecer interpretações para fertilizar a leitura da análise socioinstitucional das redes compostas pelos atores e instituições envolvidos na questão da adaptação às mudanças climáticas.

## 7. Cronograma, produtos e relatórios

<b>Atividade/Produto/Relatório</b>	<b>Data de finalização e envio</b>
------------------------------------	------------------------------------



Atividade/Produto/Relatório	Data de finalização e envio
Elaboração de Relatório técnico descritivo da metodologia de trabalho e da Base de Dados com respectivas justificativas para Infraestrutura de Drenagem Urbana.	28/09/2014
<p>Categorização da carteira atual e futura das infraestruturas de drenagem urbana;</p> <p>Desenvolvimento de um conjunto de indicadores representativos da análise de performance dos sistemas de drenagem urbana;</p> <p>Elaboração de Relatório técnico descritivo (do panorama atual e futuro) com informação georreferenciada das infraestruturas de drenagem urbana, em conformidade com o Termo de Referência.</p>	02/12/2014
<p>Ajuste do viés das previsões climáticas para a precipitação;</p> <p>Definição com base na aplicabilidade do Modelo de Análise mais apropriado que subsidie a avaliação da performance do sistema de drenagem;</p> <p>Simulação, calibração e Modelagem para fins de avaliação do desempenho da infraestrutura de drenagem urbana para os municípios identificados no Termo de Referência, quando da disponibilidade de informações;</p> <p>Elaboração de Relatório Técnico analítico das simulações realizadas, discutindo o comportamento da performance do sistema de drenagem, dado os cenários gerados;</p>	21/01/2015
<p>Elaboração de um portfólio de orientações gerais para os setores de drenagem urbana, em especial, no primeiro caso, para os municípios constantes no Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres, conforme elencados no Termo de Referência;</p> <p>Elaboração do Relatório Final consolidado com reflexões sobre adaptação para os setores de drenagem urbana</p>	02/03/2015

## 8. Referências bibliográficas

ALVES, H.P.F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, 2006.

ANFUSO, G.; DEL POZO, J.A.M. Assessment of Coastal Vulnerability Through the Use of GIS Tools in South Sicily (Italy). *Environmental Management*, 2009.

BOATENG, I. GIS assessment of coastal vulnerability to climate change and coastal adaption planning in Vietnam. *Journal of Coast Conservation*, 2012.

BORUFF, B.J.; EMRICH, C.; CUTTER, S.L. Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*. N.21, Vol. 5, 932-942, 2005

BOSELLO, F.; EBOLI, F.; PIERFEDERICI, R. Assessing the Economic Impacts of Climate Change. *Review of Environment, Energy and Economics (Re3)*. FEEM (Fondazione Eni Enrico Mattei). 2012.

CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CHAKRABORTY, J.; TOBIN, G.A.; MONTZ, B.E. Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards. *Natural Hazards Review*, n. 6, p. 23-33, 2005.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. *Hidrologia para engenharias e ciências ambientais*. 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2013.

CUTTER, S.L.; BORUFF, B.J., Shirley, W.L. Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, n. 84, 242–261, 2003.

EAKIN, H., LUERS, A.L. Assessing human and biophysical vulnerability to global environmental change. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, 2006.

ESTEVES, C.J.O. *Risco e Vulnerabilidade Socioambiental: Aspectos Conceituais*. Caderno IPARDES, 2011

FOWLER, H.J.; BLENKINSOP, S.; TEBALDI, C. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *Int J Climatol* 27: 1547–1578, 2007.

FOWLER, H.J.; EKSTRÖM, M. Multi-model ensemble estimates of climate change impacts on UK seasonal precipitation extremes. *Int J Climatol* 29: 385-416, 2009.

FURLAN, A.; BONOTTO, D. M; GUMIERE, S. J. Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at São Sebastião in São Paulo State. *Environmental Earth Sciences*. 2011

GORNITZ,V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology Elsevier Science Publishers B.V.*, Amsterdam 1991

HAGEMANN, S.; CHEN, C.; HAERTER, J. O.; HEINKE, J.; GERTEN, D.; PIANI, C. Impact of a Statistical Bias Correction on the Projected Hydrological Changes Obtained from Three GCMs and Two Hydrology Models. *J Hydrometeor* 12: 556–578, 2011.

HANAK, E.; MORENO, G. California coastal management with a changing climate Climatic Change. *Springer Science+Business Media B.V.* 2012

HOOZEMANS, F.M.J., Marchand, M.; PENNEKAMP, H.A. *A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale*. 2nd edition. 1993.

INOUE, C.E.N. Modelagem dinâmica espacial e os impactos de mudanças globais: cenários de ocupação no Litoral Norte de São Paulo. *Dissertação de mestrado*, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2012. 100p.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES, IPCC. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.976 pp

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES, IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain. 2014

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES, IPCC. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain. 1990a 410 pp.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGES, IPCC. *Climate Change: The IPCC Response Strategies*. University Press, Cambridge, Great Britain, 1990b, 330 pp.

LEANDER, R.; BUIHAND, T. A. Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. *J Hydrol* 332: 487– 496, 2007.

LEANDER, R.; BUIHAND, T.A.; VAN DER HURK, B. J. J. M.; de WIT, M. J. M. Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output. *J Hydrol* 351: 331-343, 2008.

MARANDOLA JR.; E.; HOGAN, D.J. Vulnerabilidade e riscos: entre geografia e demografia. *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, 2005.

NICHOLLS, R.J.; HOOZEMANS, F.M.J. *Global Vulnerability Analysis*, Encyclopedia of coastal science, 2000

NICHOLLS, R.J.; MIMURA, N. Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications. *Climate Research* .1998

NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A. Gestão Costeira. In: ZAMBONI, A. & NICOLODI J. L. (Eds.). *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2008. 242 p

NICOLODI, J. L.; PETERMAN. R.M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil:Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Gestão Costeira Integrada.*, v. 10, n. 02, 2010, p. 151-177.

O'BRIEN, K.L.; ERIKSEN, S.; NYGAARD, L.P.; SCHJOLDEN, A. Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate Policy*, v.7, n.1, p. 73-88, 2007.

PIANI, C.; HAERTER, J. O.; COPPOLA, E. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor Appl Climatol* 99:187–192, 2010.

PRESS, W. H. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, New York, 1992.



SHAW, J.; TAYLOR, R.B.; FORBES, D.L.; RUZ, M.-H.; SOLOMON, S. *Sensitivity of the coasts of Canada*. Geological Survey of Canada. Atlantic Geoscience Centre. Canada. 1998.

TAGLIANI C.R.; CALLIARI, L.J.; TAGLIANI, P.R.; ANTIQUEIRA, J.A. Vulnerability to sea level rise of an estuarine island in southern Brazil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, n. 02, v. 1, 2010, p. 18-24.

TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *J Hydrol*, 456–457: 12-29, 2012.

THEMEßL, M. J.; GOBIET, A.; LEUPRECHT, A. Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. *Int J Climatol* 31: 1530–1544, 2011.

THIELER, E.R.; HAMMAR-KLOSE, E.S. *National Assessment of Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast*. United States Geological Survey. Woods Hole, Massachusetts, 1999.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. *Mon Weather Ver*, 86: 117–122, 1958.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. *Drenagem urbana*. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH, 1995.

UNITED STATES, FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Hydraulic engineering*. Circular 22, third edition. Washington, DC, 2013.

WU, S.Y.; YARNAL, B; FISCHER, A. Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. *Climate Research*, v.22, n.4, p. 255-270, 2002.

ZAHARAN, S.; BRODY, S.D.; PEACOCK, W.G.; VEDLITZ, A. GROVER, H. Social vulnerability and the natural and built environment: a model of flood casualties in Texas. *Disasters*, n.32, v. 04, 2008, p. 537-560.



Wilson Cabral de S. Junior  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Professor Associado