

## URBANIZAÇÃO SEM CONTROLE X MUDANÇAS CLIMÁTICAS

*Bruna Peres Battemarco<sup>1\*</sup>; Marcelo Gomes Miguez<sup>2</sup>; Matheus Martins de Sousa<sup>3</sup> & Paulo Canedo de Magalhães<sup>4</sup>*

**Resumo** – O problema das cheias urbanas é um dos principais desafios das cidades na atualidade. Seus prejuízos são inúmeros, interferindo nos setores de transporte, saneamento e saúde pública. O agravamento deste problema pode ter causas diversas, entre elas a urbanização sem controle e os efeitos das mudanças climáticas, bastante discutidos nos últimos anos. Através de modelagem matemática, este trabalho pretende comparar os impactos nas inundações da cidade de Paraty, considerando: (1) a expansão urbana nas áreas a montante da BR-101 prevista, indistintamente, no Plano Diretor de 2010; e (2) os efeitos das mudanças climáticas. Também busca mostrar o quanto a urbanização afeta os processos naturais de cheia e que é possível alinhar o crescimento das cidades com os limites do ambiente natural existente. Com os resultados obtidos, foi possível reconhecer que a urbanização feita de forma desordenada pode ter impactos de porte similar ao das mudanças climáticas, mesmo em uma cidade construída com cotas próximas ao nível do mar, onde as mudanças climáticas são potencializadas.

**Palavras-Chave** – Urbanização; Mudanças Climáticas; Cheias Urbanas.

## UNCONTROLLED URBANIZATION X CLIMATE CHANGES

**Abstract** – Urban flooding is one of the main challenges for cities nowadays. The losses caused by floods are numerous, interfering in the transportation, sanitation and public health sectors. The worsening of this problem can have several causes, including uncontrolled urbanization and the climate change effects, extensively discussed in recent years. Through mathematical modeling, this work intends to compare the impacts on the Paraty city floods, considering: (1) the urban expansion in the areas upstream of the BR-101, which is foreseen, indistinctly, in the 2010 Master Plan; and (2) the climate changes effects. It also seeks to show how urbanization affects natural flooding processes and that it is possible to align city growth with the limits imposed by the existing natural environment. With the results obtained, it was possible to recognize that a disordered urbanization can have similar impacts to that of the climate changes scenario, even in a city built with quotas close to sea level, where climate changes tend to be critical.

**Keywords** – Urbanization; Climate Changes; Urban Flood.

<sup>1</sup> PEC-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, brunabattermarco@poli.ufrj.br

<sup>2</sup> Escola Politécnica & PEC-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, marcelomiguez@poli.ufrj.br

<sup>3</sup> PEC-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, matheus@hidro.ufrj.br

<sup>4</sup> PEC-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, canedo@hidro.ufrj.br

## INTRODUÇÃO

O problema das cheias urbanas é um dos principais desafios das cidades na atualidade. Os prejuízos causados pelas cheias urbanas são inúmeros, acumulando perdas econômicas e sociais diversas. Exemplos são os danos em infraestrutura e nas habitações, a degradação do ambiente natural e a desvalorização do ambiente construído, a propagação de doenças de veiculação hídrica, o empobrecimento da população com perdas sucessivas, entre outros, conforme ressaltado por Miguez *et. al* (2016). Um dos fatores que agravam este problema é a expansão urbana descontrolada, que não só diminui a permeabilidade do solo, aumentando o escoamento superficial, como também favorece a ocupação de áreas ribeirinhas, que se configuram como áreas de risco. A falta de uma visão sistêmica no planejamento da macrodrenagem é a grande responsável pelo estado caótico do controle das enchentes nas áreas urbanas brasileiras (CANHOLI, 2015).

Além disso, nos dias de hoje, cada vez mais é discutido, tanto a nível local quanto a nível global, sobre os efeitos causados pelas mudanças climáticas. Mudança climática refere-se a uma mudança no estado do clima, que pode ser identificada, através de testes estatísticos, por exemplo, por mudanças na média e/ou a variabilidade de suas propriedades, persistindo por um período prolongado, tipicamente por décadas ou mais. As mudanças climáticas podem ser devido a processos internos naturais ou a forças externas, como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e alterações antrópicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso do solo (IPCC, 2014). Dentre as consequências observadas, pode-se citar a elevação do nível dos oceanos e o aumento da precipitação, por exemplo, intensificando magnitude e frequência de eventos extremos.

Considerando os dois fatores de agravamento das cheias urbanas citados, este trabalho tem como objetivo comparar os impactos nas inundações da cidade de Paraty, estado do Rio de Janeiro, considerando a expansão urbana nas áreas a montante da BR-101 prevista, indistintamente, no Plano Diretor de 2010 e os efeitos das mudanças climáticas. Também busca mostrar o quanto a urbanização afeta os processos naturais de cheia e que é possível aliar o crescimento das cidades com o ambiente natural existente.

## ESTUDO DE CASO: PARATY, RJ

O município de Paraty pertence à Região da Costa Verde e está localizado na microrregião da Baía da Ilha Grande, região litorânea sul do estado do Rio de Janeiro. Atualmente, Paraty pleiteia o título de Patrimônio da Humanidade (NASCIMENTO, 2005) e o seu centro histórico se configura como uma das fontes da principal atividade econômica desenvolvida na cidade, o turismo. Sua rede hidrográfica é composta por cerca de 15 rios principais, com destaque para os rios Perequê Açu e Mateus Nunes, que possuem áreas de drenagem de aproximadamente 113 km<sup>2</sup> e 52 km<sup>2</sup>, respectivamente, e possuem suas bacias representadas na Figura 1. O município de Paraty é uma localidade que enfrenta problemas decorrentes de um crescimento urbano com planejamento ineficaz, da consequente ineficiência dos sistemas de drenagem, da degradação dos rios e das alterações de uso e cobertura do solo feitas em áreas frágeis.

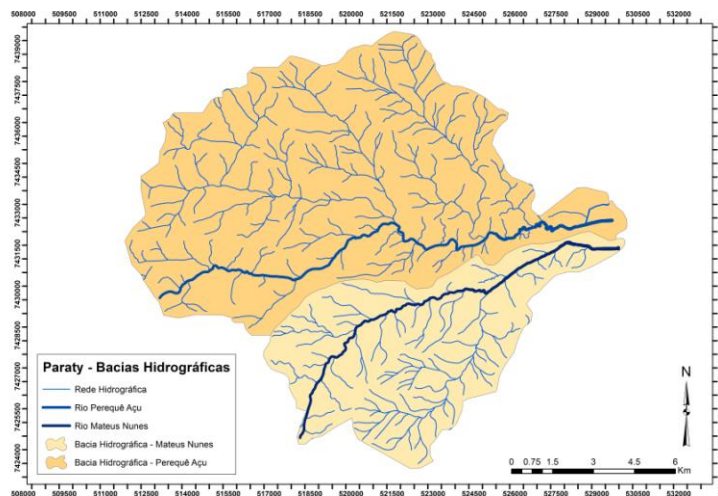


Figura 1- Bacias hidrográficas dos rios Perequê Açu e Mateus Nunes

Na origem da construção da cidade, como forma de proteger a população de doenças, foram previstas medidas de projeto particulares: as ruas foram feitas a 50 cm acima do nível do médio do mar, com uma inclinação para uma calha central e caimento em direção ao mar, facilitando o escoamento das águas de chuva e a entrada das marés mais altas. Por esse motivo, as casas foram construídas cerca de 30 cm acima do nível da rua (IHAP, 2012). Desta maneira, a entrada do mar pelas ruas era uma forma natural de manter a limpeza da cidade.

Em 2010, a Prefeitura de Paraty publicou uma proposta de Plano Diretor Municipal (PREFEITURA DE PARATY, 2010), que não chegou a ser aprovado. A proposta apresentava uma visão mais generalista do planejamento no município de Paraty, não sendo identificadas sugestões acerca da preservação dos cursos d'água e da drenagem urbana na região. Mais especificamente, o plano, na verdade, propõe a ocupação de planícies fluviais a montante da cidade histórica, o que poderia trazer consequências tanto de degradação ambiental, como do próprio centro histórico.

## METODOLOGIA

Como ferramenta de modelagem matemática hidrodinâmica, para suporte à representação do movimento das cheias na bacia que contém a cidade, foi utilizado o MODCEL (MASCARENHAS & MIGUEZ, 2002; MIGUEZ *et al.*, 2011), Modelo de Células de Escoamento. O MODCEL é uma ferramenta Quasi-2D com vocação para representação da paisagem urbana, que integra os processos hidrológicos, observados em cada célula, com um modelo hidrodinâmico, em uma representação espacial que liga o escoamento de superfície, de canais e o de tubulações.

Para a aplicação do modelo hidrodinâmico, a região de interesse foi representada através de 569 células referentes às áreas de planície, 120 referentes aos rios e canais que compõem as bacias e 72 referentes às áreas de encosta. A divisão em células é apresentada na Figura 2 (a), de forma completa, e na Figura 2 (b), de forma detalhada a região de interesse. O tempo de recorrência adotado para a chuva de projeto foi de 25 anos, com uma duração de 420 minutos (7 horas), superior ao maior tempo de concentração entre as bacias analisadas.

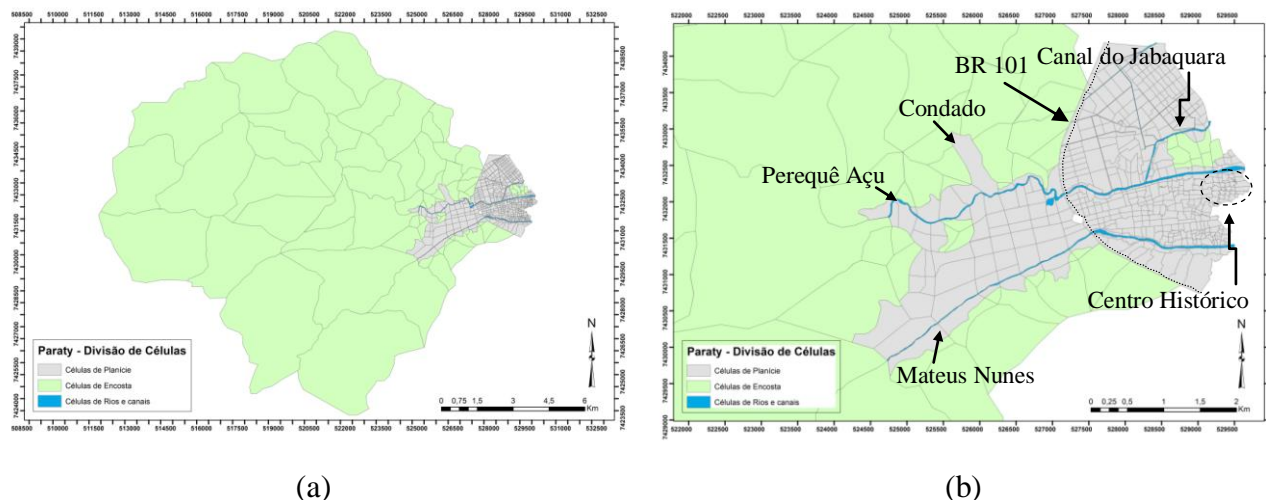


Figura 2 - (a) Divisão de células utilizada na modelagem; (b) Visão detalhada da divisão de células na região de interesse

Foram simulados, além da Situação Atual, dois outros cenários: Cenário Tendencial e Cenário de Mudanças Climáticas. Como complementação, foi simulado também o Cenário Resiliente, com e sem a consideração dos efeitos das mudanças climáticas, a fim de ressaltar a importância de uma urbanização planejada voltada para a minimização do risco às inundações. Os cenários foram desenvolvidos com base nas proposições realizadas por Barbedo (2016). A modelagem da situação atual teve como objetivo realizar um diagnóstico do funcionamento das bacias dos rios Perequê Açú e Mateus Nunes.

O Cenário Tendencial prevê a continuação da atual tendência de urbanização na planície a montante da rodovia Rio-Santos (BR-101), como é preconizado pelo Plano Diretor de 2010. Este cenário assume a expansão urbana de toda a área definida pelo Plano Diretor (não aprovado), com a finalidade de mostrar os impactos da atual tendência de expansão urbana se a ocupação não for controlada e nenhuma ação sistêmica for definida. A região de interesse neste cenário é apresentada na Figura 3 (a).

O Cenário de Mudanças Climáticas considera os efeitos das mudanças climáticas aplicados na Situação Atual, com elevação do nível médio do mar em 15 cm para o ano de 2035 (horizonte do plano diretor) e aumento na precipitação em 10%, na mesma data futura, para o TR de 25 anos. As alterações realizadas possuem como base o relatório de Rosman (2015) para o ano de 2100, considerando a estimativa do IPCC de elevação de 18 a 79 cm do nível do mar. Ressalta-se que é evidente que irá ocorrer transformações nas bacias ao longo do horizonte de planejamento, no entanto, para fins de comparação direta entre as consequências causadas pelas mudanças climáticas e pela urbanização sem controle, tais transformações não foram consideradas no cenário com mudanças climáticas.

Já o Cenário Resiliente, direciona o crescimento urbano para os espaços abertos a jusante da BR-101, com maior incidência no Bairro de Jabaquara. Essa alternativa preferencialmente busca adensar a área de jusante, já ocupada. Além disso, são propostas medidas de conservação ambiental das áreas a montante da BR-101, permitindo ainda, porém, a ocupação de parte da bacia, onde já se acham urbanizações iniciais, porém, contendo sua expansão e preservando planícies de inundação. Este cenário enfatiza medidas de requalificação fluvial, bem como restrições à ocupação de áreas a montante da BR-101, a fim de não intensificar e buscando minimizar os danos causados pelas inundações, principalmente no Centro Histórico da cidade e seu entorno. As medidas propostas no Cenário Resiliente são apresentadas de maneira espacializada na Figura 3 (b).



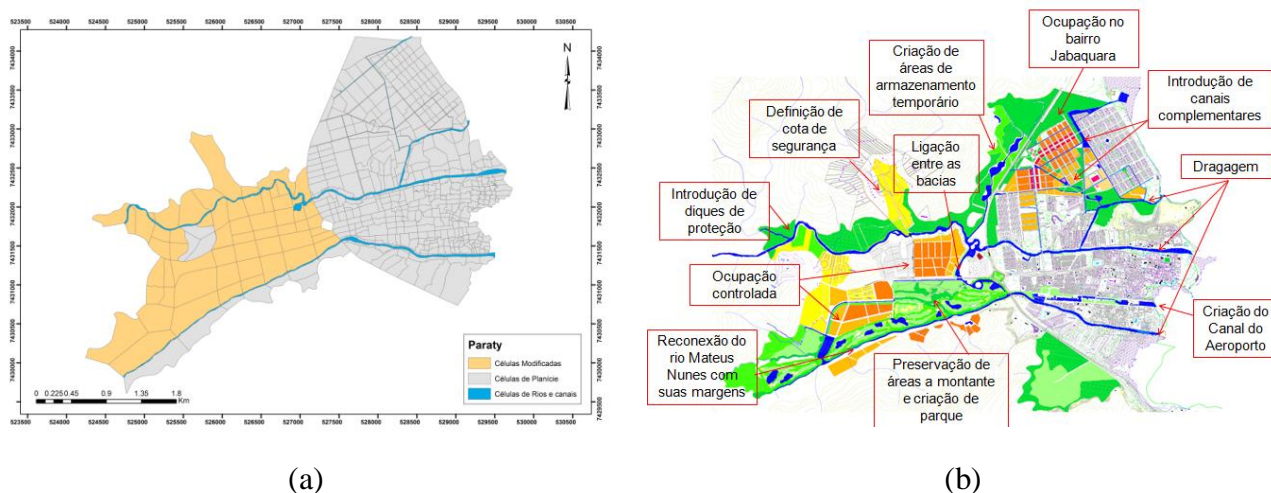


Figura 3 - (a) Região de interesse no Cenário Tendencial – Células Modificadas; (b) Espacialização do Cenário Resiliente (BARBEDO, 2016).

## DISCUSSÕES E RESULTADOS

A partir da análise das manchas de inundação apresentadas na Figura 4, pode-se reconhecer as áreas de alagamento atuais (a) e verificar a criticidade associada a transbordamentos da calha do rio Perequê Açu, principalmente, na região do Condado (vale a montante da BR), na região da derivação para o Canal do Jabaquara, pela margem esquerda, e na proximidade ao Centro Histórico da cidade, no centro de Paraty, onde as lâminas de alagamento chegam a cerca de 70 cm. A derivação para o Canal do Jabaquara encontra-se bastante assoreada, o que agrava os alagamentos, tanto pela margem esquerda do canal, quanto pela margem direita do rio Perequê Açu, logo a jusante, com alto grau de ocupação e impermeabilização até chegar ao Centro Histórico. Este cenário causa prejuízos ao Patrimônio Histórico, comprometendo as atividades turísticas e o comércio da região, além de trazer transtornos para os moradores. O rio Mateus Nunes encontra-se praticamente todo o tempo na calha, sendo os alagamentos na sua bacia originários basicamente de problemas associados à microdrenagem.

Observa-se, a partir da comparação entre as manchas de inundação do Cenário Tendencial (b) e as manchas da Situação Atual (a), que a expansão urbana na região a montante da BR-101 sem definição de padrões urbanísticos e sem qualquer controle de ocupação é capaz de intensificar os impactos das inundações nas áreas de jusante, principalmente na bacia do rio Perequê Açu. Com a utilização de aterros em toda a planície a montante da BR-101, o rio Perequê Açu se mantém na calha nesse trecho, fazendo com que maiores vazões sejam transferidas para jusante. Desta forma, essas áreas, que já sofriam com o transbordamento do rio na situação atual, possuem seus impactos intensificados, gerando mais transtornos para a população residente na região, bem como para os turistas e para o comércio do Centro Histórico. A bacia do rio Mateus Nunes, por sua vez, não sofre tanto com a intensificação da ocupação na região de montante da BR-101.

Com relação ao Cenário de Mudanças Climáticas, nota-se que os aumentos do nível do mar e da precipitação se mostraram críticos, o que era esperado, visto que a cidade de Paraty é baixa demais. Porém, comparando-se as manchas de inundação deste cenário (c) com as manchas do Cenário Tendencial (b), percebe-se que os efeitos acerca das inundações na cidade são praticamente do mesmo porte. Ressalta-se que a melhora a montante no Cenário Tendencial ocorre devido à consideração de aterros nesta região.

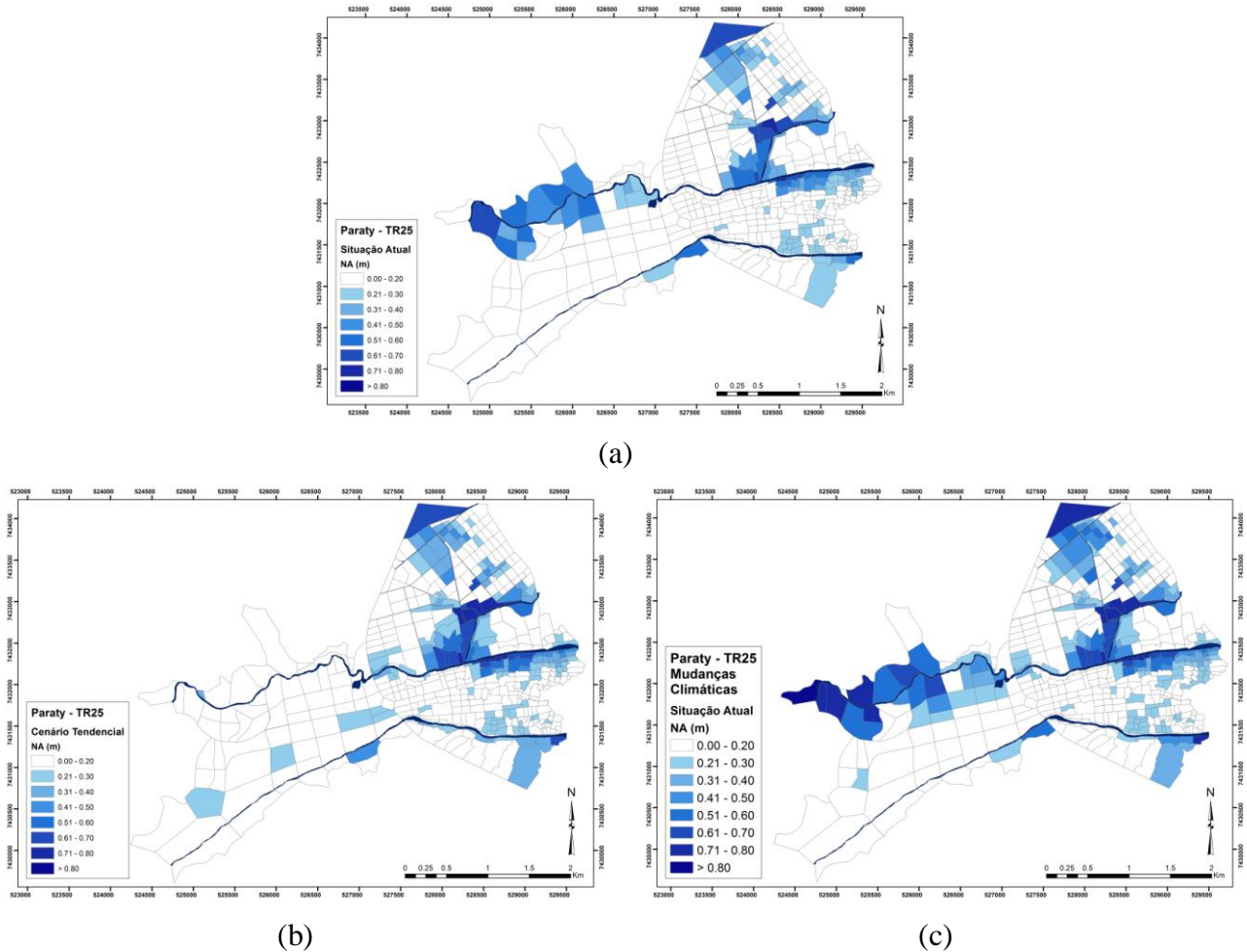


Figura 4 - (a) Situação Atual; (b) Cenário Tendencial; (c) Cenário de Mudanças Climáticas.

A partir da comparação entre as manchas de inundação do Cenário Resiliente sem a consideração dos efeitos das mudanças climáticas, Figura 5 (a), e da Situação Atual, Figura 4 (a), pode-se observar que a ocupação controlada em parte da região a montante da BR-101, com a preservação de áreas através da implantação de parques inundáveis, além da recuperação da interligação entre as bacias dos rios Perequê Açu e Mateus Nunes (como acontecia na configuração natural do passado), direcionando a expansão urbana para o adensamento do bairro do Jabaquara, foi capaz de melhorar os impactos causados pelas cheias na cidade de Paraty como um todo. Com as proposições feitas, as lâminas de inundação remanescentes passaram pouco de 30 cm e se mantiveram na calha das ruas na maioria dos casos (conforme projeto original da própria cidade), mostrando a eficiência das medidas para o controle de cheias. Com a consideração dos efeitos das mudanças climáticas (Figura 5 (b)), os resultados obtidos mostram que as medidas propostas não só são capazes de melhorar a situação atual de alagamentos na cidade, como também de responder bem aos efeitos das mudanças climáticas, com a maior lâmina de alagamento igual a 40 cm. Esse resultado mostra que uma urbanização consciente, com vocação preservacionista, capaz de reconhecer os limites impostos pelo ambiente natural, é resposta tanto ao processo de crescimento desordenado, como medida de adaptação para enfrentamento dos desafios associados às mudanças climáticas.

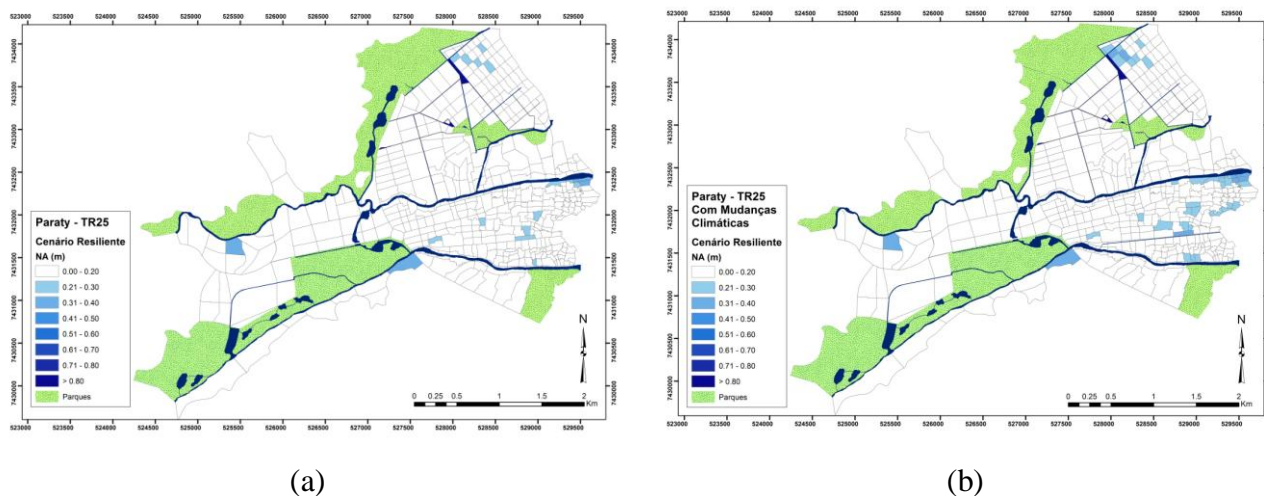


Figura 5 - Mancha de Inundação - Cenário Resiliente (a) Sem Mudanças Climáticas; (b) Com Mudanças Climáticas

## CONCLUSÃO

Este trabalho buscou comparar os impactos nas inundações da cidade de Paraty, considerando a expansão urbana nas áreas a montante da BR-101 prevista, indistintamente, no Plano Diretor de 2010 e os efeitos das mudanças climáticas.

A simulação do Cenário de Mudanças Climáticas comprovou a criticidade da elevação do nível do mar e do aumento da precipitação no que diz respeito às inundações na cidade. A simulação dos cenários alternativos de expansão urbana (Cenário Tendencial e Cenário Resiliente), por sua vez, mostrou o quanto a urbanização afeta os processos naturais de cheia nas bacias hidrográficas e que é possível aliar, com planejamento e adoção de medidas de projeto atuando de forma sistêmica na bacia, o crescimento das cidades com o ambiente natural existente.

Além disso, a simulação do Cenário Tendencial mostrou que a urbanização sem controle é crítica e do mesmo porte das mudanças climáticas, mesmo em uma cidade que está ao nível do mar e teve seu projeto original utilizando as marés altas para limpeza urbana pelas ruas. Com isso, torna-se importante ressaltar que as atuais discussões acerca das mudanças climáticas e a preocupação com a adaptação das cidades aos seus efeitos devem se integrar ao processo de planejamento de expansão das cidades. Desta forma, cidades mais resilientes poderão ser efetivamente construídas.

## REFERÊNCIAS

- BARBEDO, J. M. R., 2016, *Urban Flood Mitigation Through Land-Use Adaptation: A Socioecological Perspective of Paraty*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- CANHOLI, A., 2015, *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos, 2015.
- IHAP - Instituto Histórico e Artístico de Paraty, 2012, *Reforma e Restauro do Antigo Paço Municipal de Paraty*. Educação Patrimonial. Março, 2012.
- IPCC – “Intergovernmental Panel on Climate Change”, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press, 2014.

MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G.; 2002. *Urban Flood Control through a Mathematical Flow Cell Model*. In: Water International Resources, Vol. 27, Nº 2, págs. 208-218, Junho 2002; Illinois, E.U.A.

MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; VERÓL, A. P., 2011, *MODCEL: A Mathematical Model for Urban Flood Simulation and Integrated Flood Control Design*. In: Acqua e Città - 4º Convegno Nazionale di Idraulica Urbana, Veneza, Italia, Junho de 2011.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M., 2016, *Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

NASCIMENTO, M., 2005, *Nascimento, Morte e Renascimento de Paraty-RJ: A Importância da Posição Geográfica na Sua Evolução Urbana*. X Encontro de Geógrafos da América Latina. São Paulo, 2005.

PREFEITURA DE PARATY, 2010, *Plano Diretor do Município de Paraty*, Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente de Paraty, Brasil.

ROSMAN, P. C. C. (Editor), 2015, *Estudo Técnico de Apoio ao Desenvolvimento do Plano de Adaptação da Cidade do Rio de Janeiro às Mudanças Climáticas – EPA/PA R1 – Modelagens para definição de níveis máximos nas embocaduras fluviais do sistema lagunar de Jacarepaguá, considerando cenários de mudanças climáticas*. Fundação COPPETEC, PPE18954, Rio de Janeiro, 2015.