

Crescimento urbano e seus impactos no sistema de drenagem de uma bacia em Natal, RN

*Urban growth and its impacts on drainage system
of basin in Natal, RN*

Submetido em: 27/04/16
Revisado em: 15/05/16
Aprovado em: 17/05/16

Geórgia Moreira Gurgel
Antônio Marozzi Righetto

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso e ocupação do solo de uma bacia e analisar o sistema de drenagem, de forma a controlar os impactos por meio de medidas que integrem o desenvolvimento urbano com a drenagem das águas pluviais em uma importante bacia na cidade de Natal/RN. O estudo envolveu a caracterização da bacia XII.4, sobre o uso e ocupação do solo, referente aos anos de 2005 e 2014. Foram elaborados quatro cenários com variações de uso do solo, incluindo a aplicação de LID (Dispositivo de Baixo Impacto). Os dois anos analisados encontram-se com suas áreas muito próximas, em termos de porcentagem de áreas impermeáveis. Com a aplicação do modelo SWMM foi possível analisar os impactos causados pelo processo de urbanização no sistema de drenagem existente, mostrando que todos os cenários indicam deficiência em algum ponto do sistema de drenagem, em consequência do alto grau de ocupação da área que geram escoamentos superiores a capacidade inicial do sistema. Com o estudo ficou claro que a adoção de LID é eficiente na redução de alagamentos e no aumento da capacidade do sistema de drenagem.

PALAVRAS-CHAVE: uso e ocupação do solo, cenários, drenagem urbana, swmm, lid.

ABSTRACT: This study aims to evaluate the use and occupation of a watershed and analyze the drainage system in order to control the impact using tools to integrate urban development with the drainage of rainwater in an important watershed in Natal City, Rio Grande do Norte State. The study involved the characterization of basin XII.4 on land use and occupation, for the years 2005 and 2014. Four scenarios were drawn up with land use changes, including the application of LID (Low Impact Device). The areas of the two years analyzed are very close to percentage saturation of impervious areas. Applying the SWMM model it was possible to analyze the impacts caused by the urbanization process on the existing drainage system, showing that all indicate deficiency at some point of the drainage system as a result of the high degree of occupation of the area that generates higher flows than the initial drainage system capacity. The study clearly showed that the adoption of LID is effective in reducing flooding and improving the drainage system capacity.

KEYWORDS: land use and occupation, scenarios, urban drainage, swmm, lid.

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento econômico, aumento da população e consequente ampliação das cidades, há a necessidade, principalmente nos grandes centros urbanos, de um acompanhamento sustentável da infraestrutura urbana.

A copa do mundo de futebol de 2014 produziu transformações às cidades sedes. Grandes obras de infraestrutura e mobilidade urbana foram e ainda estão sendo realizadas, resultando na valorização do espaço

em que se inserem, provocando aumento nos valores das áreas construídas e proporcionando o surgimento de novas áreas nobres. Regiões com potencial turístico, como a cidade de Natal-RN, atraem a atenção de investidores e novos habitantes, incrementando especialmente o mercado imobiliário. Em consequência desse crescimento surgem problemas urbanísticos decorrentes de subdimensionamento da infraestrutura urbana e deterioração do meio ambiente.

O conhecimento das modificações realizadas no solo decorrentes do uso e ocupação é essencial para

identificar a influência no escoamento da bacia devido à impermeabilização de sua superfície, auxiliando na elaboração de medidas que permitam o desenvolvimento sustentável da bacia.

Através das legislações existentes no Plano Diretor Urbanístico e no Plano Diretor de Drenagem, busca-se promover a regulamentação da drenagem urbana associada aos ordenamentos do uso e ocupação do solo da bacia em estudo. Para mitigar os problemas causados pela ocupação não planejada do solo, são necessárias medidas que promovam a integração das ações realizadas pelos planos diretores para o crescimento urbano, assim como medidas não estruturais, que ajudem a manter a sustentabilidade da infraestrutura de drenagem existente.

No presente estudo, optou-se por analisar uma área com base no Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Natal (PDDMA). A bacia XII.4, unidade de estudo do presente trabalho, apresenta significativa importância para a cidade e vem sofrendo modificações estruturais de grande magnitude em virtude da construção do Estádio Arenas das Dunas, localizado ao lado da região

estudada. O objetivo desse trabalho é a realização do diagnóstico da área, com a descrição do uso do solo e dos tipos de ocupação urbana nele presente, bem como, a simulação de cenários para diferentes usos do solo e analisar o comportamento do sistema de drenagem em resposta a cada cenário proposto com a aplicação do modelo Storm Water Management Model (SWMM), bem como a adoção de medidas de controle sustentável para a drenagem urbana em uma região da cidade de Natal.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área está localizada no Município do Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte (figura 1), compreende boa parte do bairro de Lagoa Nova e uma pequena porção de Nova Descoberta. A bacia representativa é a sub-bacia 4 da bacia XII de drenagem (Rio das Lavadeiras), estabelecida através do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Natal (PDDMA).

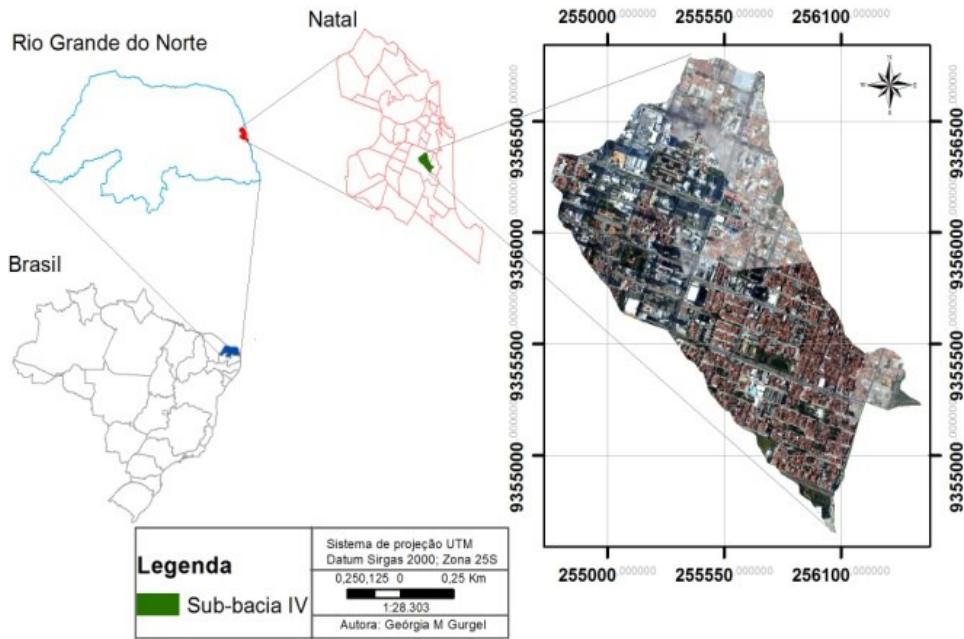


FIGURA 1. Localização da Sub-bacia 4. Fonte: Arquivo da autora.

A área apresenta solo areno argiloso com teor de argila variando de 20 a 30%. O coeficiente de deflúvio médio da bacia é de 0,53 e a taxa de infiltração no solo é de 7 mm/h (PDDMA, 2009). A bacia apresenta área de drenagem de 1,54 km² e declividade média de 0,0458 m/m.

Natal encontra-se na Mesorregião Litoral Leste, com totais precipitados anuais que variam entre 800 a 1.600 mm. O período chuvoso principal ocorre entre os meses de abril a julho. (CPRM, 2010)

Caracterização do sistema de drenagem da bacia

O sistema de drenagem da bacia é definido como um sistema fechado e conectado a uma lagoa de

infiltração (Lagoa do Preá) (Figura 2). Compreende uma rede de galerias com poços de visita e bocas de lobo distribuídas ao longo de sua extensão. O volume excedente da lagoa é bombeado e segue por uma adutora, sistema de macrodrenagem, e posteriormente lançados no Rio Potengi. A macrodrenagem é deficiente, com sistema de bombeamento relativamente precário para reduzir o tempo de inundação das lagoas (GUIMARÃES JUNIOR; RIGHETTO, 2013).

A lagoa apresenta taludes sem revestimento adequado e fundo colmatado. Há presença de resíduos sólidos dentro da lagoa. Mesmo na estação seca é notória a presença de líquido na lagoa, esse fato ocorre por causa do lançamento de esgoto doméstico na rede de drenagem.

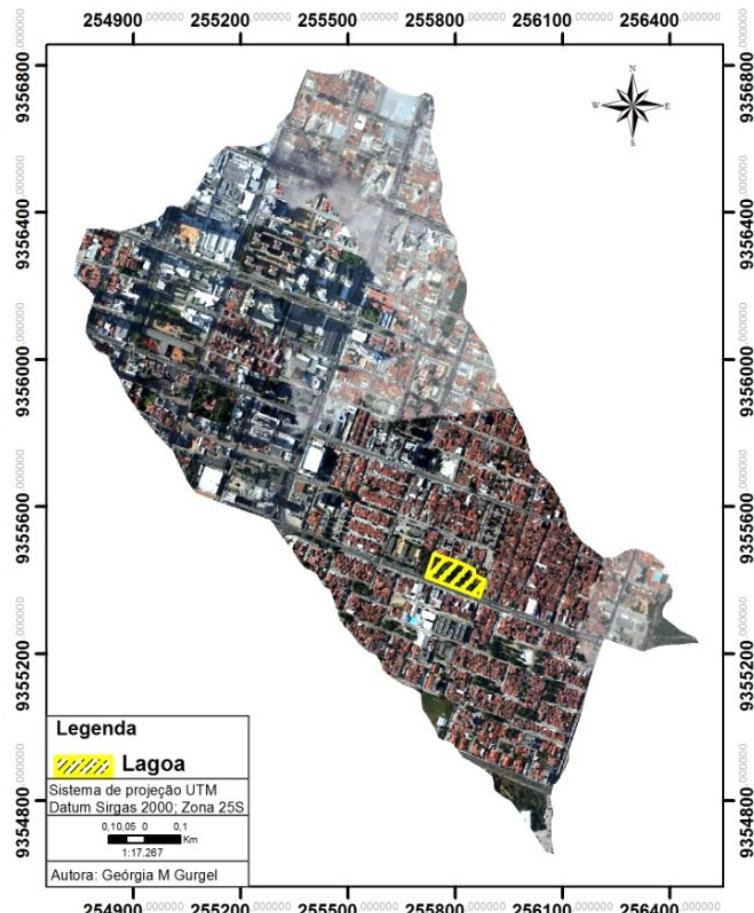


FIGURA 2. Lagoa do Preá. Fonte: Arquivo da autora.

Determinação do uso do solo para os anos de 2005 e 2014

Para a determinação do uso e ocupação do solo como também a evolução da ocupação urbana, foram analisadas duas datas com intervalo de 9 anos entre elas, sendo as datas referentes aos anos de 2005 e 2014. O ano de 2005 foi escolhido por ser a data mais antiga com qualidade de resolução do Google adequado para a determinação de suas características.

Foram escolhidos e aplicados, para a caracterização da bacia, cinco padrões de detalhamento, como mostrado na tabela 1.

TABELA 1.
Padrões de detalhamento da bacia

Padrões	Classes	Detalhamento
Residencial	Unifamiliar	Casas residenciais
	Multifamiliar	Edifícios residenciais
Comercial	Edifício comercial	Edifícios com salas comerciais
	Residência comercial	Construções com até um pavimento
Praça/quadra de esporte	-	Áreas permeáveis destinadas ao lazer da comunidade
Áreas livres	-	Áreas sem construção, públicas ou não, e lotes com até 50% de sua área permeável.
Lagoa	-	Lagoa de infiltração

Fonte: Arquivo da autora

APLICAÇÃO DO MODELO SWMM – STORM WATER MANAGEMENT MODEL

Para a aplicação do modelo são necessários vários elementos que representam o sistema de drenagem, iniciando pela determinação das áreas de contribuição, compostas por superfícies permeáveis e imper-

meáveis que direcionam o escoamento superficial a um ponto de descarga. O método escolhido para a propagação do fluxo na rede de drenagem foi o método da onda cinemática.

É preciso representar os elementos que formam a rede de drenagem, como os responsáveis pela condução do escoamento, reservatórios de armazenamento entre outros. Por fim, o SWMM requer a entrada de uma série de dados de precipitação que ocorrem na região estudada.

Discretização das subáreas e representação do sistema de drenagem no modelo SWMM

A discretização da bacia em estudo baseou-se em quatro fatores: a dimensão total da área com elevado número de quadras, limite entre as principais avenidas existentes, a topografia local e a redução no processamento de dados do modelo.

O conjunto de quadras é a unidade de estudo adotada, com o objetivo de simplificar o número de informações existente na área. A contribuição de cada uma das 135 subáreas geradas foi direcionada a outra subárea ou aos nós da rede de drenagem situados nas vias públicas com base na topografia, na divisão

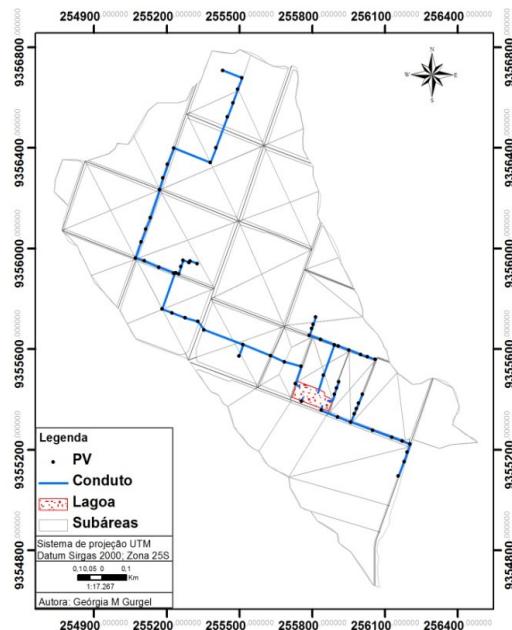


Figura 3. Discretização do sistema da bacia para o SWMM. Fonte: Arquivo da autora.

das áreas e no traçado das ruas. A figura 3 mostra a discretização da bacia.

Os nós também são considerados exutórios de algumas subáreas de contribuição. Os condutos são representados no modelo por trechos de seção circular. Para simplificar a modelagem, apenas os condutos que recebem contribuição em função da divisão adotada e os poços de visita foram considerados. A exclusão das bocas de lobo justifica-se, também, pela limitação do modelo ao permitir apenas um exutório para cada subárea. Foram representados no modelo 69 nós de conexão e 69 trechos de seção circular. Na figura 3 é mostrado a discretização do sistema de drenagem para a modelagem.

Parâmetros hidrológicos

Os parâmetros hidrológicos necessários para a caracterização das subáreas no modelo SWMM estão descritos na tabela 2:

A largura característica do escoamento das subáreas foi determinada pelo resultado da divisão entre a área da sub-bacia e o maior comprimento de fluxo, sendo este adotado como o valor da largura do retângulo equivalente, como mostrado nas equações 1 a 3.

TABELA 2
Parâmetros hidrológicos das subáreas

Parâmetro	Unidade
Largura do escoamento	m
Declividade	m/m
Porcentagem de área impermeável	%
Coef. de Manning para a área permeável	$m^{-1/3} \cdot s$
Coef. de Manning para a área impermeável	$m^{-1/3} \cdot s$
Profundidade do armazenamento nas depressões das áreas impermeáveis	mm
Profundidade do armazenamento nas depressões das áreas permeáveis	mm
Modo de propagação do escoamento entre a área permeável e impermeável	-
Porcentagem do escoamento transferido entre as áreas dentro da subárea	%
Escolha do método de infiltração e determinação dos respectivos parâmetros	-

Fonte: Arquivo da autora

$$W = \frac{A}{Le} \quad (1)$$

$$Le = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (2)$$

$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

TABELA 3
Parâmetros de caracterização das subáreas para o SWMM

Tipo de subárea	n imp	n perm	PA imp	PA perm	% imp	PE	%p
Ruas pavimentadas	0,07*	0,2*	0,05*	0,05*	90*	OUTLET	100
Ruas calçadas	0,08*	0,4*	0,05*	3*	90*	OUTLET	100
Residencial unifamiliar	0,05*	0,4*	0,05*	10*	90*	PERVIOUS	50
Residencial multifamiliar	0,01	0,13	0,05	10	90	PERVIOUS	50
Residência comercial	0,05*	0,4*	0,05*	10*	90*	PERVIOUS	50
Edifícios comerciais	0,01	0,13	0,05	10	90	PERVIOUS	50
Praça/quadra de esporte	0,02	0,15	0,05	0,2	90	PERVIOUS	50
Área livre	0,02	0,15	0,05	0,2	90	PERVIOUS	50

n imp - n° de manning para área impermeável ($m^{-1/3} \cdot s$), **n perm** - n° de manning para área permeável ($m^{-1/3} \cdot s$), **PA imp** - Profundidade de armazenamento nas depressões das áreas impermeáveis (mm), **PA perm** - Profundidade de armazenamento nas depressões das áreas permeáveis (mm), **% imp** - % de área impermeável sem armazenamento, **PE** - Modo de propagação do escoamento, **%p** - Porcentagem do escoamento transferido entre as áreas dentro da subárea.

*LIMA, 2011

onde: W: Largura das sub-bacias (m); A: Área da sub-bacia (m^2); Le: Largura do retângulo equivalente (m); Kc: Coeficiente de compacidade; P: Perímetro da bacia hidrográfica ou sub-bacia (m).

Foram adotados para as subáreas representativas das Ruas, padrão Residencial Unifamiliar e padrão Residência Comercial os seguintes parâmetros adotados por Lima (2011): coeficientes de rugosidade de Manning, as profundidades de armazenamento em depressões e a porcentagem de área impermeável sem armazenamento. Tais valores foram resultantes da calibração para a bacia de Mirassol, localizada a cerca de 900 m da área em estudo e por apresentar padrões de ocupação semelhantes aos da bacia analisada. A tabela 3 fornece os parâmetros que caracterizam as subáreas para aplicação no SWMM.

Foi utilizada a fórmula de Horton como modelo de infiltração, sendo seus parâmetros determinados a partir da classificação hidrológica do solo, conforme pode ser visto na tabela 4.

TABELA 4
Parâmetros de infiltração por subárea

Parâmetros da fórmula de Horton	Solo Tipo C
Taxa de infiltração inicial do solo seco: fo (mm/h)	130
Taxa de infiltração final do solo úmido: fc (mm/h)	7
Constante característica - k	2

Fonte: PDDMA (2009)

Dados hidrológicos

Foram utilizados três eventos chuvosos escolhidos para analisar o sistema de drenagem em relação a evolução urbana ocorrida entre os anos de 2005 e 2014 e as consequências da urbanização nos cenários analisados.

Evento 1: Evento chuvoso de maior intensidade no período de 2005 a 2014. Este evento apresentou uma precipitação acumulada diária de 222 mm.

Para determinar o comportamento do sistema de drenagem em relação aos cenários simulados foram utilizados dois eventos chuvosos:

Evento 2: A precipitação acumulada diária de 14,9mm foi escolhida por ser a média do acumulado

diário dos quatro meses mais chuvosos dos últimos nove anos.

Evento 3: A precipitação acumulada diária de 9,6 mm foi adotada por ser a média anual de 2015, média anual mais recente.

Os dados usados para determinar os eventos analisados foram da estação meteorológica da UFRN obtidos no site da Empresa de Pesquisa Agropecuária – EMPARN.

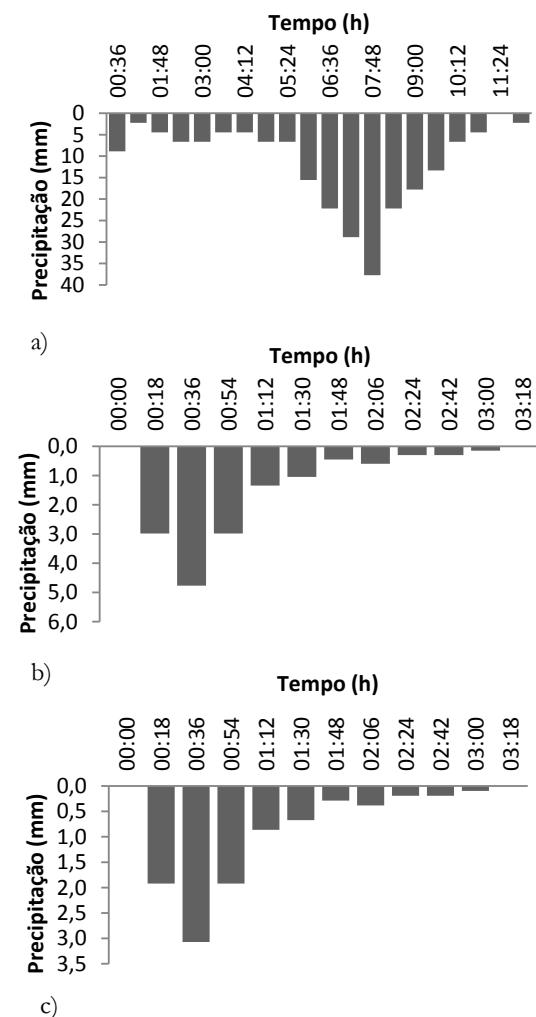


FIGURA 4. Gráfico da disagregação pelo método de Huff: a) Evento 1; b) Evento 2; c) Evento 3. Fonte: Arquivo da autora.

O SWMM não permite valores acumulados diárias de precipitação, nesse caso, optou-se pelo método do terceiro quartil (HUFF, 1990) para distribuir o acumulado diário de 222 mm ao longo de 12 horas do dia. Essa duração foi escolhida por representar o comportamento mais próximo da realidade ocorrida no dia analisado. (Figura 4.a)

Para distribuir os valores acumulados referentes aos eventos 2 e 3 optou-se pelo método do primeiro quartil (HUFF, 1990), ao longo de 50 minutos, período este, igual ao tempo de concentração da bacia estabelecido pelo PDDMA. (Figura 4.b e 4.c)

Determinação de cenários de expansão urbana

Quatro cenários foram elaborados para avaliar as consequências da atividade humana na bacia em estudo. O cenário 1 testa o sistema de drenagem existente na bacia, considerando as condições de uso e ocupação do solo para o ano de 2014, considerado como cenário atual. Para o cenário 2 foi utilizado o valor pelo Plano Diretor de Natal, que determina taxa de ocupação urbana de até 80% para as áreas que se encontram na zona adensável. No cenário 3 a bacia é avaliada para uma condição extrema de impermeabilização, ou seja, a bacia encontra-se 100% impermeabilizada. O cenário 4 testa o comportamento da área com a introdução de pavimentos permeáveis nas principais avenidas, visto que, recebem em sua maior parte os escoamentos dos conjuntos de quadras.

Projeção da população

Maior parte da área em estudo é compreendida pelo bairro de Lagoa Nova, este bairro apresenta crescente aumento de sua população, esse crescimento

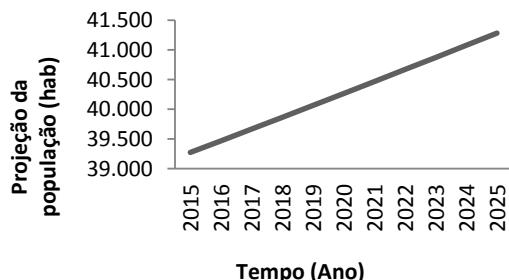


FIGURA 5. Gráfico da projeção populacional pelo método da projeção geométrica. Fonte: Arquivo da autora.

populacional pode vir a causar mais impactos no futuro à área em estudo. A população foi estimada para o ano de 2025 pelo método da projeção geométrica (figura 5). A partir de dados de populações anteriores para o bairro de Lagoa Nova, em intervalo de 22 anos (1991 a 2013), obtidos pela PMN(2013), pôde-se projetar a população para um horizonte de projeto de 12 anos. A estimativa resultante para a população foi igual a 41.284 mil habitantes para o ano de 2025.

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi aplicada aos principais parâmetros utilizados pelo modelo com o objetivo de verificar a influência exercida por eles no hidrograma de saída do SWMM. A análise foi realizada com o suporte do Microsoft Excel para o evento 1 no ano de 2014. Os parâmetros analisados foram: coeficiente de rugosidade de Manning para as áreas impermeáveis e permeáveis, largura das subáreas e porcentagem de áreas impermeáveis. Para o valor inicial da largura das subáreas e % de áreas impermeáveis foi calculado a largura média igual a 260 m e adotado 50% respectivamente. Os valores iniciais dos coeficientes de rugosidade de Manning são aqueles mostrados anteriormente na tabela 3.

RESULTADOS

Uso do solo para os anos de 2005 e 2014

Foram identificadas 131 quadras contendo 2.579 lotes para o ano de 2005 e 2.094 lotes para 2014. Na área, há presença de algumas quadras de grandes dimensões onde funcionam vários equipamentos urbanos. O solo é predominantemente impermeabilizado com 12 avenidas revestidas em asfalto e 197 ruas em paralelepípedo para o ano de 2005. Para o ano de 2014 foram 20 avenidas asfaltadas e 189 ruas em paralelepípedo. A rede viária é formada por três rodovias arteriais que fazem a ligação entre sete bairros, considerados nobres da Capital.

A caracterização da área, em função dos padrões estabelecidos, resultou nos mapas que representam o uso e ocupação do solo para os dois anos analisados, como mostram as figuras 6 e 7. A tabela 5 apresenta as áreas determinadas e seu percentual por padrão de uso e ocupação do solo para os anos de 2005 e 2014.

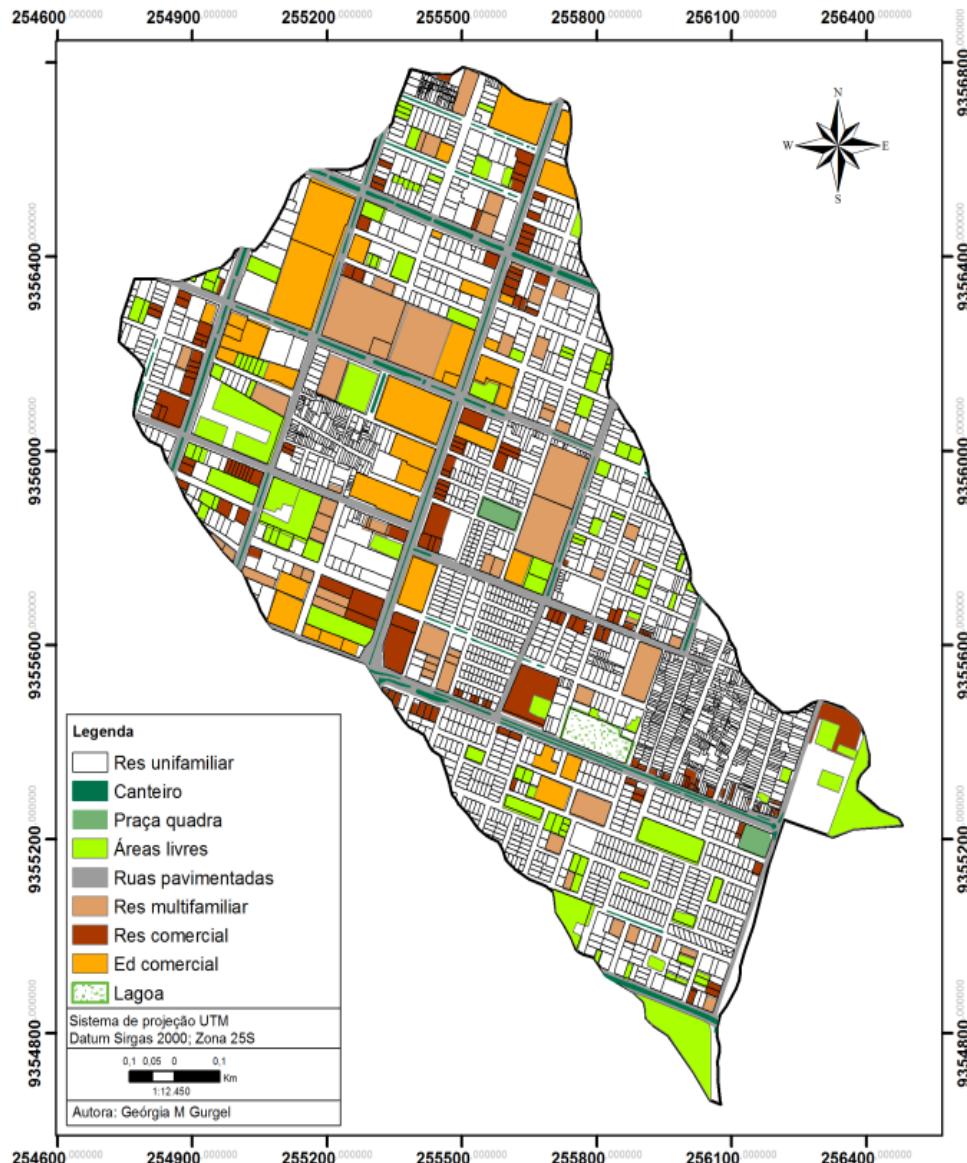


FIGURA 6. Uso e ocupação do solo para o ano de 2005. Fonte: Arquivo da autora.

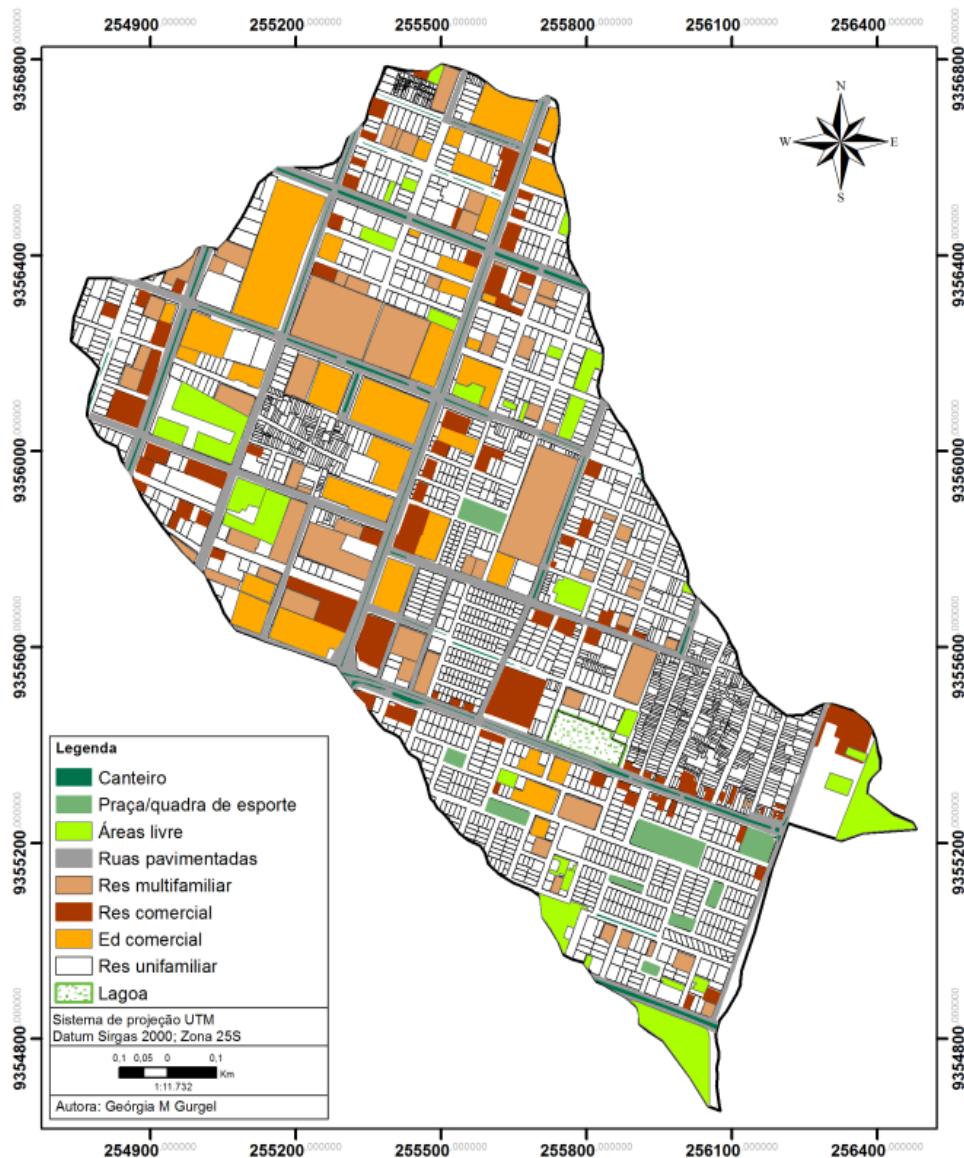


FIGURA 7. Uso e ocupação do solo para o ano de 2014. Fonte: Arquivo da autora.

TABELA 5
Áreas por padrão de uso e ocupação do solo nos anos de 2005 e 2014

Padrões	2005		2014		Variação %	
	Área		Área			
	ha	%	ha	%		
Residencial						
Unifamiliar	56,59	50,8	55,08	49,4	-1,4	
Multifamiliar	13,26	11,9	15,86	14,2	2,3	
Comercial						
Ed. comercial	14,29	12,8	16,99	15,2	2,4	
Res.comercial	9,32	8,4	11,47	10,3	1,9	
Praça/quadra de esporte	0,77	0,7	2,41	2,2	1,5	
Áreas livres	16,20	14,5	8,62	7,7	-6,8	
Lagoa	1,03	0,9	1,03	0,9	0,0	
Áreas impermeáveis	120,79	86,94	126,86	90,93	4,0	
Áreas permeáveis	18,14	13,06	12,65	9,07	-4,0	

Fonte: Arquivo da autora

Resultados das simulações com SWMM para os anos de 2005 e 2014

Para os anos de 2005 e 2014, foram obtidos dois eventos, 4 e 5, que geraram, respectivamente, transbordamento do primeiro nó da rede de drenagem e da lagoa de infiltração para os dois anos analisados (Tabela 6). A lagoa apresentou alagamento para os eventos 1 e 5. A tabela 7 mostra os volumes de inundação gerados pela lagoa para os dois eventos analisados, nos anos de 2005 e 2014. Os hidrogramas gerados pelo modelo SWMM apresentaram mesmos valores de pico iguais a 180 m³/s para o evento 1 aplicado aos anos de 2005 e 2014.

TABELA 6
Eventos obtidos para os anos 2005 e 2014

Evento	Precipitação(mm)	Duração (h)
4	9	12
5	18	12

Fonte: Arquivo da autora

TABELA 7
Volumes de inundação da lagoa para os anos 2005 e 2014

	Evento 5		Evento 1	
	2005	2014	2005	2014
Vol. Inundado-m ³	2.172	3.446	574.011	588.427

Fonte: Arquivo da autora

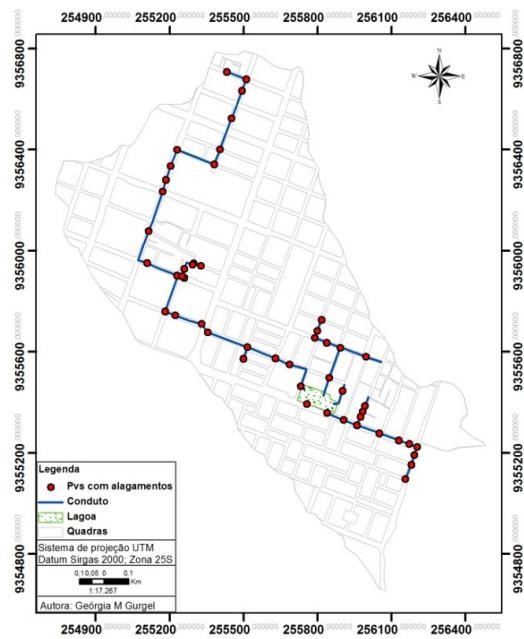


FIGURA 8. Nós que apresentaram alagamento na simulação para o evento 1.
Fonte: Arquivo da autora.

Os dois anos analisados apresentaram os mesmos nós alagados, totalizando em 47 nós para o evento 1. Na figura 8 é possível identificar os PVs que apresentaram alagamento na simulação.

Resultados das simulações para os cenários de expansão urbana

A simulação com o SWMM para cada cenário resultou na quantificação de nós que sofreram alagamento e no comportamento da lagoa para cada evento de precipitação. Na tabela 8 está discriminado o comportamento do sistema para cada cenário proposto.

Foi elaborado um mapa para representar os pontos críticos onde ocorreram os maiores números de alagamentos de PV e aqueles que sofreram alagamentos em comum nos quatro cenários para os dois eventos analisados, mostrado na figura 9.

As respostas hidrológicas às mudanças de precipitação e ocupação da superfície foram medidas em termos de valor de pico para a vazão gerada por cada cenário, como mostrado na tabela 9.

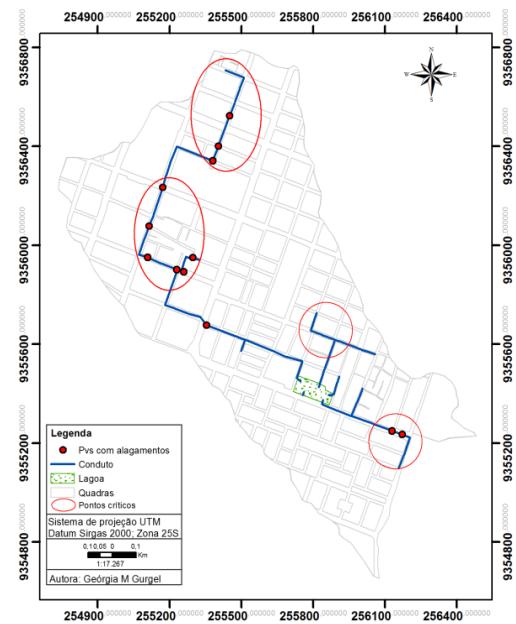


FIGURA 9. Mapa de pontos críticos de alagamento para os cenários propostos.
Fonte: Arquivo da autora.

TABELA 8
Dados obtidos pelo SWMM para cada cenário analisado

	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	Eventos							
	3	2	3	2	3	2	3	2
Armazenamento em LID (mm)	-	-	-	-	-	-	2,287	2,287
Nº de nós alagados	8	18	4	10	14	22	8	14
Capacidade da lagoa(%)	34	100	38	98	48	100	10	16
Volume máx. da lagoa (m ³)	19340	42897	16263	42221	20413	42897	4367	6938
Volume inundado da lagoa (m ³)	-	2867	-	-	-	2367	-	-

Fonte: Arquivo da autora

TABELA 9
Vazão de pico gerada pelo SWMM para cada cenário.

Evento	Total precipitado (mm)	Vazão de pico (m ³ /s)			
		Cenários			
		1	2	3	4
2	14,9	8,3	5,26	11,13	7,82
3	9,6	4,49	2,91	6,17	4,27

Fonte: Arquivo da autora

Resultados da análise de sensibilidade

Os parâmetros que apresentaram sensibilidade sobre a vazão de pico foram: número de Manning para áreas impermeáveis e permeáveis e a largura das sub-bacias. Sendo o número de Manning para áreas impermeáveis o parâmetro mais sensível, chegando a alterar em 652,46 % a vazão de pico (figura 10).

O número de Manning para áreas permeáveis (Np) foi o segundo maior parâmetro a apresentar influência sobre a vazão, variando em até 123,31%. A largura das sub-bacias (Lb) apresentou sensibilidade de até 87,43% na vazão de pico. O parâmetro porcentagem de áreas impermeáveis (%imp) não apresentou grande influência sobre a variação da

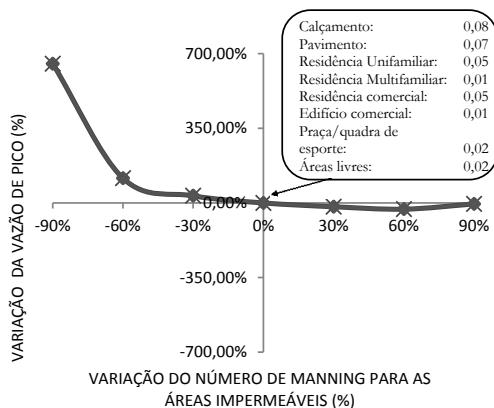


FIGURA 10. Influência do n° de Manning para áreas impermeáveis na vazão de pico. Fonte: Arquivo da autora.

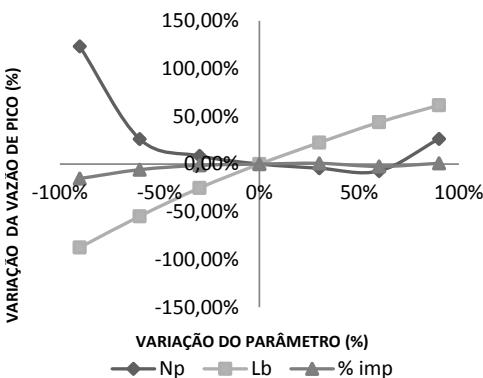


FIGURA 11. Influência dos parâmetros na vazão de pico. Fonte: Arquivo da autora.

vazão de pico com variação de 15,14%. A figura 11 mostra a influência dos parâmetros na vazão de pico como variável dependente.

DISCUSSÃO

Análise do processo de urbanização

Para o ano de 2014 continua o predomínio de residências do tipo unifamiliar com crescente número de construções verticais do tipo Residencial Multifamiliar, se comparado ao ano de 2005. É observada intensa ocupação comercial e progressiva verticalização, com construções de edifícios comerciais, apresentando forte domínio da especulação imobiliária. No ano de 2005 é notória a presença de atividades econômicas as margens das principais avenidas devido à presença de estabelecimentos comerciais e de serviços. O fato se repete no ano de 2014, com uma maior presença de edifícios comerciais e residências multifamiliares.

Além desses fatores, a área está inserida na zona adensável, tornando-a atrativa para a construção predial vertical, o que explica o aumento do número de edificações identificadas entre os anos analisados.

Não houve grandes mudanças na região ao sul da área, em relação à área construída, fato este, explicado por se tratar de uma região localizada no entorno do Parque das Dunas com controle de gabarito, no entanto, apresentou pequeno aumento no número de construções residenciais comerciais, demonstrando uma possível concentração futura do crescimento comercial e de serviços na Avenida Cel. Norton Chaves.

O padrão Áreas Livres foi o que demonstrou maior variação no período estudado, sofrendo uma redução de 53% de 2005 a 2014, o que mostra a tendência de ocupação da superfície do solo na área em decorrência da urbanização. Uma pequena parte das áreas antes consideradas como livres passam a ter utilidade para comunidade, tornando-se praças e quadras de esporte no ano de 2014.

Análise dos parâmetros obtidos nas simulações para os anos de 2005 e 2014

Os sistemas de drenagem simulados para os anos de 2005 e 2014 apresentaram comportamentos similares, com mesmos pontos de alagamento e por suportarem as mesmas chuvas limites sem transborda-

mento de nó. Isso pode ser explicado em decorrência da elevada ocupação da área já no ano de 2005.

A rede de drenagem apresenta - se ineficiente para os dois anos analisados. Em sua maioria, os PVs encontram-se em baixas cotas topográficas, o que favorece o recebimento de maiores volumes de escoamento gerados pelas subáreas como também o, já existente, grau de impermeabilização do solo que gera altos valores de escoamento.

É evidente que a lagoa não mais suporta eventos de baixa precipitação, atingindo a saturação de sua estrutura e ultrapassando seu volume máximo de armazenamento. Os hidrogramas do sistema, gerados pelo modelo SWMM, também não apresentam diferenças significativas para os anos analisados, não havendo variações das vazões de pico de um ano para outro, isso ocorre em função da similaridade encontrada nas características de ocupação do solo entre os dois anos.

Análise das simulações para os cenários de expansão urbana

O cenário 2 referente a taxa máxima de ocupação urbana estabelecida pelo plano diretor de Natal, apresentou melhor resultado entre os cenários propostos, com menor vazão de pico, principalmente se comparado ao cenário 1 referente ao ano de 2014, considerado atual, o que mostra o não cumprimento por parte da população do limite máximo de impermeabilização do lote.

No terceiro cenário que representa a área com 100% de impermeabilização do solo foi gerada a maior vazão de pico em comparação aos outros cenários, o que é evidente que a área não mais permite a infiltração nem oferece resistência ao escoamento superficial.

Deve-se chamar a atenção para o cenário atual, que apresenta uma pequena diferença, em termos de percentual impermeável se comparado ao cenário 3. A projeção futura da população comprova que a área apresenta crescimento populacional e, em breve, atingirá o cenário extremo de ocupação do solo, em virtude do processo de urbanização que ainda ocorre na área, agora com maior tendência a verticalização.

O quarto cenário mostrou eficiência na redução da vazão de pico e do escoamento na bacia com a adoção de LID, pavimentos permeáveis para o caso analisado. Essa redução é consequência do aumento

da infiltração permitido pela área permeável referente às principais avenidas da área.

Em todos os cenários é notável a presença de PVs que apresentaram alagamento, isso pode ser explicado em relação às dimensões do PV e diâmetro das tubulações que são inferiores a capacidade real de drenagem. A lagoa apresentou inundação nos cenários atual e 100% impermeabilizado para o evento 2, sendo estes os cenários que apresentam maior ocupação de sua superfície. O aumento da área permeável pela adoção dos pavimentos permeáveis resultou em uma redução significativa do volume armazenado na lagoa em virtude do menor volume escoado, mostrando sua eficácia na redução de alagamentos e no aumento da capacidade do sistema de drenagem.

Análise de sensibilidade

Os coeficientes de rugosidade de Manning para áreas impermeáveis e permeáveis apresentaram comportamentos semelhantes, ao sofrerem redução em seus valores causam crescimento da vazão de pico. Este fato é explicado pelo coeficiente de Manning ser inversamente proporcional a vazão de acordo com a equação de Manning, usada pelo SWMM para calcular o escoamento superficial.

Outro parâmetro que demonstrou sensibilidade à vazão de pico foi a largura do escoamento das sub-bacias. A análise de sensibilidade mostrou uma relação proporcional deste parâmetro com a vazão em virtude do SWMM considerar cada subárea como um reservatório não linear e sendo a largura diretamente proporcional à área geradora de escoamento. A partir disso fica claro observar que, quanto maior for a área de contribuição maior será o escoamento gerado.

Um fato interessante observado na análise em relação à porcentagem de área impermeável foi a baixa sensibilidade encontrada deste parâmetro com a variação da vazão de pico. Esse fato pode ser explicado em decorrência, principalmente, da elevada precipitação analisada associada à baixa taxa de infiltração mínima do solo, fazendo com que a porcentagem de impermeabilização do solo passe a não influenciar no escoamento gerado na área.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstra que os dois anos analisados encontram- se com suas áreas muito próximas do

estado de saturação, em termos de porcentagem de áreas impermeáveis. Para o ano de 2005 é comprovado essa situação pela pequena diferença na porcentagem de áreas impermeáveis quando comparado a 2014. O aumento no número de edifícios construídos carece atenção das autoridades competentes não apenas em relação ao sistema de drenagem existente, mas também para o aumento da densidade demográfica na área, que no futuro poderá sobrecarregar os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Com o modelo conceitual desenvolvido para associar os escoamentos e retenções pluviais da área em estudo com alterações de uso e ocupação do solo foi possível testar o sistema de drenagem existente mostrando que o mesmo é incapaz de drenar eventos de baixas precipitações sem gerar alagamentos de PVs e sem transbordamento da lagoa. Há necessidade de modificações no projeto inicial levando em conta as condições atuais de uso e ocupação da área, como também um melhor funcionamento do sistema de macrodrenagem para drenar o volume excedente da lagoa.

Torna-se evidente que o processo de urbanização que ainda ocorre na área, agora com maior tendência de verticalização, teve seu início sem o acompanhamento do sistema de drenagem, isso faz crer, que no futuro tende a piorar se houver novas precipitações elevadas, se o sistema de macrodrenagem não for eficiente e, sobre tudo, se não houver a conscientização da população da necessidade de se adotar medidas localizadas que retenham em seu próprio lote os volumes gerados pela impermeabilização do mesmo, e dos prejuízos causados pelo lançamento de águas servidas na rede de drenagem reduzindo a capacidade de infiltração da lagoa.

Com o modelo conceitual desenvolvido para associar os escoamentos e retenções pluviais da área em estudo com alterações de uso e ocupação do solo foi possível testar o sistema de drenagem existente mostrando que o mesmo é incapaz de drenar eventos de baixas precipitações sem gerar alagamentos de PVs e sem transbordamento da lagoa. Há necessidade de modificações no projeto inicial levando em conta as condições atuais de uso e ocupação da área, como também um melhor funcionamento do sistema de macrodrenagem para drenar o volume excedente da lagoa.

O estudo demonstra que o cenário atual encontra-se muito próximo de apresentar os danos resultantes de maiores alagamentos como mostrado no cenário de ocupação extrema. Todos os cenários indicam deficiência em algum ponto do sistema de drenagem em consequência do alto grau de ocupação da área que supera a capacidade inicial do sistema. Com o estudo ficou claro que a adoção de medidas não estruturais são medidas eficientes na redução de alagamentos e no aumento da capacidade do sistema de drenagem, e que, aliadas a instrumentos de gestão que permitam uma urbanização ordenada são suficientes para conter os impactos gerados pelo crescimento das cidades.

Seria interessante a instalação de equipamentos que permitam a calibração do modelo proposto.

Referências

- CPRM. Pfaltzgraff, Pedro Augusto dos Santos. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte / Organização Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff [e] Fernanda Soares de Miranda Torres. Recife, 2010.
- EMPARN. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RN. Meteorologia: monitoramento pluviométrico: acumulado de chuvas no ano de 2014. Disponível em: <http://www.emparn.rn.gov.br>. Acesso em: 10 agosto 2015.
- GUIMARÃES JUNIOR, J. A.; RIGHETTO, A. M. – Drenagem de bacias fechadas da cidade de Natal. In VI Conferência Municipal de Saneamento Básico. Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento Básico do Município de Natal – ARSBAN, Dezembro, 2013.
- HUFF,F. A. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois State Water Survey Champaign.1990. 18p
- LIMA, R. R. M. Estudo de manejo de águas pluviais urbanas na cidade Natal Rio Grande do Norte. Brasil. Dissertação de mestrado, UFRN. 2011, 191 p.
- LIMA, R. R. M.; RIGHETTO, A.M. Introdução ao SWMM. Engenharia de águas urbanas/Marco Aurélio Holanda de Castro, Luisa Fernanda Ribeiro Reis e Antonio Marozzi Righetto (coordenadores). Fortaleza: Expressão Gráfica Editora, 2013, cap. 1.

PDDMA. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS – Natal/RN. Diagnóstico do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da cidade do Natal. Estudos Hidrogeológicos: segundo relatório, 2009.

PMN. PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. Anuário 2013. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. Departamento de Informação, Pesquisa e Estatística. Natal, 2013.

PMN. PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. Lei Complementar no 082 - Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências, Natal/ RN. 2009.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. (2009). Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: FINEP, PROSAB. (Org.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas/Antonio Marozzi Righetto (coordenador). 1^a ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v. 04, cap. 1.

TUCCI, C. E. M (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. 943 p.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L; BARROS, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre. Editora da Universidade. 1995.

Geórgia Moreira Gurgel Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. E-mail: georgiam@ymail.com

Contribuição do autor:

Concepção inicial da pesquisa, desenvolvimento do modelo, proposição dos testes, análise dos resultados e produção do artigo.

Antônio Marozzi Righetto Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. E-mail: antmarrig@yahoo.com.br

Contribuição do autor:

Concepção inicial da pesquisa e proposição do modelo.