

IV-079 – USO DO SWMM NA MODELAGEM HIDROLÓGICA DA ÁREA URBANA DE SOBRAL, CEARÁ, BRASIL

José Wellington Severiano de Lima⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú.

Luis Henrique Magalhães Costa⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutor em Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC. Professor Adjunto da Universidade Estadual Vale do Acaraú.

José Nilton de Abreu Costa⁽³⁾

Endereço⁽¹⁾: Rua Tancredo Neves, 151 - COHAB - Coreaú - Ceará - CEP: 62160-000 - Brasil - Tel: +55 (88) 9 8824-8993 - e-mail: wellingtonseveriano@outlook.com

RESUMO

O processo de urbanização de uma cidade pode resultar em problemas de drenagem, tornando-a suscetível a enchentes e alagamentos. O município de Sobral, ao norte do estado do Ceará, sofre com esse transtorno, que prejudica diversos moradores e comerciantes. Devido a isso, nota-se a necessidade de estudos voltados à drenagem pluvial. Logo, Programas de modelagem computacional e dados de satélite podem ser importantes ferramentas para a obtenção de informações que auxiliem na gestão das águas de chuva. Esse trabalho teve como objetivo analisar o escoamento superficial do sistema de sub-bacias dessa cidade com o uso do simulador hidrológico *Storm Water Management Model-SWMM*. Alguns dados geográficos necessários foram processados no programa QGIS 2.16. Segundo a modelagem, a drenagem pluvial já sofreu bastante influência da urbanização da cidade, que impermeabiliza o solo e dificulta o processo de infiltração. A análise dos resultados mostra um aumento de 23% da vazão de pico na situação atual comparada às condições naturais. Devido a esse aumento expressivo, faz-se necessário a aplicação de equipamentos compensatórios, a fim de manter o controle do escoamento superficial na cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Urbanização, Escoamento Superficial, Modelagem Hidrológica.

INTRODUÇÃO

O homem, desde sua origem, demonstrou sua necessidade por água, passando a abrigar-se às margens de mananciais e cursos d'água. Regiões próximas a rios, córregos e riachos eram tidas como atraentes para o assentamento humano, tanto para pequena como longa permanência (GORSKI, 2008). Esse processo originou a maioria das civilizações existentes que, conforme evoluíram, povoaram ainda mais o entorno dos cursos d'água, trazendo consigo elementos urbanos (e.g., moradias, praças, indústrias, pavimentos).

Tal aumento da urbanização, na maioria das vezes desordenado, torna o meio mais sujeito a enchentes e alagamentos, já que o percentual de áreas de infiltração da água pluvial diminui com a impermeabilização do solo que sofreu intervenção. Conseqüentemente, a água que infiltraria em condições naturais passa a escoar, sobrecarregando, assim, o sistema de drenagem.

O acúmulo hídrico causado por essa sobrecarga pode gerar diversos problemas aos patrimônios público e privado, além de favorecer a proliferação de mosquitos e animais transmissores de doenças. Os cursos de água também podem ser contaminados devido ao lixo exposto nas ruas e aos elementos considerados nocivos pela Norma NBR 10004 (ABNT, 2004), como solventes, lubrificantes e produtos de limpeza, por exemplo.

A fim de evitar tais transtornos são utilizados programas de modelagem computacional, capazes de simular condições reais hidrológicas a partir de algoritmos. O software *Storm Water Management Model – SWMM* é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade de água e escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas, podendo ser utilizado tanto para simular um único evento como também para simulação contínua de longo prazo (ROSSMAN, 2010). A qualidade desse programa o tornou um dos mais utilizados por pesquisadores e profissionais da área de gestão e planejamento urbano para modelagem de drenagem urbana.

O município de Sobral, localizado às margens do Rio Acaraú no interior do estado do Ceará, sofre com sérios problemas de drenagem urbana, havendo diversos pontos de alagamento. A quantidade excessiva de pavimentos asfaltados e de construções com baixa taxa de permeabilidade nessa cidade colabora para o acúmulo da água pluvial que seria infiltrada. Além disso, existem poucos estudos que possam auxiliar na gestão e controle dessas águas, motivo pelo qual se elaborou essa pesquisa, que será de suma importância para o entendimento do escoamento da região e para a elaboração de futuros equipamentos de contenção de cheias.

Logo, o presente trabalho tem como finalidade simular eventos hidrológicos nas sub-bacias do perímetro urbano da sede de Sobral. Objetiva-se realizar simulações quantitativas do escoamento superficial de águas pluviais através do software Storm Water Management Model - SWMM, com o auxílio de informações geoprocessadas no programa QGIS, a fim de gerar hidrogramas de cheia.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para a execução do estudo, inicialmente delimitou-se o perímetro urbano da cidade de Sobral através da ferramenta Google Earth Pro, com referência em imagens de 2016 da Digital Globe (Figura 1), abrangendo uma área com 5320 hectares. Obteve-se, também, o Modelo Digital de Terreno - MDT da região de estudo, com resolução espacial de trinta metros, fornecido pela United States Geological Survey - USGS. Esse modelo permite realizar estudos altimétricos de grandes áreas, com dados extraídos de sensores de satélites. Em seguida, técnicas de geoprocessamento foram utilizadas para obtenção dos parâmetros necessários para o desenvolvimento do modelo hidrológico, com o auxílio dos módulos da plataforma *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS), presente no software QGIS.



Figura 1: Área da sede de Sobral (Ceará, Brasil) delimitada para estudo.

Inicialmente, o MDT teve seu sistema de coordenadas convertido para o de projeto (SIRGAS 2000 UTM zone 24S). Em seguida, o modelo foi tratado, recebendo correção de imperfeições nos dados de elevação com o uso da sub-rotina *r.fill.dir*. A mesma também gera o arquivo de direção de fluxo. A partir de então se realizou a análise da bacia hidrográfica, retornando os pontos de acúmulo de água, a direção da drenagem, a segmentação do rio e as sub-bacias da rede, com o uso da sub-rotina *r.watershed*. Com os dados gerados, foi calculada a área e a declividade média de cada sub-bacia. Os talvegues também foram obtidos, além de sua extensão e declividade média. Tais parâmetros são necessários para a sequência do trabalho, no qual será utilizado o modelo SWMM.

O percentual de áreas permeáveis foi obtido a partir de imagens georreferenciadas do Google Earth Pro. Lotes menores foram considerados impermeáveis, visto que serão prováveis áreas construídas futuramente. As ruas

também receberam a mesma qualidade, pois as que não tinham pavimento poderão, posteriormente, ser pavimentadas. Lotes em maior proporção e áreas verdes foram tidos como permeáveis para a estimativa percentual de área impermeável das sub-bacias.

O modelo empregado no SWMM foi o de chuva-vazão, que tem como variável de entrada a chuva e de saída o hidrograma do escoamento vertical. Foram empregados os parâmetros encontrados com o uso das técnicas de geoprocessamento (e.g. área total (ha) e área impermeável (%), largura da sub-bacia (m), declividade média (%), tipo de solo, além da extensão e declividade média do talvegue).

Para a determinação da declividade do talvegue, dividiu-se em partes iguais seu comprimento em medidas inferiores a 500 metros (Máximo Divisor Comum). O processo foi realizado com a sub-rotina “*v.split*” a partir das ferramentas GRASS. Em seguida, com a sub-rotina “*v.to.points*”, criou-se pontos nos extremos dos trechos, utilizados posteriormente no complemento “*Point Sampling Tool*” para extrair do MDT a cota referente a cada ponto. Com os dados obtidos, realizaram-se cálculos estatísticos (média harmônica) a fim de obter a declividade média de cada talvegue.

O tempo de concentração foi obtido a partir da Equação de Kirpich, representada na Equação 1. Esse método é ideal para as proporções das sub-bacias da região, que são inferiores a 26 km². Considera-se “*T_c*” como tempo de concentração em h; “*L*” como comprimento do talvegue em km e “*S*” como declividade média do talvegue em m/m.

$$T_c = 0,0663 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad (\text{Equação 1})$$

Foi utilizada a equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas elaborada por MARTINS (2015), destinada à cidade de Sobral (Equação 2). Essa permite calcular a intensidade de chuvas para períodos de retorno de 5 a 100 anos. A intensidade máxima é representada por “*i*” em mm/hora de uma chuva em função da sua duração (“*td*” em mins) e o tempo de retorno, “*TR*” em anos.

$$i = \frac{691,2156 \cdot (TR)^{0,1608}}{(td+9,5264)^{0,7275}} \quad (\text{Equação 2})$$

O período de retorno adotado foi de cinco anos. Adotou-se o coeficiente de rugosidade de Manning (*n*) segundo Rossman, com o valor de 0,013 para áreas de concreto normal e 0,15 para região gramada. O tempo de simulação foi de seis horas com medições a cada dez minutos.

As sub-bacias foram inseridas no SWMM com fidelidade às coordenadas reais. Desse modo, segundo SILVA (2012, é possível obter uma melhor visualização do projeto. Para isso, inseriu-se tais coordenadas no arquivo “*.inp*” (Extensão do SWMM) por meio do Bloco de Notas.

Dentre as ferramentas do objeto do programa inseriu-se o “Exultório” para representar o final do curso da rede de sub-bacias. Em seguida, inseriram-se as séries no módulo “Pluviômetros” e as precipitações de projeto no módulo “Séries Temporais”. Os objetos “Sub-bacias” foram utilizados para a inclusão dos dados de cada sub-bacia. As saídas de escoamento são representadas na Figura 2.

De um total de 4200 hectares abrangendo toda a área de estudo, 64% já estão impermeabilizados (Figura 5). Embora algumas sub-bacias tenham apresentado menos de 50% de área impermeável (sub-bacias um e quatro), a maioria obteve a partir de 70%, chegando a 87% na sub-bacia seis, que abrange o centro da cidade.

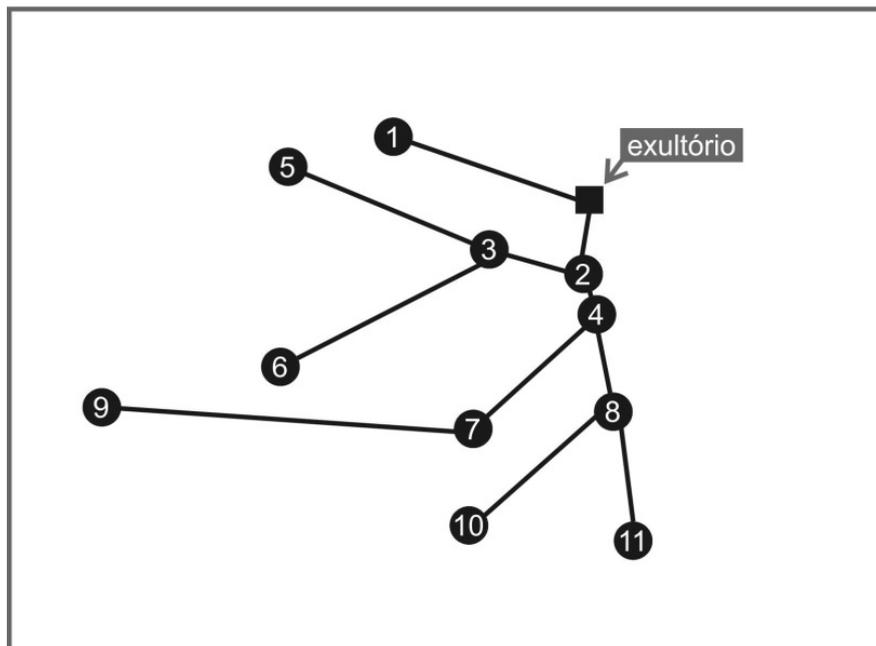


Figura 2: Representação do escoamento entre as sub-bacias.

RESULTADOS OBTIDOS

O MDT, devidamente ajustado, apresentou valores altimétricos entre 54 e 125 metros (Figura 3). Foram delimitadas onze sub-bacias com seus respectivos talvegues principais (Figura 4). Algumas áreas urbanas não foram inseridas no estudo, pois tinham seu escoamento direcionado para fora da cidade.

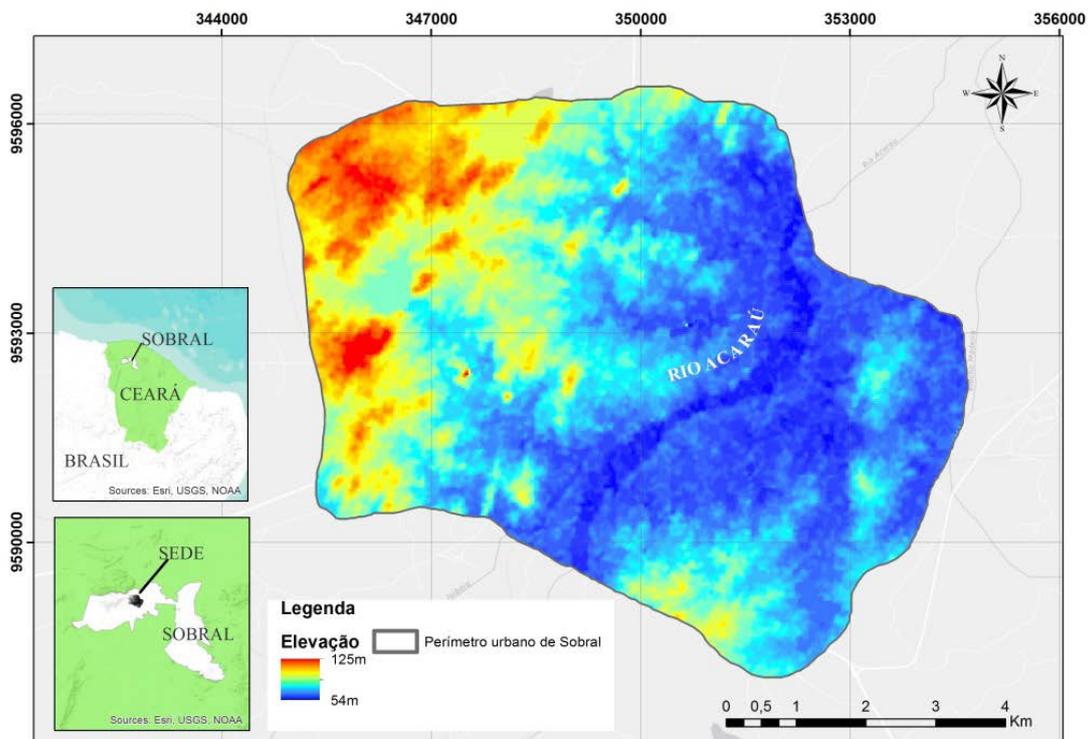


Figura 3: Mapa de elevação da cidade de Sobral (Ceará, Brasil).

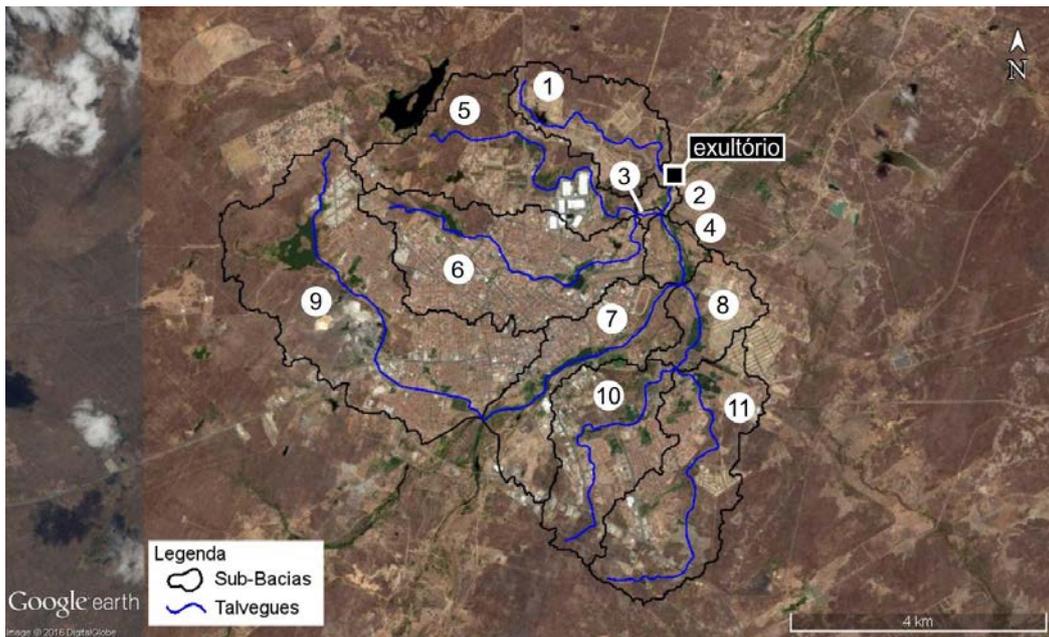


Figura 4: Representação e enumeração das sub-bacias e talvegues da cidade de Sobral, Ceará.



Figura 5: Delimitação da área permeável da zona urbana de Sobral, Ceará.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os dados obtidos em relação ao comprimento e declividade média dos talvegues, necessários para o cálculo do tempo de concentração através do método de Kirckiph, também expressado na tabela. Os resultados de área e declividade média de cada sub-bacia estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, gerados a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação.

Tabela 1: Comprimento, Declividade Média e Tempo de Concentração das sub-bacias 1 a 6.

Sub-bacia	1	2	3	4	5	6
Comprimento do Talvegue (km)	3,90	0,57	5,16	0,42	1,24	5,53
Decliv. Média do Talvegue (m/m)	0,0051	0,0018	0,0033	0,0048	0,0008	0,0018
Tempo de Concentração (h)	1,44	0,49	2,13	0,26	1,22	2,84

Tabela 2: Comprimento, Declividade Média e Tempo de Concentração das sub-bacias 7 a 11.

Sub-bacia	7	8	9	10	11
Comprimento do Talvegue (km)	4,09	1,56	6,02	4,50	5,28
Decliv. Média do Talvegue (m/m)	0,0005	0,0011	0,0036	0,0024	0,0023
Tempo de Concentração (h)	3,60	1,30	2,31	2,14	2,46

Tabela 3: Área e declividade média das sub-bacias 1 a 6.

Sub-Bacia	1	2	3	4	5	6
Área (ha)	308,59	26,64	542,17	7,20	81,98	627,79
Declividade (%)	4,90	3,55	5,68	3,25	11,52	4,66

Tabela 3: Área e declividade média das sub-bacias 1 a 6.

Sub-Bacia	7	8	9	10	11
Área (ha)	382,42	181,20	1080,53	423,57	561,89
Declividade (%)	3,83	3,68	6,28	4,32	4,04

A Figura 4 mostra os dados devidamente incorporados no SWMM para a realização da modelagem. Como resultado em condições naturais, obteve-se uma vazão de pico de aproximados 30000 L/s após duas horas do início da chuva, com valores aproximados por mais três horas. Na condição atual, o modelo apontou um pico de vazão de 37000 L/s após duas horas do início da chuva, excedendo bastante o valor da primeira condição. Após redução do pico, a curva de condição natural manteve valores próximos à condição natural (Figura 5).

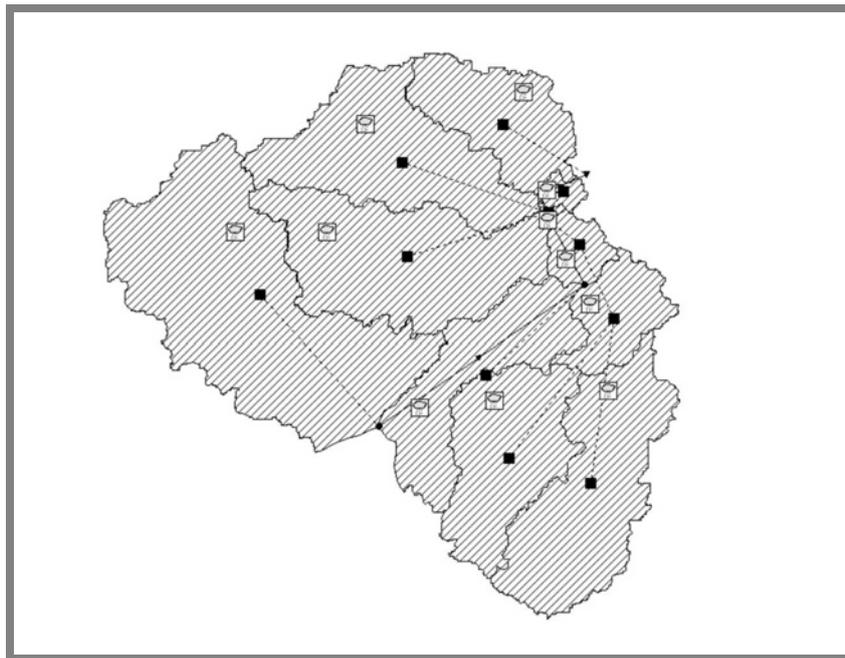


Figura 4: Representação das sub-bacias com os devidos dados no SWMM.

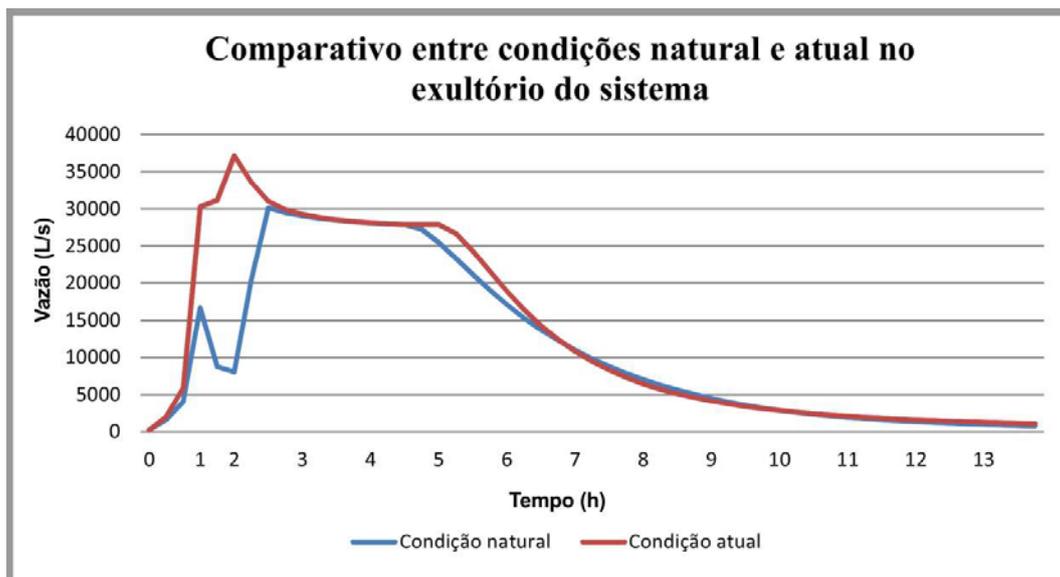


Figura 5: Comparação da vazão entre as condições natural e atual.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A área envolvida no trabalho corresponde a mais de 4000 ha, influenciando, assim, no aumento do tempo de escoamento. Os valores de vazão de maior destaque ocorreram durante o período de uma hora até cinco horas após o início da chuva. Após esse intervalo, sofreu queda gradativa, ficando abaixo de 5000 L após quase nove horas em ambas situações. A curva apresentou uma maior variação de resultados nas primeiras duas horas, quando a vazão na condição atual se sobressaiu devido à falta de infiltração, que gerou uma sobrecarga imediata.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os dados altimétricos gerados a partir do MDT demonstraram ser confiáveis, expressando uma topografia condizente com o relevo da região. A rede hidrográfica extraída do Modelo Digital de Elevação com o uso do QGIS é bem próxima da real, dando confiabilidade aos processos adotados. O modelo hidrológico gerado pelo SWMM foi conciso, apresentando uma curva de chuva-vazão que facilita a análise do sistema de escoamento. Essa apreciação alerta para a necessidade de equipamentos compensatórios, que sejam capazes de tornar a vazão das águas de chuva escoadas mais próxima da situação natural, diminuindo, dessa maneira, a possibilidade de alagamentos na cidade de Sobral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 - Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
2. GARCIA, J.I.B. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela. Santa Maria, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. 2005.
3. GORSKI, M.C.B. Rios e cidades: ruptura e reconciliação. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo-Universidade Presbiteriana Mckenzie. 2008.
4. MARTINS, I.L.A. Elaboração da equação de chuvas intensas para a cidade de Sobral-CE. Sobral, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso-Bacharelado em Engenharia Civil-Universidade Estadual Vale do Acaraú. 2015.
5. ROSSMAN, L.A. *Storm Water Management Model. Version 5.0. National Risk Management Research Laboratory, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.* 2010.
6. SILVA, M.P. Aplicação do modelo de gestão de drenagem urbana SWMM no controle de alagamentos em Barreiras-BA. Barreiras, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso-Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental-Universidade Federal da Bahia. 2012.