



ADAPTAÇÃO DO CÓDIGO COMPUTACIONAL SWMM PARA SIMULAÇÕES DE REDES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO CONFORME A NORMA BRASILEIRA NBR 9649.

Marco Valério de Albuquerque Vinagre¹

Alan Marcel Fernandes de Souza²

Aline Martinho Trindade Ferreira³

Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes⁴

Eixo Temático 7: Jovens Pesquisadores

RESUMO

O Brasil possui indicadores críticos relacionados aos sistemas de esgotamento sanitário, o que reflete diretamente na qualidade de vida da população. A inexistência de redes coletoras de esgoto pode ser justificada de diversas formas, ressalta-se nesta pesquisa a ausência de ferramentas computacionais que venham, de forma prática e didática, simular estas redes. O programa SWMM (StormWater Management Model, em português Modelo de Gestão de drenagem Urbana), da Agência Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), cujo código fonte é aberto, é mundialmente utilizado na modelagem de sistemas de drenagem urbana. É também utilizado em simulações de redes de esgotamento sanitário, porém para estas possui severas limitações de resultados, àqueles exigidos pela NBR 9649 - Norma Brasileira de Projeto de Redes Coletoras de Esgotamento Sanitário – são estes: tensão trativa, lamina d'água percentual e velocidade crítica. Esta pesquisa aprimorou a 5ª versão do código computacional SWMM, incluindo as variáveis exigidas pela NBR 9649, permitindo análises de redes de esgotamento sanitário a partir somente do uso do SWMM aprimorado. Para validação do programa aprimorado foi simulada uma rede existente de esgotamento sanitário em Belém do Pará, obtendo-se resultados satisfatórios.

Palavras-chave: saneamento, esgoto, simulação hidráulica, SWMM.

1.INTRODUÇÃO

A Lei 11.445/2007 estabelece em seu art. 3º que, saneamento básico é o conjunto de serviços, infra-estrutura e instalações de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Porém, o esgotamento sanitário ainda é ausente em muitos municípios, conforme visto na figura 1.

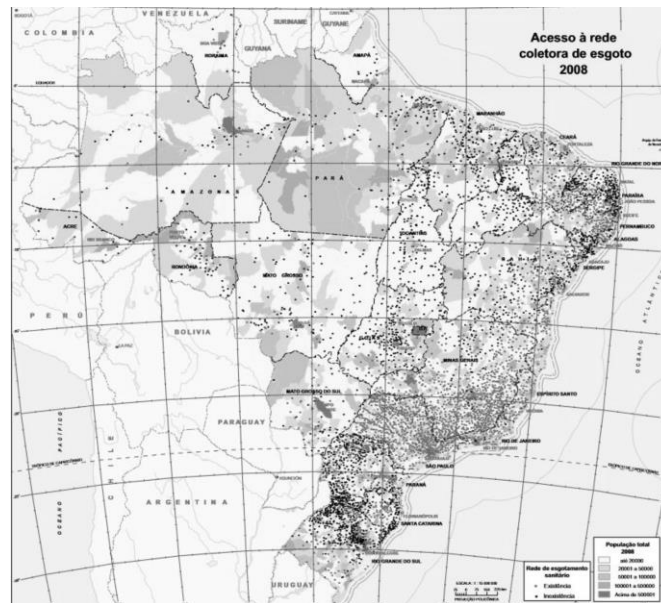
¹Engenheiro de Infraestrutura Aeronáutica (ITA). Mestre em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFPA) e Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (UFPA); Professor da Universidade da Amazônia (UNAMA). E-mail: valeriovinagre@gmail.com

²Engenheiro de Computação. Mestre em Processos Industriais e Doutorando em Engenharia Elétrica (UFPA); Professor da Universidade da Amazônia (UNAMA).

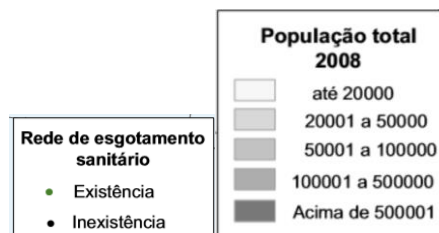
³Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária (UNAMA). Bolsista PIBIC (CAPES/UNAMA).

⁴Geólogo. Mestre em Geofísica (UFPA) e Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (UFPA); Professor da Universidade Federal do Pará (UFPA) Belém (PA), Brasil.

Figura 1: Distribuição espacial dos municípios segundo existência rede de esgoto sanitário e população total.



LEGENDA



Fonte: IBGE (2010).

Conforme demonstrado na figura 1, o esgotamento sanitário é um serviço de saneamento básico escasso em muitos municípios brasileiros. Muitos municípios não possuem tratamento de esgotos adequado ou sequer disponibilizam o serviço para sua população, o lançamento desses efluentes nos corpos hídricos comprometem a qualidade e os usos das águas, causando implicações danosas à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente (ANA, 2017).

Em geral, tanto a população quanto o município, sendo este último o órgão titular dos serviços de saneamento, priorizam o abastecimento de água, e o esgotamento sanitário é abrangido em poucas áreas. Há diversos fatores que explicam o motivo pelo qual o esgotamento sanitário dificilmente é priorizado como, a existência de medidas individuais e fáceis a serem implantadas, desta forma, dificultando a ligação da população com a rede; por serem sistemas mais caros à implantação; e também por serem sistemas mais complexos na elaboração de cálculos e projetos.

A Norma Brasileira 9649:1986 *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário* fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto hidráulico-sanitário de redes coletoras de esgoto sanitário, onde o escoamento hidráulico acontece sob pressão atmosférica, isto é, em lâmina livre, observada a regulamentação específica das entidades responsáveis pelo planejamento e desenvolvimento do sistema de esgoto. O dimensionamento hidráulico dessas importantes



redes considera populações de início e de final de projeto, cujas contribuições de vazão são escoadas por essa rede em regime não-pressurizado.

Quanto à qualidade e eficiência do serviço de esgotamento sanitário, cabe observar que a situação do esgotamento sanitário nos municípios brasileiros está muito longe de alcançar uma condição satisfatória. Analisando os dados da pesquisa para o conjunto do País, percebe-se que houve um avanço muito pequeno na coleta de esgoto sanitário. Na pesquisa realizada em 2000, 52,2% dos municípios tinham serviço de coleta, já em 2008 esse percentual passou para 55,1% dos municípios apresentando este tipo de serviço (GUERRA, 2011).

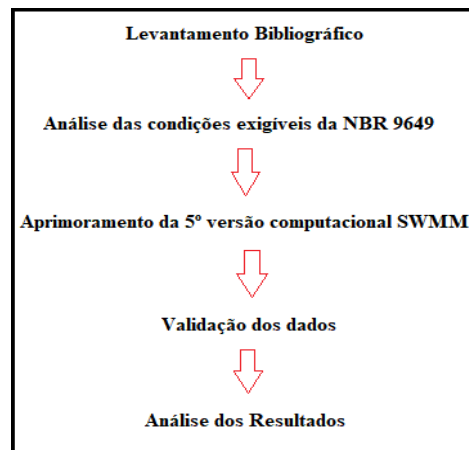
Frequentemente, a imprensa noticia a baixa cobertura da provisão de esgotamento sanitário, com a população perdendo qualidade de vida e de habitabilidade. Do ponto de vista de engenharia, a elaboração de projetos de redes de esgotamento sanitários é mais complexa que a de abastecimento de água, cabe aqui lembrar que estes (água) contam com uma ferramenta computacional valiosa, o EPANET, as redes de drenagem contam com o SWMM, enquanto as redes coletoras de esgoto encontram-se desassistidas de ferramentas similares. Após vários anos do autor lecionando o tema, tornou-se claro para o mesmo que além das limitações orçamentárias, a dificuldade técnica da elaboração desses projetos concorre para a baixa cobertura de redes coletoras de esgoto sanitário no Brasil.

Assim, cabe aqui perguntar: seria possível aprimorar o SWMM para assistir o estudo de redes coletoras de esgoto sanitário, em conformidade com NBR 9649:1986, a Norma Brasileira de Engenharia no tocante a tensão trativa, lâmina d'água percentual e velocidade crítica?

2. METODOLOGIA

A metodologia foi elaborada em cinco etapas, na primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os assuntos relevantes ao tema e ao software SWMM, que viessem contribuir e justificar a elaboração da pesquisa. Na segunda etapa foi feita uma análise das condições exigíveis da NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Na terceira etapa foi realizado o aprimoramento do software SWMM. Na quarta etapa, fez-se uma validação dos dados no software aprimorado com uma rede de esgotamento sanitário já existente. E na quinta etapa, fez-se uma análise dos resultados obtidos. A figura 2 representa a sequência das etapas descritas da pesquisa.

Figura 2: Etapas metodológicas.



Fonte: Autores (2018).

2.1. Análise das condições exigíveis da NBR 9649

A NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, é a Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que estabelece condições específicas para o dimensionamento hidráulico, ou seja, estabelece parâmetros das redes coletoras de esgoto, cujos não são determinados em redes de drenagem pluvial, portanto, o software SWMM não simula estes parâmetros. Desta forma, buscaram-se na Norma tais parâmetros necessários à simulação das redes coletoras de esgoto, que serão incorporados ao software, são estes: tensão trativa, lâmina d'água percentual, velocidade crítica, declividade mínima e declividade máxima.

O dimensionamento da rede de esgoto deve atender a todos os critérios preconizados pela NBR 9649:1986. Para se determinar a contribuição de esgotos é necessário conhecer a população da área para início e final de plano, a contribuição per capita, o coeficiente de retorno esgoto/água e os coeficientes de variação de vazão (TSUTIYA; SOBRINHO, 1999).

Os critérios de dimensionamento a serem atendidos são:

- Vazão mínima considerada para dimensionamento hidráulico: 1,5 l/s.
- Diâmetro mínimo: 100mm.
- Declividade Mínima: é a declividade necessária para manutenção das condições de autolimpeza. As canalizações de esgotos serão projetadas com velocidades de escoamento que evitem deposições excessivas de substâncias sólidas minerais que normalmente são transportadas pelo líquido em escoamento.
- A tensão trativa em todos os trechos da rede deve estar acima de 1,0 Pa como recomenda a NBR 9649/86, com isso garante-se as condições de autolimpeza pelo menos uma vez ao dia.
- Declividade Máxima: a velocidade máxima do escoamento é função da declividade máxima. Nos condutos de esgoto deve-se evitar que a velocidade ultrapasse certos valores máximos a fim de evitar a ação erosiva de partículas sólidas duras que são transportadas pelo esgoto, em todos os trechos da rede a velocidade deve estar abaixo da velocidade máxima que é 5m/s.
- Lâmina Líquida: recomenda-se para os coletores que a relação de enchimento $Y/D \leq 0,75$.
- Velocidade crítica: quando a velocidade final é superior a velocidade crítica, a lâmina de água máxima deve ser reduzida para 50% do diâmetro do coletor.
- Poços de Visita: os poços de visita devem ser colocados nos inícios de trecho e nas mudanças de declividade e de direção do escoamento.
- Taxa de infiltração: deve ser adotada entre 0,05 a 1,0 l/s.km

2.2. Aprimoramento da 5ª versão computacional SWMM

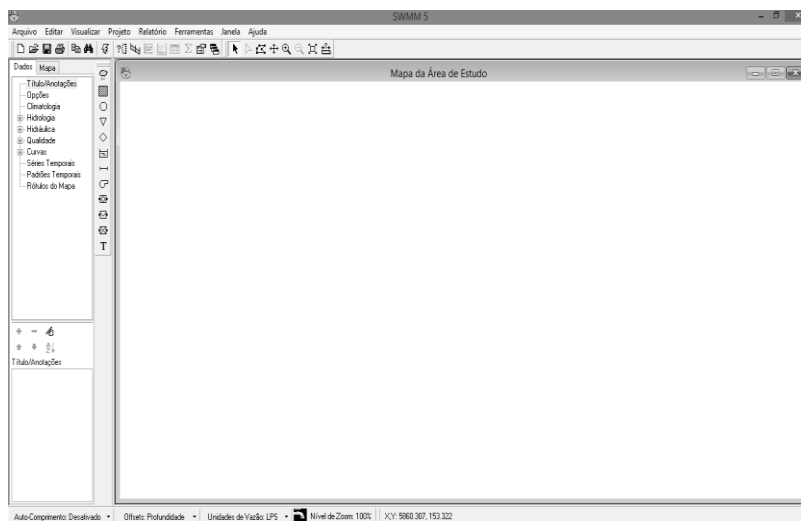
O estudo foi desenvolvido com o uso do código computacional livre e gratuito SWMM, desenvolvido pela ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), o qual teve seu código-fonte aprimorado de modo a incluir o cálculo e a apresentação dos parâmetros importantes estabelecidos na NBR 9649:1986.

De acordo com Meller (2004), o SWMM (*Storm Water Management Model*), da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), surgiu no final da década de 1960, desenvolvido pelos pesquisadores Metcalf e Eddy, a *Water Resources Engineers* e a Universidade da Flórida, sob comando e supervisão da EPA. Foi o primeiro modelo computacional para análise quali-



quantitativa associada ao escoamento gerado em áreas urbanas, desenvolvido em 5 versões principais (v.1-1970, v.2-1975, v.3-1981, v.4- 1988 e v.5-2003) até sua última atualização em junho de 2003, dando origem a versão 5. A Figura 3 apresenta sua área de trabalho.

Figura 3: Área de trabalho SWMM



Fonte: Autores (2018).

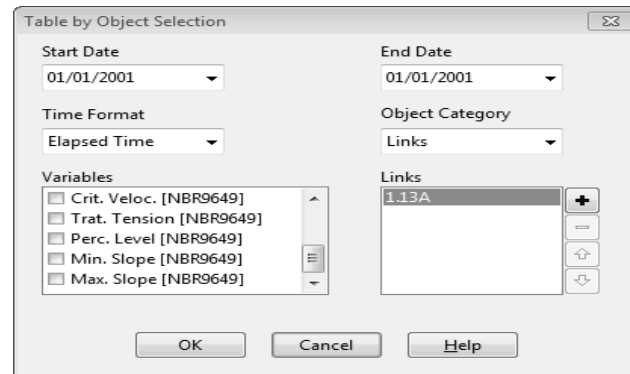
Pioneiro no segmento de softwares hidrológicos dinâmicos, até os dias de hoje, o SWMM é o aplicativo computacional mais utilizado para simulação da drenagem urbana, principalmente por ser de domínio público e ter seu código de programação aberto, permitindo modificações ao longo dos últimos 30 anos (MELLER, 2004). É considerado um modelo dinâmico de simulação de precipitações, que se pode utilizar para um único acontecimento ou para realizar uma simulação contínua em período estendido (SILVA, 2007).

O aprimoramento em questão foi feito na versão 5.1.012 do SWMM. Basicamente, esse sistema é composto por dois projetos. Um se refere à parte de interface gráfica com o usuário (*Graphical User Interface* - GUI), que foi criada pelos desenvolvedores do software através da linguagem de programação Delphi 6. O outro à biblioteca desenvolvida para realização de cálculos e de processamento de dados (*Dynamic Link Library* - DLL), também conhecida como *engine*, que foi construída pelos idealizadores utilizando a linguagem de programação C.

Em termos de GUI, as alterações realizadas foram para permitir que o usuário escolha as variáveis propostas da NBR 9649:1986, conforme pode ser notado na área “Variables” da figura 4.



Figura 4: Aprimoramento na seleção de variáveis no SWMM_NBR9649.



Fonte: Autores (2018).

Em relação às modificações na *engine*, as fórmulas disponibilizadas na NBR 9649:1986 foram programadas para calcular os valores de cada variável.

Para a variável Velocidade Crítica (V_c) foi inserido no projeto *engine* a Equação 1. Considerou-se para as duas variáveis existentes na equação, ‘g’ – gravidade – igual a 9,81 m/s² e ‘Rh’ – Raio hidráulico – os respectivos Raios já calculados pelo programa para cada tubulação.

$$V_c \left(\frac{m}{s} \right) = 6 \times \sqrt{9,81 \times Rh} \quad (1)$$

Para a variável Tensão Trativa (σ_t), utilizou-se a Equação 2. E considerou-se para a três variáveis existentes nesta, ‘γ’ – peso específico da água – igual a 10.000 N/m³, ‘ I_o ’ – declividade do terreno – e ‘Rh’ – Raio hidráulico – igual, respectivamente, as declividades e Raios já calculados pelo programa para cada tubulação.

$$\sigma_t (Pa) = 10.000 \times I_o \times Rh \quad (2)$$

Para a variável Lâmina D’água (Y/D), inseriu-se a razão entre ‘y’ – altura da seção transversal preenchida pelo efluente – e ‘yFull’ – altura total da seção transversal – conforme a Equação 3.

$$Y/D = y/yFull \quad (3)$$

Para a variável Declividade Mínima (I_{min}), utilizou-se as Equações 4 e 5, de acordo com a condição expressa. Para a única variável presente na Equação 4, ‘Q’ – vazão – considerou-se as respectivas vazões já calculadas pelo programa para cada tubulação.

$$\text{Se } Q \geq 1,5 \text{ l/s} \rightarrow I_{min} \left(\frac{m}{m} \right) = 0,0055 \times Q^{-0,47} \quad (4)$$

$$\text{Se } Q < 1,5 \text{ l/s} \rightarrow I_{min} \left(\frac{m}{m} \right) = 0,0055 \times 1,5^{-0,47} \quad (5)$$

Para a variável Declividade Máxima (I_{max}), conforme a variável Declividade Mínima, esta segue com a mesma interpretação da condição e da variável na Equação 6.

$$\text{Se } Q \geq 1,5 \text{ l/s} \rightarrow I_{\max}\left(\frac{m}{m}\right) = 4,5 \times Q^{-0,67} \quad (6)$$

$$\text{Se } Q < 1,5 \text{ l/s} \rightarrow I_{\max}\left(\frac{m}{m}\right) = 4,5 \times 1,5^{-0,67} \quad (7)$$

Quando uma simulação é executada, o usuário pode ver os resultados gerados para as variáveis que ele selecionar. Por intermédio da figura 5, é possível verificar - através das colunas Crit. Veloc, Trat Tension, Perc.Level, Min. Slope e Max. Slope - um exemplo de resultado gerado graças à adequação do SWMM para atender a NBR 9649:1986.

Figura 5: Aprimoramento na visualização de resultados no SWMM_NBR9649.

Days	Hours	Crit. Veloc. [NBR9649] [m/s]	Trat. Tension [NBR9649] [m-s-c-B]	Perc. Level [NBR9649]	Min. Slope [NBR9649]	Max. Slope [NBR9649]
0	01:00:00	0.85399	0.00539	0.00004	0.00455	3.42950
0	02:00:00	1.51505	0.01696	0.01067	0.00455	3.42950
0	03:00:00	2.27468	0.03824	0.02712	0.00455	3.42950
0	04:00:00	2.81129	0.05841	0.04171	0.00455	3.42950
0	05:00:00	2.91931	0.06299	0.04507	0.00455	3.42950
0	06:00:00	3.20699	0.07601	0.05465	0.00455	3.42950
0	07:00:00	3.97146	0.11657	0.08517	0.00294	1.84058
0	08:00:00	5.16363	0.19706	0.14861	0.00168	0.83219
0	09:00:00	5.27242	0.20546	0.15542	0.00161	0.78302
0	10:00:00	5.27521	0.20567	0.15560	0.00161	0.78182
0	11:00:00	5.46250	0.22054	0.16795	0.00150	0.70668
0	12:00:00	5.49895	0.22349	0.17043	0.00148	0.69302
0	13:00:00	5.52160	0.22533	0.17199	0.00147	0.68484
0	14:00:00	5.53945	0.22679	0.17322	0.00146	0.67851
0	15:00:00	5.55116	0.22775	0.17402	0.00145	0.67441
0	16:00:00	5.55516	0.22808	0.17430	0.00145	0.67302
0	17:00:00	5.43434	0.21827	0.16604	0.00152	0.71727
0	18:00:00	5.41308	0.21656	0.16461	0.00153	0.72539
0	19:00:00	5.39952	0.21548	0.16369	0.00154	0.73071
0	20:00:00	5.27335	0.20553	0.15548	0.00161	0.78258
0	21:00:00	5.18573	0.19875	0.14998	0.00167	0.82181
0	22:00:00	5.17326	0.19780	0.14920	0.00168	0.82755

Fonte: Autores (2018).

O SWMM_NBR9649 proposto nesse trabalho e o código-fonte alterado podem ser encontrados para download no link https://github.com/amarcel/SWMM_NBR9649.

2.3. Validação do SWMM - NBR9649

Para verificar e validar o uso do aprimoramento efetuado no software foi utilizado rede de esgotamento sanitário existente no bairro São João do Outeiro, em Belém-PA, a qual foi estudada com o uso do SWMM através do *Giswater* por Nascimento & Carvalho (2016).

O bairro São João do Outeiro (Figura 6) foi escolhido para a simulação do sistema de esgotamento sanitário existente, o qual é bastante diversificado quanto ao tipo, segundo o Anuário Estatístico de Belém, disponibilizado pela SEGE (2011).

Figura 6: Imagem do bairro de São João do Outeiro.



Fonte: Google Earth Pro (2018).

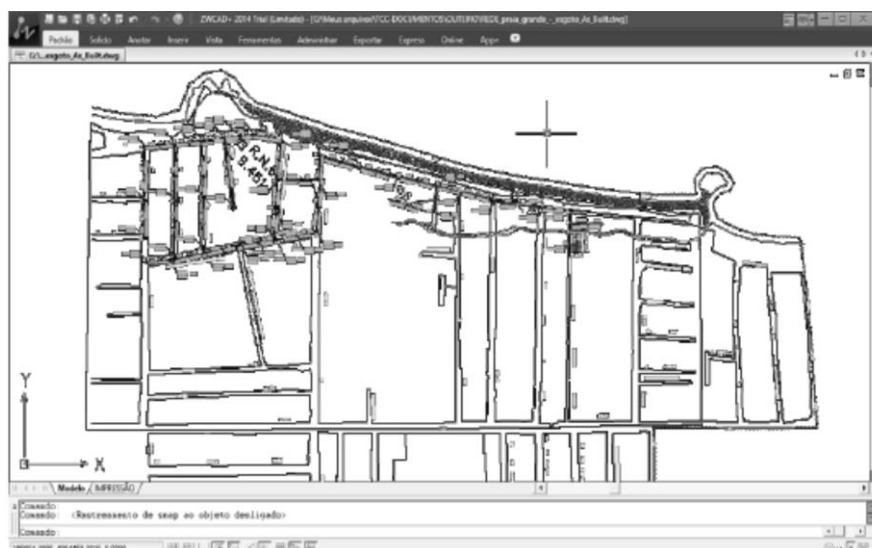
Para a simulação da rede de esgoto no bairro São João do Outeiro foi utilizado nesta pesquisa o *software* *SWMM* em sua versão aprimorada para esgoto sanitário. Para isso a série temporal de precipitações foi alimentada de modo a simular a vazão de esgoto ao invés da chuva. Esta vazão simulada foi denominada de Precipitação Equivalente Média Inicial (P_{ei}), para a vazão de início de projeto e Precipitação Equivalente Média Final (P_{ef}) para a vazão de final de projeto, e ambas foram calculadas conforme as equações 8 e 9, respectivamente, onde ' P_i ' - população inicial – igual a 1.500 habitantes, ' P_f ' - população final – igual a 3.000 habitantes, ' C ' - coeficiente de retorno – igual a 0,8, ' K_1 ' - coeficiente do dia de maior consumo – igual a 1,2, ' K_2 ' - coeficiente da hora de maior consumo – igual a 1,5, ' q ' - per capita – igual a 200 L/(hab.dia), ' A ' - área da total da região – igual a 5,0 ha e ' $Inf.$ ' - infiltração na área total da região – igual a 0,1152 mm/(m².h).

$$P_{ei} \left(\frac{mm}{m^2.h} \right) = \frac{P_i \times C \times K_1 \times K_2 \times q}{10.000 \times A \times 24} + Inf. \quad (8)$$

$$P_{ef} \left(\frac{mm}{m^2.h} \right) = \frac{P_f \times C \times K_1 \times K_2 \times q}{10.000 \times A \times 24} + Inf. \quad (9)$$

Para o levantamento de dados do estudo de caso, foi utilizada uma rede de esgotamento sanitário existente no banco de dados da Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, Companhia responsável pela operação do serviço de esgotamento sanitário no bairro. Além disso, para uma simulação bem-sucedida foi utilizado informações quanto ao cadastro técnico, existente em plantas do *AutoCAD*, como mostra a Figura 7, que serviram para alimentar os trechos e nós no sistema.

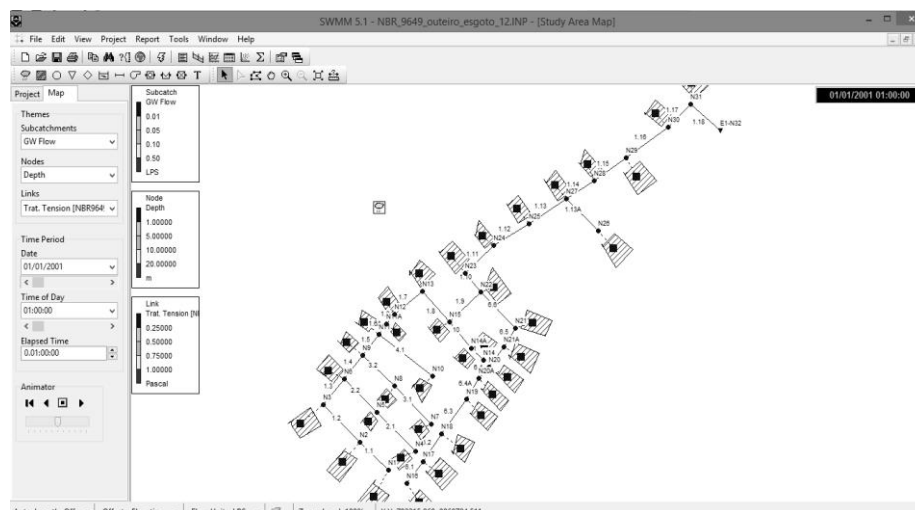
Figura 7: Planta *AutoCAD* da estrutura urbana do bairro São João do Outeiro.



Fonte: Nascimento; Carvalho (2016).

O *shape* de base cartográfica com a estrutura urbana dos bairros serviu, neste caso, como auxílio para o desenho da rede. Depois de elaborado o desenho, foram inseridos os elementos físicos dos trechos e nós da rede de esgoto, tais como cotas, diâmetros e comprimento nesses elementos físicos (Figura 8).

Figura 8: Rede coletora de esgotos do bairro São João do Outeiro no *SWMM* aprimorado.



Fonte: Autores (2018).

Observa-se na Figura 8 o traçado da rede, com os nós interligados por trechos de condutos. Esses nós ou junções recebem a contribuição de bacias virtuais que representam a contribuição equivalente de esgoto sanitário da população do bairro atendida pela rede, em início e final de projeto.

Em relação aos trechos dos condutos do sistema de esgotamento sanitário do bairro São João do Outeiro, apresentado na Figura 8, foram inseridos no *SWMM*, além da denominação do

trecho, seu diâmetro, comprimento, *offset* de entrada e saída, que são as cotas dos condutos de entrada e saída do esgoto, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Dados dos trechos da rede.

Trecho	DN (mm)	Comprimento (m)	Offset de entrada (m)	Offset de saída (m)
1.1	0,15	60	9,83	9,81
1.2	0,15	88	9,81	9,76
1.3	0,15	50	9,76	9,70
1.4	0,15	48	9,70	9,61
1.5	0,15	36	9,61	9,46
1.6	0,15	26	9,42	9,38
1.6A	0,15	27	9,46	9,42
1.7	0,15	48,5	9,38	9,30
1.8	0,15	63	9,30	9,09
1.9	0,15	72,4	9,09	9,08
1.10	0,15	37,5	9,08	9,08
1.11	0,20	70	9,08	9,06
1.12	0,20	72	9,06	9,05
1.13	0,20	70	9,05	9,03
1.13A	0,10	39	9,04	9,03
1.14	0,25	39	9,03	9,03
1.15	0,25	61	9,03	9,01
1.16	0,25	82	9,01	9,00
1.17	0,25	52	9,00	8,99
1.18	0,25	59	8,99	8,97
10	0,15	46	9,10	9,09
11	0,15	34	9,17	9,10
2.1	0,15	90	9,79	9,74
2.2	0,15	86	9,74	9,70
3.1	0,15	88	9,70	9,66
3.2	0,15	90	9,66	9,61
4.1	0,15	110	9,62	9,46
6.1	0,15	50	9,85	9,80
6.2	0,15	55	9,80	9,70
6.3	0,15	63,5	9,70	9,59
6.4	0,15	31	9,44	9,27
6.4A	0,15	33	9,59	9,44
6.5	0,15	36	9,14	9,10
6.5A	0,15	37,35	9,27	9,14
6.6	0,15	83,6	9,10	9,08

Fonte: Autores (2018).

Em relação aos nós do sistema de esgotamento sanitário do bairro São João do Outeiro apresentado na Figura 8, foram inseridos no SWMM, além da denominação do nó, sua cota e a profundidade do radier, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Dados dos nós da rede.

Nós	Cota (m)	Profundidade (m)
1	9,83	1,20
2	9,81	1,42
3	9,76	1,40
4	9,79	1,00
5	9,74	1,53
6	9,70	1,45
7	9,70	1,00
8	9,66	1,69
9	9,61	1,92
10	9,62	1,00
11	9,46	2,05
11 ^a	9,42	2,32
12	9,38	1,42
13	9,30	1,16
14	9,17	1,11
14 ^a	9,10	1,00
15	9,09	0,96
16	9,85	1,00
17	9,80	0,92
18	9,70	1,11
19	9,59	1,07
20	9,27	1,50
20 ^a	9,44	1,49
21	9,10	0,85
21 ^a	9,14	1,00
22	9,08	1,10
23	9,08	1,77
24	9,06	1,73
25	9,05	1,62
26	9,04	1,05
27	9,03	1,77
28	9,03	1,75
29	9,01	2,26
30	9,00	2,04
31	8,99	2,25

Fonte: Autores (2018).

Para a simulação desta rede levou-se em consideração que o trecho tem seção circular; coeficiente de *Manning* de 0,01; 35 sub-bacias cada uma com área de 0,14 ha e largura de 1,22 m. Para a inserção das séries temporais, de modo a alimentar as informações de pluviômetro, foi calculada a precipitação equivalente média, para uma população inicial de 1500 habitantes e população final de 3000 habitantes, resultando nos respectivos valores de $0,3152 \text{ mm.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ e $0,8352 \text{ mm.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$, que representam a contribuição do esgoto na rede. Sobre esses valores de contribuição de esgoto, foi incidido um padrão temporal que variou a vazão conforme as horas do dia, tornando a simulação mais próxima do real. Para o cálculo do padrão temporal foi utilizado o padrão de consumo disponível no manual do *Epanet*, que

estabelece intervalos de 1 a 8 com os seguintes fatores multiplicativos, respectivamente aos intervalos: 0,3, 0,4, 1,2, 1,5, 1,5, 1,3, 1,1 e 0,7, sendo cada intervalo com duração de 3 horas.

A tabela 3 apresenta os valores das séries temporais equivalentes multiplicadas pelos fatores multiplicativos do *Epanet*, resultando nos dados de um dia de funcionamento da rede coletora de esgotos para as populações de início e de final do projeto.

Tabela 3: Série Temporal

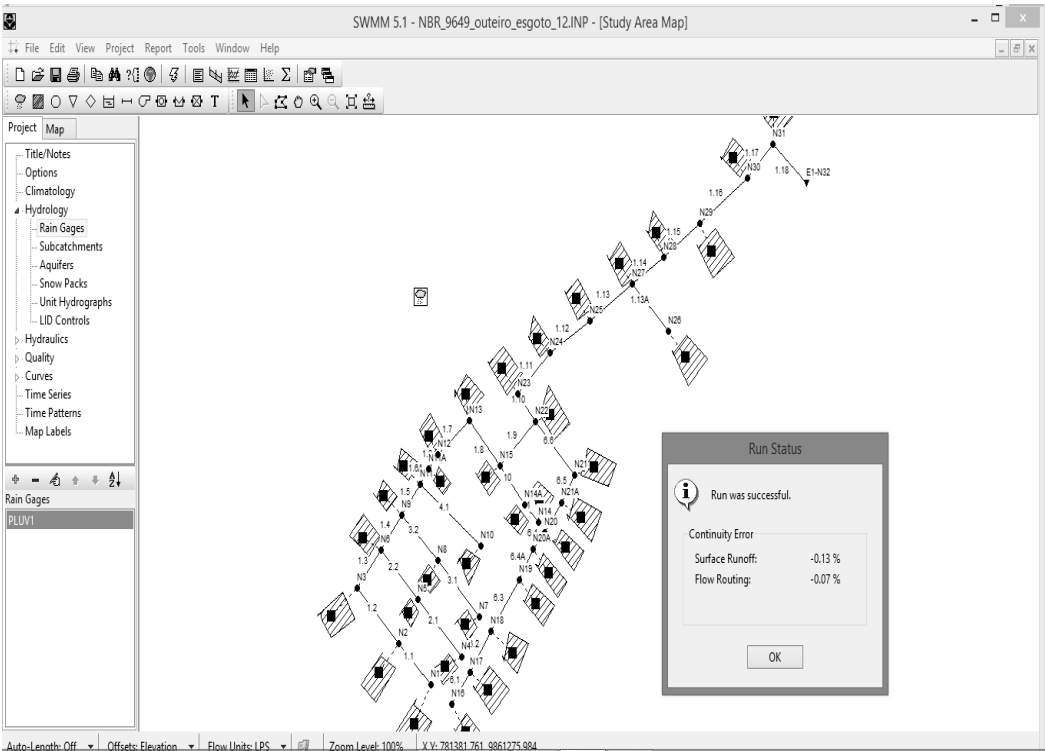
ST 1 (mm/h)	ST 2 (mm/h)
0.0946	0.2506
0.0946	0.2506
0.0946	0.2506
0.1261	0.3341
0.1261	0.3341
0.1261	0.3341
0.3782	1.0022
0.3782	1.0022
0.3782	1.0022
0.4728	1.2528
0.4728	1.2528
0.4728	1.2528
0.4728	1.2528
0.4728	1.2528
0.4728	1.2528
0.4098	1.0858
0.4098	1.0858
0.4098	1.0858
0.3467	0.9187
0.3467	0.9187
0.3467	0.9187
0.2206	0.5846
0.2206	0.5846
0.2206	0.5846

Fonte: Autores (2018).

3. Resultados e discussão

A simulação da rede de esgoto no bairro São João do Outeiro utilizando o *SWMM* aprimorado resultou bem sucedida, como mostra a Figura 9, concluindo-se que este *software* agora aprimorado fornece os dados necessários para uma avaliação específica da rede coletora de esgotos baseada nos parâmetros da NBR 9.649:1986, fornecendo em seus resultados informações sobre lâmina, tensão trativa e velocidade crítica, assim possibilitando seu uso para estudo de sistemas de esgotamento sanitário, e desta forma disponibilizando ao usuário as informações necessárias para a análise da rede de esgotamento sanitário à luz da NBR 9649: 1986, Norma Brasileira para Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário.

Figura 9: Simulação bem sucedida do bairro São João do Outeiro.



Fonte: Autores (2018).

Destarte, o código computacional aprimorado SWMM, mostrou-se capaz de desenvolver funções que visem direcionar tomadas de decisão, representando e interpretando a realidade de forma simplificada.

Segundo a orientação da NBR 9649:1986, há dois cenários a serem verificados: população de início de projeto e de final de projeto.

Os resultados da tensão trativa, foram obtidos para os 35 trechos simulados para o cenário de início de projeto no horário de maior pico, as 12h. A tabela 4 apresenta os dados relevantes para esta análise deste cenário como o diâmetro nominal, a declividade mínima, a declividade do terreno, a vazão inicial e a tensão trativa.

Tabela 4: Resultados de início de projeto.

Trecho	DN mm	I_{min} m/m	I_o m/m	Q_i L/s	σ_t Pa
1.1	0,15	0,0045	0,0004	0,18	0,06
1.2	0,15	0,0045	0,0005	0,38	0,09
1.3	0,15	0,0045	0,0013	0,55	0,27
1.4	0,15	0,0045	0,0019	1,10	0,44
1.5	0,15	0,0043	0,0042	1,65	1,18
1.6	0,15	0,0038	0,0015	2,21	0,56
1.6A	0,15	0,0039	0,0015	2,02	0,52
1.7	0,15	0,0036	0,0015	2,39	0,53
1.8	0,15	0,0035	0,0033	2,57	1,97
1.9	0,15	0,0032	0,0002	3,12	0,13
1.10	0,15	0,0026	0,0020	4,76	0,16
1.11	0,20	0,0026	0,0020	4,95	0,16
1.12	0,20	0,0025	0,0020	5,13	0,16
1.13	0,20	0,0025	0,0003	5,31	0,25
1.13A	0,10	0,0045	0,0004	0,18	0,23
1.14	0,25	0,0024	-0,0001	5,67	0,04
1.15	0,25	0,0024	0,0002	5,85	0,18
1.16	0,25	0,0024	0,0002	6,03	0,15
1.17	0,25	0,0023	0,0002	6,21	0,15
1.18	0,25	0,0023	0,0003	6,39	0,15
10	0,15	0,0045	0,0020	0,36	0,17
11	0,15	0,0045	0,0020	0,18	1,30
2.1	0,15	0,0045	0,0005	0,18	0,08
2.2	0,15	0,0045	0,0006	0,37	0,11
3.1	0,15	0,0045	0,0004	0,18	0,06
3.2	0,15	0,0045	0,0006	0,38	0,12
4.1	0,15	0,0045	0,0015	0,18	0,33
6.1	0,15	0,0045	0,0010	0,18	0,13
6.2	0,15	0,0045	0,0018	0,38	0,28
6.3	0,15	0,0045	0,0018	0,55	0,30
6.4	0,15	0,0045	0,0053	0,92	0,97
6.4A	0,15	0,0045	0,0046	0,73	0,73
6.5	0,15	0,0045	0,0012	1,28	0,82
6.5A	0,15	0,0045	0,0034	1,10	1,31
6.6	0,15	0,0045	0,0020	1,46	0,16

Fonte: Autores (2018).

Na tabela 4 se observa que na rede analisada para o critério de tensão trativa exigido na NBR 9649, em que a tensão trativa deve ser superior a 1,00 Pa pelo menos uma vez ao dia, sendo analisado para população de início de projeto no horário de maior pico, não foi atendido na maioria das tubulações, somente nos trechos 1.5, 1.8, 11 e 6.5^a. Nos demais trechos a autolimpeza será insuficiente, podendo gerar possíveis deposições de sedimentos ao longo da tubulação.

Os resultados da velocidade crítica e o percentual da lâmina d'água também foram obtidos para os 35 trechos simulados para o cenário de fim de projeto no horário de maior pico, as 12h. A Tabela 5 apresenta os dados relevantes para esta análise de cenário como o diâmetro nominal, a vazão final, a tensão trativa, a lâmina d'água, a velocidade crítica e a velocidade máxima.

Tabela 5: Resultados de final de projeto.

Trecho	DN mm	Q_f L/s	σ_t Pa	Y/D	V_c m/s	$V_{m\acute{a}x}$ m/s
1.1	0,15	0,47	0,11	0,09	3,23	0,10
1.2	0,15	0,84	0,23	0,15	3,99	0,10
1.3	0,15	1,17	0,94	0,25	5,01	0,08
1.4	0,15	2,31	1,60	0,30	5,49	0,13
1.5	0,15	3,75	3,54	0,30	5,49	0,21
1.6	0,15	5,21	1,30	0,30	5,49	0,29
1.6A	0,15	4,72	1,30	0,30	5,49	0,27
1.7	0,15	5,70	1,30	0,30	5,49	0,32
1.8	0,15	6,18	2,81	0,30	5,49	0,35
1.9	0,15	7,65	0,14	0,30	5,49	0,43
1.10	0,15	11,98	0,17	0,30	5,49	0,68
1.11	0,20	12,47	0,23	0,30	6,33	0,40
1.12	0,20	12,95	0,23	0,30	6,33	0,41
1.13	0,20	13,44	0,36	0,30	5,49	0,43
1.13A	0,10	0,49	0,23	0,30	4,48	0,06
1.14	0,25	14,41	0,07	0,28	6,80	0,31
1.15	0,25	14,88	0,29	0,26	6,66	0,33
1.16	0,25	15,36	0,24	0,25	6,50	0,36
1.17	0,25	15,84	0,23	0,23	6,25	0,40
1.18	0,25	16,32	0,22	0,17	5,50	0,58
10	0,15	0,97	0,17	0,30	5,49	0,05
11	0,15	0,49	1,72	0,30	5,49	0,03
2.1	0,15	0,38	0,26	0,18	4,37	0,03
2.2	0,15	0,68	0,41	0,26	5,17	0,04
3.1	0,15	0,46	0,34	0,30	5,49	0,03
3.2	0,15	0,95	0,50	0,30	5,49	0,05
4.1	0,15	0,49	1,29	0,30	5,49	0,03
6.1	0,15	0,49	0,21	0,06	2,68	0,18
6.2	0,15	0,97	0,44	0,08	2,95	0,27
6.3	0,15	1,46	0,59	0,11	3,43	0,26
6.4	0,15	2,39	4,48	0,30	5,49	0,14
6.4A	0,15	1,90	2,90	0,22	4,74	0,14
6.5	0,15	3,36	1,05	0,30	5,49	0,19
6.5A	0,15	2,87	2,92	0,30	5,49	0,16
6.6	0,15	3,95	0,17	0,30	5,49	0,22

Fonte: Autores (2018).



Na tabela 5 se observa que para o critério da lâmina Y/D onde não se pode ultrapassar 75%, e em casos específicos a 50%, analisado para população de final de projeto, todas as tubulações atenderam à Norma Brasileira, considerando que em nenhuma tubulação a velocidade máxima foi superior a velocidade crítica.

As vazões de esgoto denominadas de precipitações médias equivalentes para início e fim de projeto, calculadas pelas equações 8 e 9, respectivamente, foram calculadas e introduzidas no Software aprimorado com sucesso. Porém, estes dois

Os valores da precipitação média equivalente inicial e da precipitação média equivalente final, ainda foram calculados a parte do SWMM aprimorado, com o auxílio da ferramenta computacional Excel.

4. Conclusão

Este estudo apresenta o aprimoramento do SWMM para simular o comportamento hidráulico de redes coletoras de esgotamento sanitário. Ressaltando que o SWMM, já utilizado em outros trabalhos para simulação de redes de esgoto, possui uma limitação em seus resultados, pois os parâmetros exigidos pela NBR 9649, tensão trativa, lâmina Y/D e velocidade crítica, não são gerados pelo Software, assim, necessitando serem calculados a parte do programa, como foram realizados nos estudos de Silva (2007) e Nascimento; Carvalho (2016). Portanto, esta aplicação é valiosa, pois permite o uso do SWMM para a análise, simulação e projeto de redes de esgoto sanitário.

A rede de esgoto foi simulada e pôde ser analisada, devido ao programa SWMM aprimorado para a NBR 9649:1986 agora informar lâmina Y/D, velocidade máxima, velocidade crítica e tensão trativa, parâmetros preconizados por essa Norma Brasileira.

Portanto, esse código computacional, após o aprimoramento, mostrou-se capaz de desenvolver funções que visem direcionar tomadas de decisão, representando e interpretando a realidade de forma simplificada, porém adequada à necessidade do analista de projetos.

Visto que o programa SWMM aprimorado agora possui os parâmetros de norma necessários para análise, é sugerido para trabalhos futuros a implementação de rotinas que simplifiquem ou automatizem a inserção da vazão de esgoto para as populações inicial e final nesse programa, denominadas no estudo de precipitações médias equivalentes, inicial e final.

Agradecimentos

Os autores agradecem o patrocínio do CNPq pela bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq/UNAMA cedida à graduanda, e ao apoio do Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano da Universidade da Amazônia do grupo Ser Educacional.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Agência Nacional de Águas e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9649:** *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro, 1986.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de jan. de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*.

GUERRA, A. E. Qualidade e Eficiência dos serviços de saneamento. Atlas de Saneamento – IBGE, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico. 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Manual do Saneamento Básico*. 2012. Disponível em: <www.tratabrasil.org.br>. Acesso em: 23 de janeiro de 2018.

MELLER, A. *Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistemas de Drenagem em Santa Maria -RS*. 2004. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2004.

NASCIMENTO, A.J.C. & CARVALHO, A.O. (2016). ***Uso do código computacional livre Giswater para elaboração de projetos de água e esgoto: estudo de caso de rede de água no bairro Condor e rede de esgoto no bairro São João do Outeiro em Belém-PA***. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade da Amazônia, Belém-PA.

SEGEPI. Anuário Estatístico de Belém 2011. Disponível em:<http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/ANUARIO%202011%20COMPLETO.pdf>. Acesso em 18 de janeiro 2018.

SILVA, M. *Análise da operação de Redes Coletoras de esgoto através da simulação computacional*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Novembro, 2007.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. *Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário*. 2. ed, São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999, 548p.