

**IX-061 - APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA JUNTO A
FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA ELABORAÇÃO DE
PLANO DE DRENAGEM URBANA – ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE SÃO
CAETANO DO SUL – SP**

Adriana Yukie Tomita Nakagama⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário SENAC (2013). Mestranda em Recursos Minerais e Hidrogeologia no IGc/USP. Colaboradora na COBRAPE - Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Maria de Lourdes da Silva

Engenheira Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes (1984). Engenheira do Departamento de Água e Esgoto de São Caetano do Sul – DAE-SCS.

Jane Cristina Caparica Ferreira Domingues

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2002). Mestranda em Saneamento e Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Colaboradora na COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Mitsuyoshi Takiishi

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Mauá (1979). Especialista em drenagem urbana, hidrologia e recursos hídricos na COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Haroldo de Oliveira

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Lins, SP (1981). Especialista em saneamento ambiental, habitação e infraestrutura urbana. Diretor técnico na COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Endereço⁽¹⁾: Rua Persépolis, 30 Cidade Dutra - São Paulo - SP – CEP: 04805-200 - Brasil - Tel: (11) 98925-7759 - e-mail: adriananakagama@usp.br

RESUMO

A ferramenta de modelagem matemática tem sido cada vez mais aplicada para estudos de planejamento e gestão na área de saneamento, a exemplo, o município de São Caetano do Sul através do Departamento de Água e Esgoto – DAE-SCS, adotou o uso do modelo hidrológico- hidráulico EPA SWWM para elaboração do Plano Municipal de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas auxiliando a tomada de decisão da autarquia nas ocorrências rotineiras e planejamento das atividades de maneira preventiva.

A modelagem matemática, apesar de ter vantagens na obtenção de resultados para inúmeros cenários de simulação, traz como ponto de fragilidade a dificuldade na interpretação dos dados, se o modelo não dispor de uma interface amigável. Neste sentido, ferramentas de geoprocessamento podem ser utilizadas para elaboração de mapas temáticos que possibilitam filtrar determinados dados para uma análise visual-espacial, a transcrição destes dados geralmente costuma ocorrer manualmente, o que acaba por engessar e aumentar as chances de erro no decorrer do processo. O programa GisWater foi utilizado no presente estudo para automatizar a transição dos cálculos e resultados advindo da modelagem matemática para um banco de dados georreferenciado, permitindo assim a interpretação dos resultados e análises por meio de mapas temáticos. Esta metodologia facilitou a interpretação dos dados da equipe técnica e operacional da autarquia.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Modelagem hidrológica-hidráulica, EPA-SWMM, Geoprocessamento.

INTRODUÇÃO

O município de São Caetano do Sul, integrante da Região Metropolitana de São Paulo, abrange uma área territorial total de 15,36 km² e abriga uma população de 149.263 habitantes (IBGE, 2010). A cidade encontra-se no distrito de drenagem Billings-Tamanduateí (BTT) (Figura 1), na confluência do Ribeirão dos Meninos com o Rio Tamanduateí. Devido a influência do sistema de macrodrenagem exercida no município por sua condição de jusante de toda a região do ABC Paulista e seu alto grau de urbanização trazendo por

consequência impermeabilização do solo, o município rotineiramente registra eventos críticos de chuvas ocorridos na região (DAEE, 2012).

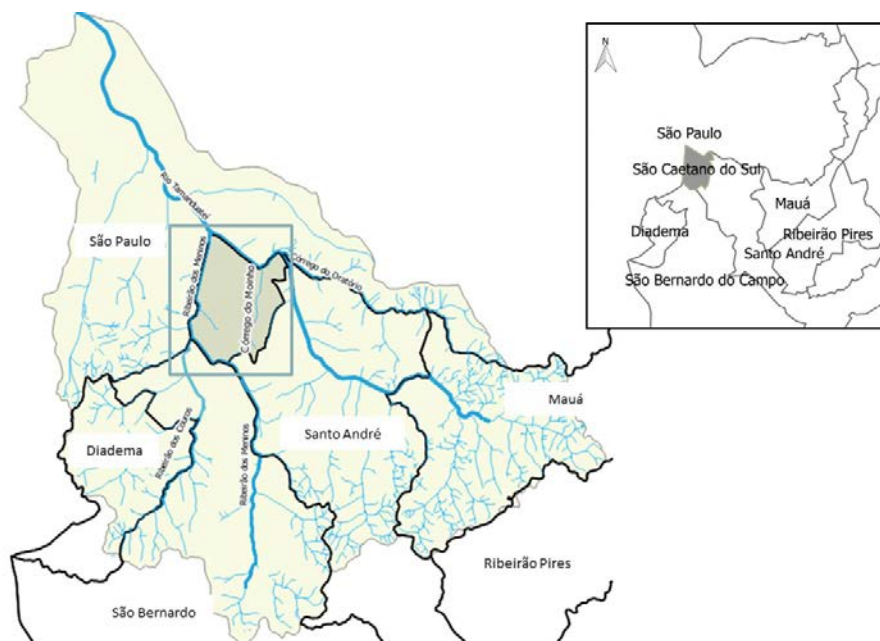


Figura 1: Município de São Caetano no contexto do sistema de macrodrenagem (Adaptado, DAEE, 2012)

O Plano de Drenagem Urbana é uma ferramenta de planejamento e gestão dos serviços municipais, além disso objetiva o detalhamento do eixo drenagem urbana para sua posterior incorporação ao Plano de Saneamento Básico, exigido através da Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. O Plano de Drenagem elaborado para o município de São Caetano do Sul contemplou as etapas (1) levantamento e caracterização do sistema existente, verificação e complementação de cadastro; (2) diagnóstico e prognóstico do sistema de drenagem através estudos hidrológicos e hidráulico das bacias de drenagem; (3) estudo de concepção e elaboração de propostas contemplando estimativa de custos para o sistema de drenagem; (4) Consolidação das propostas de medidas estruturais, não-estruturais, estruturais não convencionais de controle, desenvolvimento de anteprojetos e análise benefício – custo.

A modelagem matemática junto a ferramentas de geoprocessamento foi utilizada na fase da análise diagnóstica, prognóstica, estudo de concepção e consolidação das propostas para o sistema de microdrenagem. Simulou-se o sistema no modelo matemático EPA-SWMM (Storm Management Model) desenvolvido pela Environment Protection Agency – EPA, trata-se de um modelo dinâmico chuva-vazão, o qual avalia os parâmetros hidrológicos e hidráulicos de forma conjunta. O modelo simula o percurso das águas pluviais através de um sistema composto por tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e demais estruturas. Com base nestas informações é possível identificar os pontos de insuficiência e que necessitam de medidas para seu bom funcionamento. O modelo EPA-SWMM é amplamente utilizado internacionalmente nas avaliações de sistemas de drenagem, sobretudo quando utilizadas bases georeferenciadas. O programa GisWater realiza a conversão das informações alimentadas no modelo matemático para o programa de geoprocessamento Quantum Gis, as informações podem ser alimentadas por ambas ferramentas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação do sistema de drenagem do município de São Caetano do Sul contemplou toda área do município, são 6 bacias de drenagens denominadas de A, B, C, D, E F, com um total de 19 sub-bacias. A modelagem através do EPA-SWMM adotou o método onda dinâmica, o qual simula inclusive situações de remanso, entrada em carga, fluxo reverso e alagamentos. Tal método utiliza a equação de Manning para relacionar vazão à profundidade do escoamento, à inclinação do conduto ou à linha de água, uma exceção são os casos dos escoamentos pressurizados em condutos circulares, onde foram utilizadas as equações de Hazen-Williams. Os

parâmetros hidrológicos adotaram a método de Soil Conservation Service (SCS) para o cálculo da chuva excedente, ou seja, daquela que efetivamente contribui para o escoamento superficial, visando alinhamento aos estudos existentes realizados no Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê - PDMAT 3 (DAEE, 2012).

Dados de Entrada

Os dados de entrada do modelo correspondem ao sistema de drenagem composto pelo escoamento superficial (vias, sarjetas, sarjetões e escadas hidráulicas), escoamento subterrâneo (bocas de lobo e leão, galerias de águas pluviais (GAP) e poços de visita (PV)), as 4 Estações Elevatórias de Águas Pluviais (EEAP) existentes no município, inclusive instrumentos especiais de drenagem, tais informações foram subtraídas base cadastral existente do município e de verificações de campo. As estruturas hidráulicas são representadas no modelo por objetos físicos, dividindo-se em tipos de nós ou arcos, de forma a possuir características que possibilitem sua representação numérica, as vias foram representadas por arcos e nós, os PVs como nós, as GAPs como arcos e as captações com arcos, que direcionam a vazão escoada na via para dentro das GAP, a vazão de captação foi variável, de acordo com o tipo de boca de lobo ou leão. Com relação a influência do sistema de macrodrenagem (Ribeirão dos Meninos e Rio Tamanduateí) foi considerado nível máximo de segurança da calha como limite de simulação.

Para os dados hidrológicos foram utilizadas a equação da chuva IAG-USP (JUNIOR & MAGNI, 1999) e área de impermeabilização obtida pela metodologia de amostragem de polígonos conforme PDMAT-3 (DAEE, 2012). Todas as informações foram compatibilizadas para conversão em formato shapefile para entrada de dados no GisWater, que por sua vez converte os dados para o EPA-SWMM.

Calibração e Validação do Modelo Matemático

A calibração e validação do modelo foi realizada através de verificações por amostragem do sistema com o Método Racional e planilhas em excel. Além disso os resultados foram levados para discussão com a autarquia, de forma a validar os pontos críticos identificados na modelagem.

Simulações e Cenários avaliados

Os cenários simulados contemplaram a análise diagnóstica e prognóstica do sistema existente, foram simulados os Tempos de Retorno (TR) de 2, 5 e 10 anos, e para cada TR foi simulada as durações da chuva a cada 10 minutos durante 2 horas totalizando 10 simulações por TR, desta forma foi identificado a duração crítica para cada sub-bacia.

O cenário diagnóstico considerou o sistema de drenagem existente e a impermeabilização para o ano de 2015, enquanto o cenário prognóstico considerou o mesmo sistema existente com impermeabilização futura para o ano de 2035.

Após a análise diagnóstica e prognóstica, foi simulado o estudo de concepção através de cenários contemplando intervenções no sistema de drenagem, as propostas foram embasadas no cenário mais crítico prospectado (impermeabilização ano 2035 para TR-10 anos), as alternativas estudadas ainda foram verificadas para um TR-25 anos, de forma a avaliar a segurança sistema proposto. A primeira fase simulou um cenário somente com o aumento das captações até a capacidade máxima de escoamento das GAPs existentes, após esta fase foram simulados cenários propondo intervenções como ampliação ou substituição das GAPs existentes. Houveram casos em que foram propostas diferentes alternativas de intervenção, sendo acordados junto à autarquia a melhor alternativa para detalhamento de anteprojetos e estimativas de custos.

Durante as etapas de simulações foi integrado o uso do EPA-SWMM com o QuantumGis, através do programa GisWater. Esta interação permite armazenamento das informações do sistema existente em banco de dados, alterações rápidas nos dados de entradas como mudança de diâmetros das tubulações, curva de captação nas bocas de lobo, quantificações de extensões de rede, áreas de contribuição, entre outros.

Os resultados da modelagem matemática através do EPA-SWMM trazem dados tecnicamente consolidados, foram importadas tabelas com dados de vazão, altura das lâminas d'água, capacidade de escoamento nas GAPs, trechos de sobrecarga, vazões negativas indicando remanso no sistema. Tais informações foram processadas no QuantumGis para obtenção dos mapas temáticos.

RESULTADOS

Foram avaliados aproximadamente 270 km de vias categorizados por altura da lâmina d'água na sarjeta (10, 15, 20 e acima de 20 cm) e 100 km de GAPs avaliando a capacidade (%) de escoamento das galerias. Para TR-10 anos num cenário atual, 31% (83,7 km) das vias apresentaram insuficiência, ou seja, lâminas d'água maiores que 15 cm, considerando como referência a altura média das guias nas sarjetas. Para TR-10 anos num cenário futuro este número passa para 32,3% (87,2 km). Esta diferença não apresenta grande variação devido ao município já apresentar um adensamento urbano e áreas impermeáveis a níveis acentuados.

Os resultados obtidos foram apresentados em mapas temáticos para cada sub-bacia de drenagem, e para cada cenário simulado nos diferentes TRs, a Figura 2 exemplifica a apresentação do diagnóstico e prognóstico das vias para a Bacia de drenagem A para um TR-10 anos.

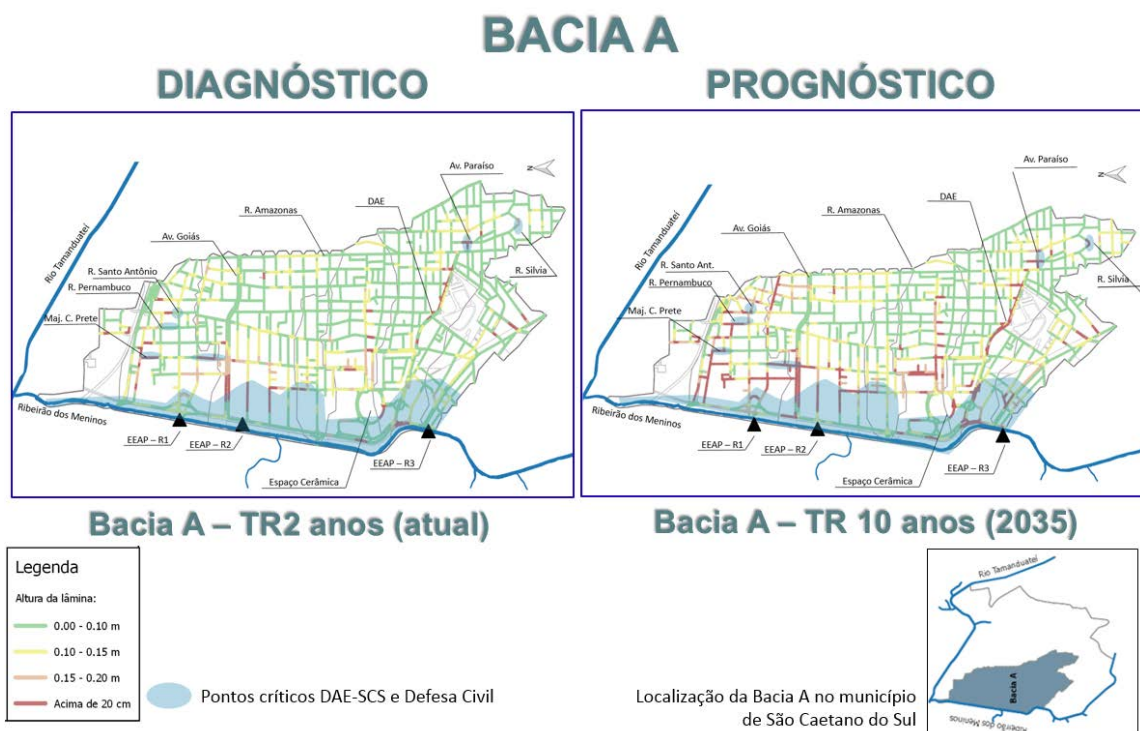


Figura 2: Diagnóstico e Prognóstico das vias na Bacia A - Mapas temáticos

Na fase de estudo concepção também foram gerados mapas temáticos de forma a ilustrar as intervenções propostas, a Figura 3 apresenta as propostas de intervenção para a Bacia A.

PROPOSTA DE INTERVENÇÃO BACIA A

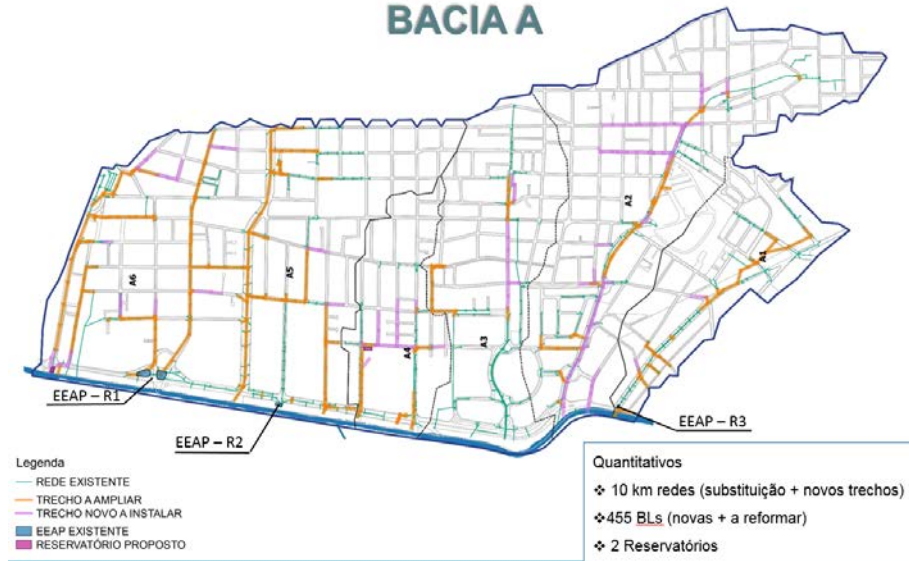


Figura 3: Proposta de Intervenção da Bacia A - Mapas temáticos

As propostas estruturais para o município de São Caetano do Sul compreenderam as obras de: (i) ampliação de 1.575 captações simples (bocas de lobo e bocas de leão) e 2 captações especiais (grelhas especiais); (ii) implantação de 22.242m de novas GAPs e substituição de 29.228m GAPs existentes; (iii) implantação de 4 Estações Elevatórias de Águas Pluviais (EEAPs) e (iv) implantação de 3 reservatórios de detenção. As ações estruturais propostas foram desenvolvidas ao nível de anteprojeto contemplando o memorial técnico hidrológico, hidráulico e orçamentos.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A cobertura do sistema de drenagem superficial, composto por guias, sajetas e sarjetões abrange 100% das vias do município e a cobertura do sistema de drenagem subterrânea, composto pelas GAPs, PVs, bocas de lobo, bocas de leão e grelhas especiais abrangem 32% dessas vias. É importante salientar que a cobertura da drenagem subterrânea não necessita chegar a 100% de abrangência, visto que parte do sistema de drenagem pode ser perfeitamente atendido pela drenagem superficial. No entanto, através das análises realizadas o município de São Caetano do Sul ainda carece de maior infraestrutura no setor de drenagem urbana.

Alguns dos fatores que podem ser citados como agravantes seria sua posição geográfica, a qual sofre influências de toda a região do ABC Paulista integrante de seu distrito de drenagem. Ao considerar a influência do Ribeirão do Meninos e Rio Tamanduateí ao nível máximo de sua calha, as GAPs não têm capacidade de drenar suas águas por gravidade, desta forma, o município possui EEAPs operantes e são propostas como alternativa de intervenção, os reservatórios por gravidades também entram neste contexto, objetivando amortecer a vazão de pico.

Para aplicação da modelagem utilizada, foi necessário levantamento de dados de entrada detalhados, como informações do sistema de microdrenagem (diâmetro, extensões, declividade, cotas de entrada e saída, tipologia das captações de águas pluviais, localização dos sarjetões), a dificuldade na obtenção de tais dados é considerada um ponto de fragilidade na aplicação desta metodologia em outras localidades.

CONCLUSÕES

O uso de modelagem matemática junto a ferramentas de geoprocessamento se mostrou vantajosa visto a facilidade na visualização e interpretação dos resultados obtidos. As alterações no sistema também podem ser realizadas de maneira mais rápida e eficiente devido a possibilidade do uso das ferramentas de geoprocessamento e armazenamento dos dados de entrada em um banco de dados integrado tanto ao modelo hidráulico hidrológico EPA-SWMM quanto ao programa de geoprocessamento Quantum-Gis. A facilidade na interpretação dos dados contribui para minimização de erros, visto que o modelo matemático é uma ferramenta empírica a qual auxilia na aproximação da realidade.

Os mapas temáticos apresentam os dados de forma clara facilitando na adoção desta ferramenta de estudo no auxílio a gestão e tomada de decisão no sistema de drenagem urbana por parte da autarquia

Recomenda-se a atualização do banco de dados sempre que haja alterações no sistema, e o refinamento dos dados de entrada também podem ser aprimorados de forma a calibrar melhor a modelagem matemática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Casa Civil, 2013.
2. DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Terceiro Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê – PDMAT-3, 2012.
3. IBGE, Censo Demográfico. Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2010.
4. JÚNIOR, Francisco Martinez; MAGNI, Nelson Luiz Goi. Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo. Governo Do Estado De São Paulo-Secretaria De Recursos Hídricos, Saneamento E Obras-Departamento De Águas E Energia Elétrica-Centro Tecnológico De Hidráulica E Recursos Hídricos, 1999.
5. ROSSMAN, Lewis A.. STORM WATER MANAGEMENT MODEL - USER'S MANUAL. Version 5.0. UNITED STATES - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH 45268, 2010.