

ESTUDO DE CONDIÇÕES DE INFLUXO E INFILTRAÇÃO NO SISTEMA DE ESGOTOS SANITÁRIOS BARUERI

Rosemara Augusto Pereira⁽¹⁾

Especialista em Geoprocessamento pela UNICAMP, Especialista em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública da USP, Engenheira Civil formada pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, é responsável pela Coordenação dos Projetos da empresa VStech.

Adriana Oliveira Manicardi⁽²⁾

Especialista em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública da USP, Engenheira Química formada pela Universidade de Mogi das Cruzes, é gerente da Divisão de Interceptação e Manutenção Oeste da SABESP.

Álvaro José de Souza Carneiro⁽³⁾

Especialista em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública da USP, Engenheiro Civil formado na Faculdade de Engenharia da Universidade Mackenzie, encarregado do Pólo de Interceptação Oeste da SABESP.

Paulo Henrique Matheus Macedo⁽⁴⁾

Especialista em Sistemas Integrados pela Fundação Getúlio Vargas, Engenheiro Mecânico formado pela Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie, tem sua carreira fundamentada no saneamento básico. Diretor da empresa VStech.

Werner Siegfried Hanisch⁽⁵⁾

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Engenheiro Químico formado pela Universidade Federal de São Carlos, é professor universitário em cursos de graduação de Engenharia e atua na equipe técnica da empresa VStech.

Endereço⁽¹⁾ Rua Matheus Nogueira, 199 – Vila Cruzeiro – São Paulo – SP – CEP 04.727-170 - Brasil -
Tel: (11) 5641.8337 - e-mail: rosemara@vstech.com.br.

OBJETIVO

Este trabalho técnico objetiva apresentar as condições de influxo e infiltração em bacias de esgotamento sanitário do sistema de interceptação de esgoto

INTRODUÇÃO

As contribuições indevidas nas redes de esgoto podem ser originárias do subsolo – genericamente designadas como infiltrações – ou podem vir do encaminhamento acidental ou clandestino de águas pluviais, que refere-se ao influxo. O sistema de interceptação de esgotos de Barueri é composto por canalizações e órgãos acessórios destinados a transportar e encaminhar os esgotos sanitários à ETE Barueri e compreende a maior e mais complexa rede de coleta e transporte de esgotos da RMSP, estando toda ela sujeita aos processos de influxo e infiltração.

A ocorrência de infiltração e influxo nos sistemas de águas residuárias prejudica o seu desempenho não só por resultar em sobrecarga e extravasamento dos sistemas mas também por afetar as estações de tratamento de esgotos reduzindo a eficácia dos processos de tratamento.

O problema de infiltração/influxo tende a agravar-se com a idade dos sistemas, podendo tornar-se crítico a médio ou longo prazo, tendo importantes conseqüências no seu desempenho, tanto nos aspectos técnicos e ambientais quanto nos aspectos econômicos.

Os custos associados à infiltração e ao influxo são elevados e os riscos ambientais são muitos, o que torna necessário e justifica os investimentos na sua redução e a utilização de indicadores de eficiência do serviço de águas residuárias relativamente às ocorrências.

MÉTODOS

Trabalhos visando a determinação das taxas de influxo e infiltração nos sistemas coletores de esgotos ainda não são muito freqüentes no Brasil. O procedimento empregado nesse trabalho para determinação da taxa de infiltração foi extraído de Metcalf & Eddy (1991) e o método para a determinação da taxa de influxo também foi baseado em Metcalf & Eddy (1991), embora com algumas adaptações que se fizeram necessárias para uma melhor interpretação dos dados.

Dados utilizados

Os dados primários utilizados na determinação das quantidades de influxo e infiltração em bacias de esgotamento sanitário do sistema Barueri foram obtidos através de medições de vazão em interceptores e coletores tronco, além de medições de índices pluviométricos na área de influência do sistema, ambas discretizadas em intervalos de 10 minutos. Os índices pluviométricos foram fundamentais para determinação das curvas médias de vazão em tempo seco e para identificação dos eventos chuvosos, salienta-se porém, que os índices pluviométricos foram obtidos por meio de pluviômetros instalados simultaneamente aos medidores de vazão de forma a permitir a comparação da evolução das vazões no sistema de interceptores entre dias secos e chuvosos.

O mapa da figura 1, apresenta os pontos de monitoramento de vazão utilizados para obtenção das contribuições discretizadas por áreas de estudo. Estas áreas de estudo correspondem a uma bacia de esgotamento individual ou um conjunto de bacias.

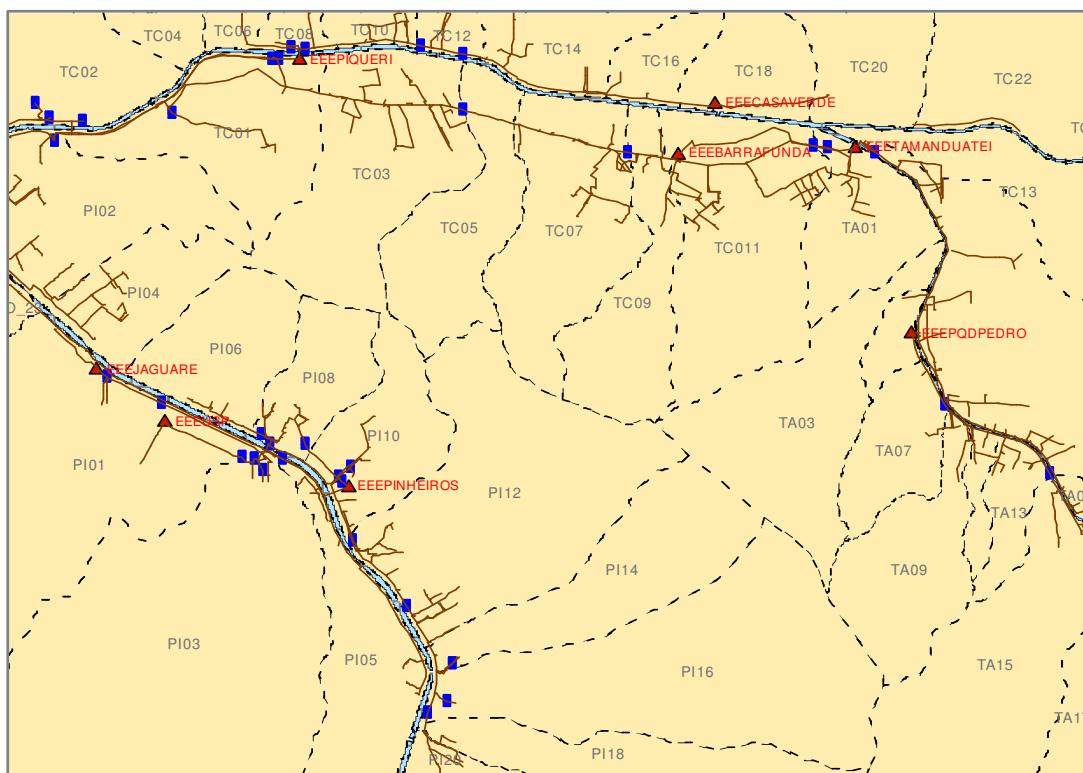


Figura 1 – Mapa de localização dos pontos de monitoramento

Quanto aos índices pluviométricos, utilizou-se o método de Thiessen, também conhecido como diagrama de Voronoi para definir as áreas de influência dos pluviômetros. Os polígonos de Thiessen constituem um método para interpolação de dados pontuais discretos, e que são utilizados com frequência em aplicações meteorológicas e hidrológicas.

A figura 2 apresenta os polígonos de Thiessen para o sistema Barueri e a figura 3 apresenta esses polígonos sobrepostos às bacias de esgotamento do sistema de esgotos Barueri.

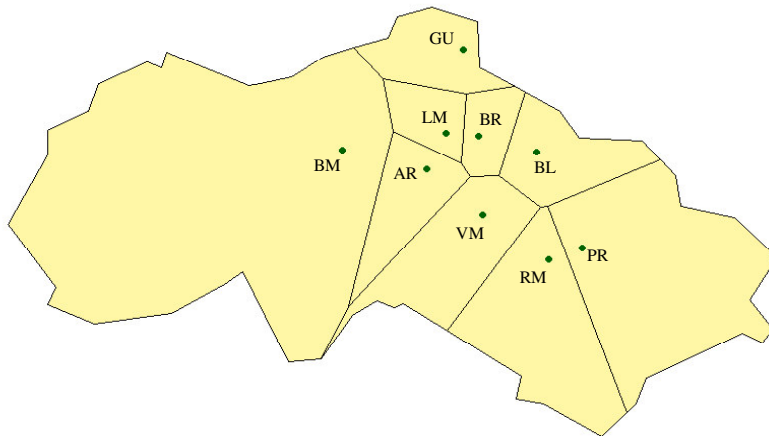


Figura 2 - Áreas de influência dos pluviômetros após a aplicação do método de Thiessen.

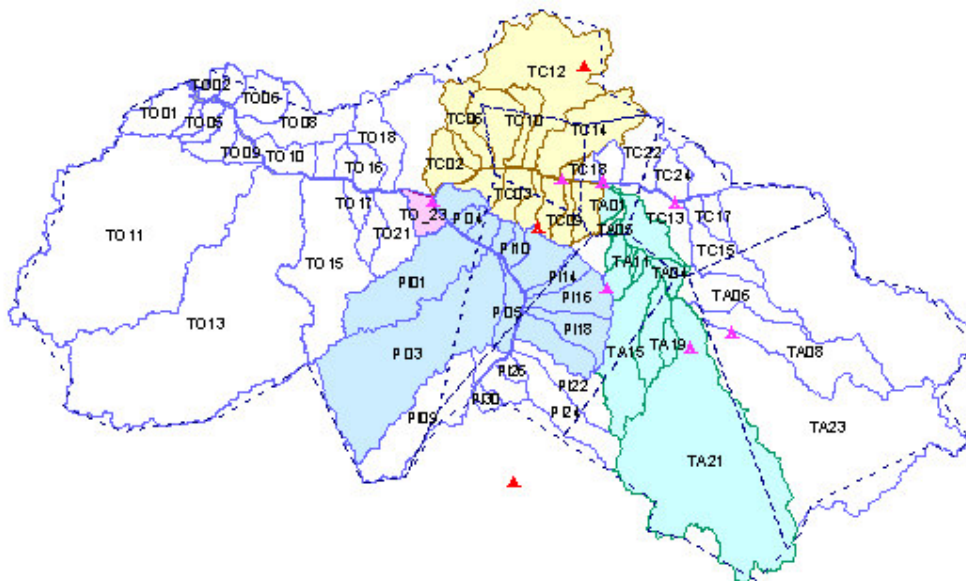


Figura 3 - Áreas de influência por bacia de esgotamento.

Com os polígonos de Thiessen foram determinados os pluviômetros de influência em cada uma das bacias de esgotamento, as quais compõem as áreas de estudo.

Para a determinação dos eventos utilizou-se os pluviógrafos distribuídos sobre as bacias do sistema de interceptação de Barueri, onde a partir dos dados observados foi possível efetuar uma classificação diária de acordo com o índice pluviométrico, como mostrado na tabela 2.

Foi estipulado como dias chuvosos aqueles em que a precipitação total diária era superior a 10 mm em dois ou mais pluviógrafos. Essa escolha foi baseada na análise dos dados, visto que o comportamento das curvas de vazão não mudavam muito em relação à curva seca para os eventos chuvosos de pequena intensidade. Além disso, essa classificação é importante para garantir a definição dos períodos úmidos subsequentes aos eventos chuvosos, pois esses períodos úmidos são fundamentais para a determinação da infiltração.

Tabela 1 - Classificação dos eventos.

Evento	Simbologia	Descrição
Chuvoso significativo	C	Ocorrência de precipitação total diária superior a 10 mm em dois ou mais postos pluviométricos.
Úmido	U	Dois dias subsequentes às datas de ocorrência de qualquer evento chuvoso significativo.
Chuvoso não-significativo	N	Ocorrência de precipitação total diária inferior a 10 mm em dois ou mais pluviógrafos
Seco	S	Todos os períodos que não se enquadram nos três casos anteriores e que apresentaram ocorrência de precipitação inferior a 4 em dois ou menos pluviógrafos.

Influo e infiltração

Metcalf & Eddy (1991) ilustram as contribuições “estranhas” aos coletores de esgoto como mostrado na figura 4 e as definem como infiltração e influo da seguinte forma:

Infiltração: água que entra em um coletor de esgotos, através das conexões, tubos defeituosos, juntas e poços de visitas com falhas estruturais.

Influo estacionário: Água descarregada de drenos de fundações, água de resfriamento, nascentes de rios ou áreas pantanosas. Esse influo é medido juntamente como a infiltração.

Influo direto: Contribuição de água por causa de ligações de coletores de águas pluviais à rede de esgoto que causa um quase imediato aumento na vazão de esgoto.

Influo total: Soma do influo direto em qualquer ponto do sistema mais a vazão descarregada à montante do sistema por meio de extravasamentos, by-passes de estações elevatórias, entre outros.

Influo com atraso de tempo: Água de chuva que demora alguns dias para atingir o sistema de coleta de esgotos.

A figura 4 ilustra por meio de um esquema gráfico, os histogramas onde se pode identificar as diversas formas de infiltração e influo.

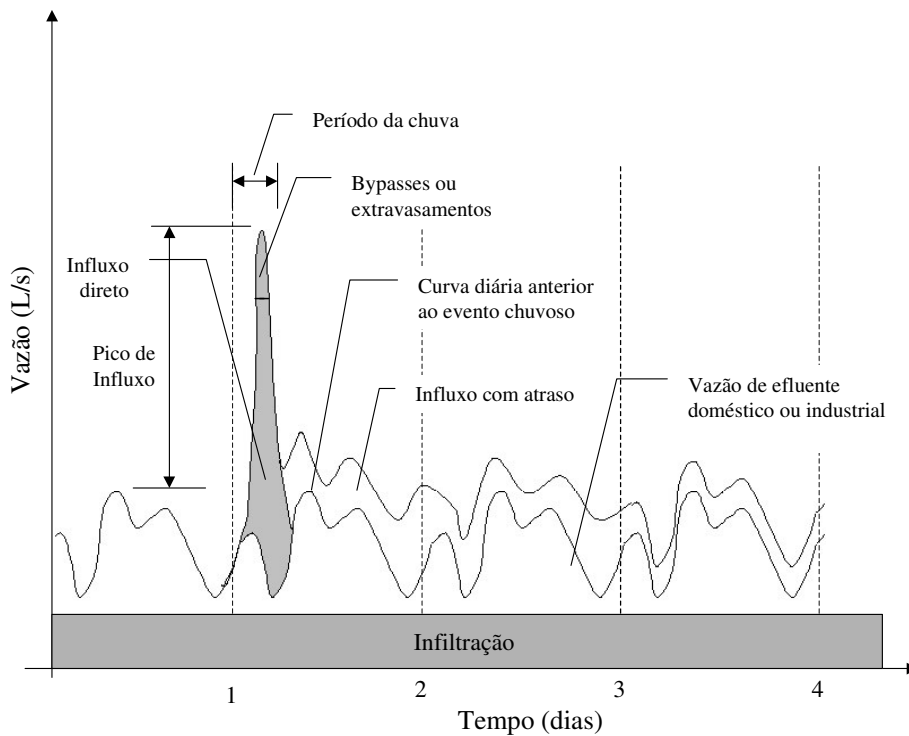


Figura 4 - Gráfico para identificação de infiltração e influxo.
Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (1991).

Nesse trabalho técnico será discutido apenas as formas de determinação da infiltração e do influxo direto, segundo definição de Metcalf & Eddy (1991), porém inicialmente é apresentado o método de determinação das curvas médias de vazão em período seco, pois são imprescindíveis para quantificação do influxo e da infiltração.

Determinação das curvas médias de vazão em período seco

Os pontos de monitoramento de vazão foram definidos de forma a caracterizar uma bacia individual ou um conjunto de bacias de esgotamento, que correspondem às áreas de estudo para as quais efetuou-se a quantificação do influxo e infiltração. Para isto fez-se necessária a obtenção das curvas médias de vazão em período seco para todos os pontos de monitoramento de vazão, que foram determinadas por meio dos dados de vazão observados em tempo seco, classificados como evento “S” (Tabela 1).

Para a determinação das curvas médias de vazão para cada um dos pontos de monitoramento, primeiramente calculou-se a média horária de todos os dados de medição de vazão coletados em intervalos de 10 minutos. A partir desta média horária, selecionou-se no banco de dados todas as segundas-feiras e calculou-se as vazões médias horárias para cada uma das horas do dia. Repetiu-se esse procedimento para todos os outros dias da semana.

Na maioria das curvas dos dias da semana foram observados comportamentos distintos durante a semana e no final de semana (sábado e domingo). Vista disso, decidiu-se obter duas curvas distintas, uma representativa do comportamento da semana (segunda a sexta-feira) e outra representativa do comportamento hidráulico do fim-de-semana (sábado e domingo). Essas curvas foram obtidas tomando-se a média da vazão nos mesmos horários, de segunda a sexta-feira e média da vazão nos mesmos horários de sábado a domingo.

A figura 5, apresenta um exemplo de curvas médias da semana e do fim de semana, geradas para o ponto denominado B1PM04, localizado no Interceptor Pinheiros 2, a jusante das bacias Pi2 e Pi4.

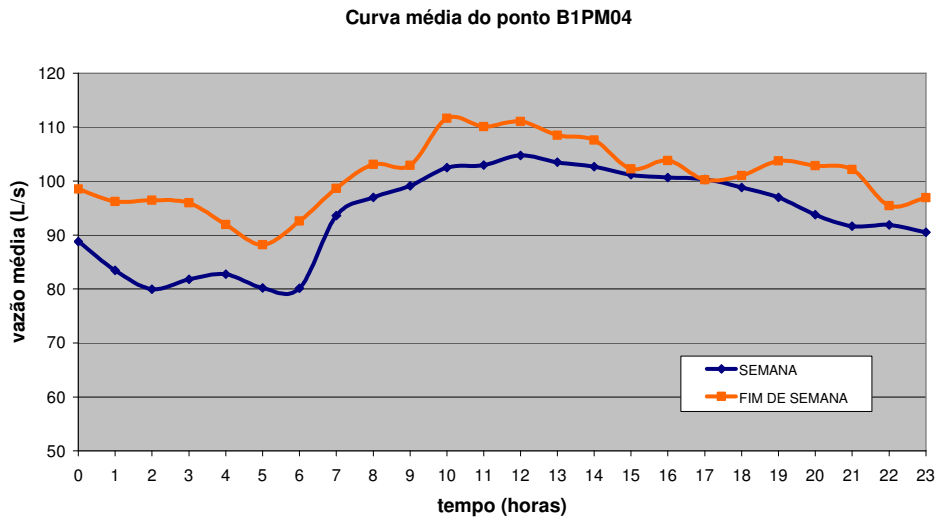


Figura 5 - Exemplo de curva média de vazão em tempo seco para a semana e fim de semana.

Determinação da quantidade de influxo.

De acordo com Nuvolari (2003), a avaliação das vazões devidas à intromissão de águas pluviais (influxo) no sistema pode ser feita comparando-se hidrogramas obtidos em dias próximos, um em tempo seco e outro em tempo chuvoso.

Metcalf & Eddy sugerem a determinação de um influxo máximo horário por meio da observação no histograma da maior vazão ocorrida por consequência de um evento chuvoso subtraída da vazão da mesma hora do dia anterior à chuva. A figura 5 ilustra esse método e a equação 1 quantifica-o.

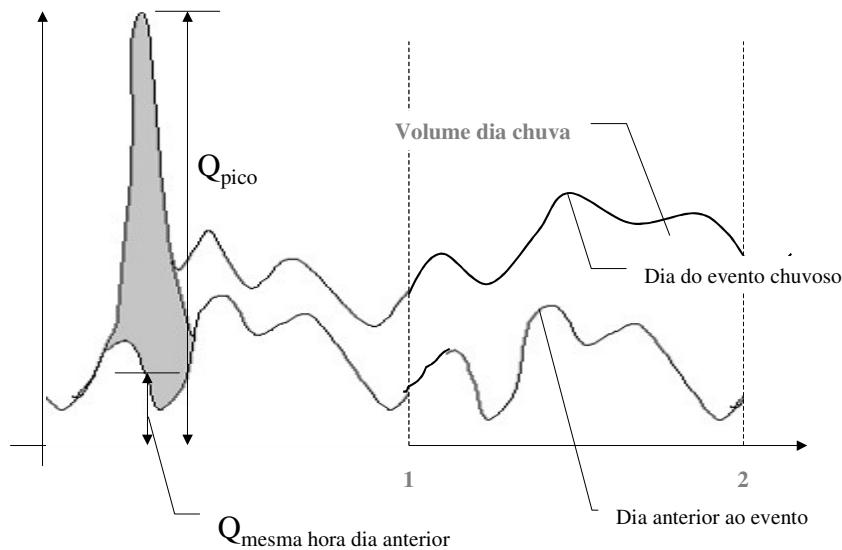


Figura 6 - Ilustração da curva média com evento chuvoso e evento seco.

$$Influxo_{max} = Q_{pico} - Q_{mesma\ hora\ dia\ anterior} \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

$Influxo_{max}$ = influxo máximo horário (m^3/dia);

Q_{pico} = vazão máxima conseqüente de um evento chuvoso (m^3/dia);

$Q_{mesma\ hora\ dia\ anterior}$ = vazão na mesma hora do pico máximo em um dia subseqüente à chuva (m^3/dia).

A análise da figura 6 do método de Metcalf & Eddy (1991) mostra que a determinação do influxo máximo horário não satisfaz plenamente o objetivo do presente trabalho técnico, que é a quantificação das águas pluviais que são lançadas nos interceptores de esgotos devido a um evento chuvoso e que efetivamente chegam à Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri. O método apresentado por Metcalf & Eddy (1991) quantifica apenas a vazão máxima de influxo em uma determinada hora do dia. Devido à quantidade significativa de dados de vazão e pluviometria levantados foi possível estabelecer um método adaptado desses autores para a determinação do volume do influxo máximo para cada área de estudo. A equação 2 mostra o método utilizado para a determinação do volume diário de influxo para um determinado evento chuvoso. Esse influxo é a diferença entre o volume acumulado em um dia em que houve eventos chuvosos significativos e o volume acumulado diário médio em tempo seco. O influxo máximo é o maior influxo determinado para um determinado ponto de medição entre todos os eventos chuvosos estabelecidos.

$$Influxo = V_{dia\ chuva} - V_{médio\ tempo\ seco} \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

$Influxo$ = influxo observado entre todos os eventos chuvosos (m^3/dia);

$V_{dia\ de\ chuva}$ = volume acumulado no dia do evento chuvoso (m^3);

$V_{médio\ tempo\ seco}$ = volume acumulado médio diário em tempo seco (m^3).

DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE INFILTRAÇÃO

São poucas as investigações sobre o problema da infiltração no Brasil. O engenheiro Saturnino de Brito fez as primeiras medições, em Santos e no Recife, tendo encontrado resultados que variavam de 0,1 a 0,6 L/s.km de

coletor. Por volta de 1940, o engenheiro Jesus Netto realizou medições de vazão em redes novas com números reduzido de ligações, antes de entrar em uso. Os resultados encontrados foram da ordem de 0,0003 a 0,0007 L/s por quilômetro linear do coletor.

Investigações semelhantes foram repetidas alguns anos depois pelo professor Azevedo Netto em redes recém-executadas no Pacaembu e no Alto do Ipiranga. Os resultados obtidos foram pouco superiores: 0,0005 a 0,0010 L/s.m. Hazen e Sawyer, em 1965, chegaram aos seguintes valores em São Paulo: 4.100 a 23.800 L/dia por hectare (0,00024 a 0,0014 L/s.m).

Os seguintes métodos de investigação e medida das infiltrações têm sido adotados:

- medição de vazão em redes que ainda não entraram em serviço (com ligações construídas);
- medição de vazão em rede de uma área bem delimitada onde simultaneamente é medido o consumo de água;
- medição de vazões mínimas noturnas em tempo seco (a vazão de infiltração é uma parte dessa vazão medida);
- medição de vazões na rede em dias em que ocorra falta total e prolongada de água.

De acordo com Metcalf & Eddy (1991) a taxa de infiltração pode ser determinada por meio de dados de medição de vazão em tempo seco e em tempo úmido. A taxa de infiltração é a diferença entre as médias das vazões em tempo úmido e seco. O período úmido é definido como períodos onde a umidade no solo é bastante elevada, excluindo-se os dias com eventos chuvosos significativos. Nesse trabalho foi considerado como período úmido os dois dias subsequentes ao dia chuvoso.

O método escolhido para a determinação da taxa de infiltração foi o de Metcalf & Eddy (1991). A equação 3 resume esse método.

$$\text{Infiltração} = \frac{Q_{\text{média em dia úmido}} - Q_{\text{média em dia seco}}}{L} \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

Infiltração = taxa de infiltração (L/s.km);

$Q_{\text{média em dia úmido}}$ = vazão média diária para o período úmido (m³/dia).

$Q_{\text{média em dia seco}}$ = vazão média diária para o período seco (m³/dia);

L = extensão da rede de esgotos representativa da área de estudo determinada (km).

Na determinação das curvas médias para o período úmido utilizou-se os dados classificados como “U” (período úmido), conforme Tabela 1, aplicando-se o mesmo método empregado na determinação das curvas médias em tempo seco.

RESULTADOS

Influxo

Por meio da classificação dos eventos chuvosos e secos, mostrados na tabela 1, foram definidas as curvas médias em tempo seco, as quais foram comparadas com as curvas observadas na datas com ocorrência de evento chuvoso, para todos os pontos monitorados. Essas curvas são mostradas através da figura 7 para o ponto identificado como B1PM14, que representa as contribuições provenientes da bacia de esgotamento TC01.

Observação: Não serão apresentadas as curvas para todos os pontos e para todos os eventos chuvosos pois isso tornaria o arquivo digital do trabalho muito extenso.

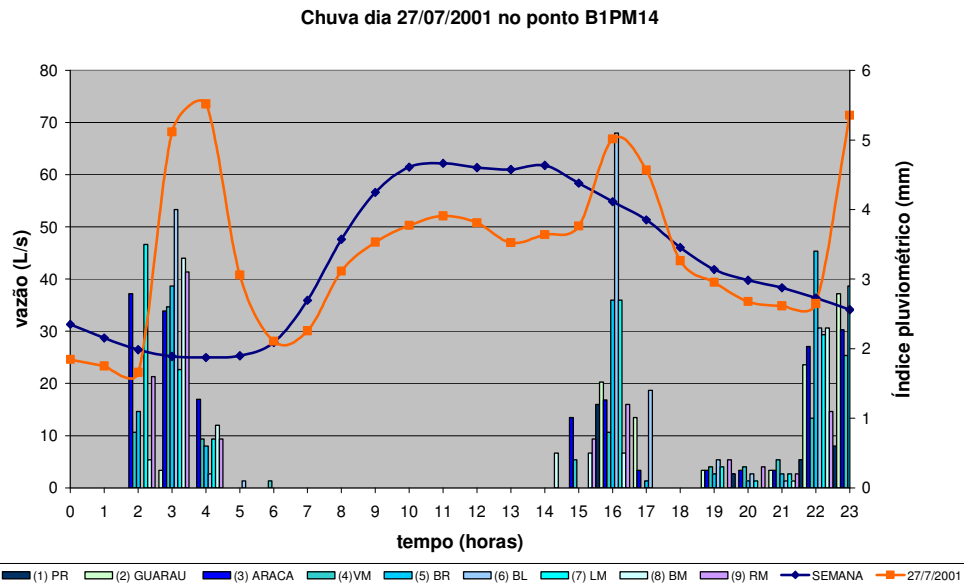


Figura 7: Curva de vazão no dia 27/07/2001 no ponto B1PM14 comparada com a curva média.

A partir dessas curvas foram determinados os volumes acumulados diários para os eventos chuvosos e os volumes acumulados das curvas secas. Utilizando-se a equação 2 pôde-se calcular o influxo para cada dia de evento chuvoso, e dentre os diversos eventos pôde-se determinar o influxo máximo observado.

Além do influxo máximo também foi calculada uma razão de influxo, pois a quantidade de água pluvial introduzida na rede precisa ser comparada com a vazão observada no ponto para se ter noção da proporção entre a vazão de esgotos sanitários e a quantidade de água pluvial introduzida (influxo) em um dia específico. Os resultados de influxo máximo e a respectiva razão de influxo para as demais bacias de esgotamento estão resumidos na tabela 2.

Infiltração

Conforme metodologia apresentada, determinou-se as curvas médias de vazão diária para a semana e para o fim de semana, em tempo seco e em tempo úmido.

Fazendo-se a subtração das vazões médias em tempo úmido para a semana e fim de semana pela média das curvas úmidas em tempo seco de semana e fim de semana, e dividindo-se pela extensão das redes de esgotos (equação 3), obteve-se a taxa de infiltração nas áreas de estudo. Por exemplo na bacia TC01, o valor calculado da infiltração foi de **0,055 L/s.km**.

A tabela 2 apresenta os resultados da quantificação do influxo e/ou das taxas de infiltração obtidos para parte das bacias de esgotamento do sistema de esgotos de Barueri e as figuras 8 e 9 apresentam respectivamente, mapas temáticos de classificação das bacias, segundo as razões de influxo e as taxas de infiltração.

Tabela 2 - Taxas de infiltração e influxo no Sistema de Intercepção de Esgotos de Barueri.

Bacias	Extensão da rede coletora (km)	Combinação de Ponto(s) de monitoramento	Volume médio diário (m3)	Taxa de Infiltração (L/s.km)	Influxo máximo (m³/dia)	Razão de Influxo máximo (%)
TC06	64,62	B1PM06	2.013	0,27	2.727,73	141,84
TC02	141,50	B1PM17 + B1PM18 + B1PM20	17.466	0,36	8.730,62	51,64
TA02 + TA04	191,86	B1PM01 – B1PM19	49.746	0,40	9.370,34	17,87
TA15 + TA17		B1PM10	20.407	*	9.998,63	50,70
TC14 + TC16	481,17	B1PM08	72.238	0,54	18.560,90	24,34
PI02 + PI04	110,13	B1PM04	8.274	0,24	3.907,80	48,27
TC01	55,56	B1PM14	3.527	0,055	2.256,36	75,35
PI18 + PI20		B2PM01	42.251	*	144.323,94	306,89
PI01		B2PM06 + B2PM10	12.224	*	3.976,24	33,40
PI03		B2PM05 + B2PM17 – B2PM06	12.807	*	119.953,31	92,25
PI05		B2PM16	8.969	*	6.760,24	74,75
PI06	52,97	B2PM08	8.149	1,07	12.811,38	171,81
PI10	64,89	B2PM14 + B2PM15 – B2PM09	20.116	0,094	4.257,40	20,89
PI12 + PI14		B2PM03 – B2PM01 – B2PM12	117.928	*	11.983,05	10,77
PI16		B2PM12	3.094	*	966,60	30,49
TO23		B2PM20	1.771	*	2.180,57	117,03

(*) Valores não determinados

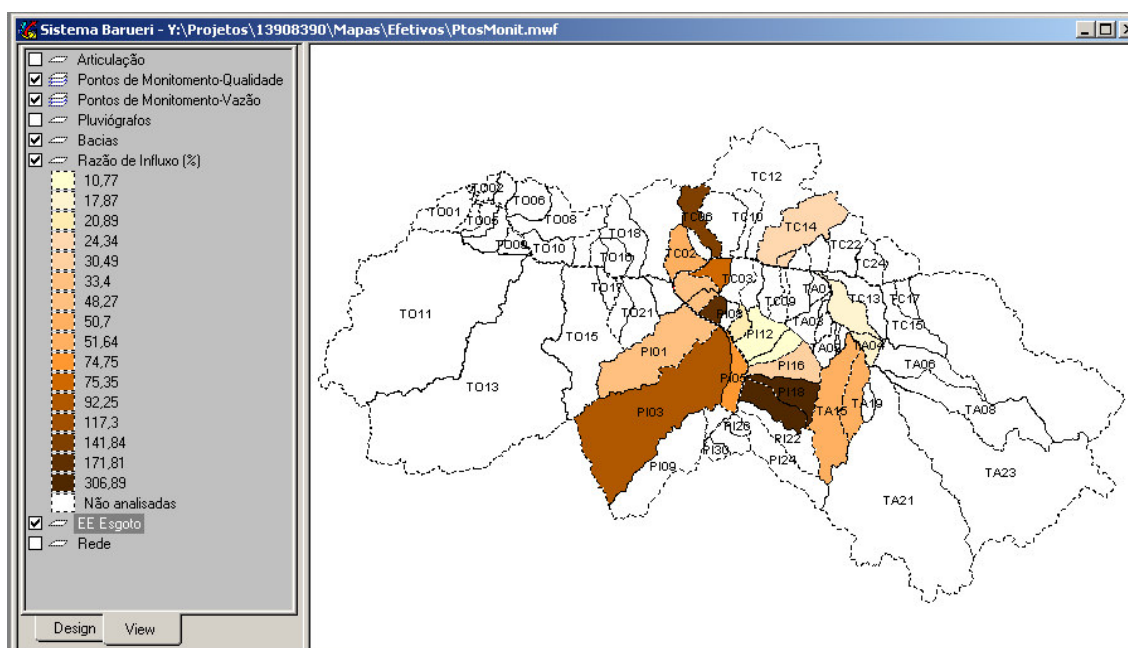


Figura 8 – Mapa de classificação das bacias por razão de influxo (%)

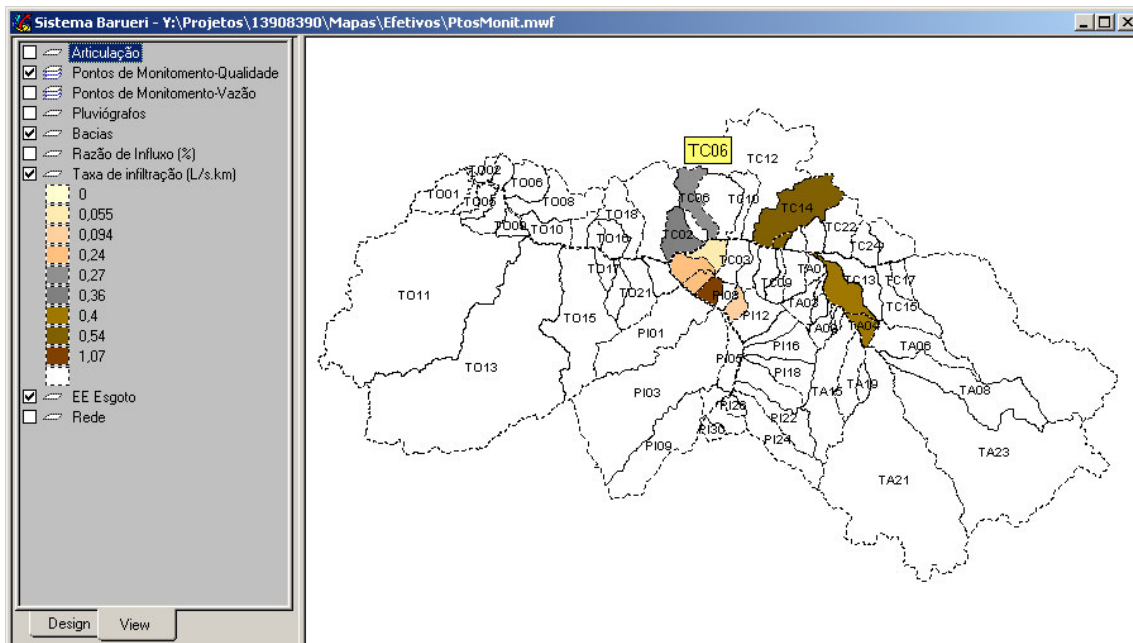


Figura 9 – Mapa de classificação das bacias por taxa de infiltração (L/s.km)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Metcalf & Eddy Inc. (1991). Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse. 3ª ed., McGraw-Hill International Editions, 1334p.
- Nuvolari, A. (2003). Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola. Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 520 p.
- Sampaio, A. M., Gonçalves, M. C. Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados: considerações sobre a ETE Barueri, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Unidade de Negócio de Tratamento de Esgotos – AE. www.ambiental-lab.com.br. Data de download: 15/01/2004.
- Tsutiya, M. T., Sobrinho, P. A. (1999). Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 547p.